

Univerzita Karlova

Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

# Bakalářská práce

Sára Bezvodová

## Green computing

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu této bakalářské práce Dr. Janu Dvořákovi za vedení práce a cenné rady. Ráda bych také poděkovala konzultantovi případové studie za ochotu a poskytnutí odborných informací. A v neposlední řadě také děkuji rodině a přátelům za podporu a trpělivost.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, že jsem řádně citovala všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či k získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, dne 26.7.2020

.....

Sára Bezdová

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zaměřuje na problematiku Green computing, zejména ve spojitosti s datovými centry. Cílem práce je zmapování této problematiky, která se rychlým vývojem nových technologií neustále mění, a zaměření se na metody relevantní v současnosti. V teoretické části se práce zabývá definicí pojmu Green computing a jeho vývojem a podrobněji popisuje zejména metody úspor energie a jejich dopady na technické a programové vybavení. Práce obsahuje také případovou studii datového centra Kokura, společnosti Seznam.cz, která ilustruje konkrétní metody Green computing využívané v českém prostředí.

**Klíčová slova:** Green computing, Green IT, udržitelná datová centra, energetická náročnost datových center, recyklace vybavení IT

## **Abstract**

This bachelor thesis focuses on the topic of Green computing, especially in connection with data centers. The aim of this thesis is to map this topic, which is constantly changing with the rapid development of new technologies, and to focus on methods that are relevant at present. In the theoretical part, the work deals with the definition of the term Green computing and its development and describes in more detail the methods of energy savings and their impact on software and hardware equipment. The thesis also contains a case study of the data center Kokura, owned by the company Seznam.cz, which illustrates specific methods of Green computing used in Czechia.

**Keywords:** Green computing, Green IT, sustainable data centers, energy intensity of data centers, recycling of IT equipment

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Definice Green computing</b> .....	<b>12</b>
2.1	Vývoj Green computing .....	12
<b>3</b>	<b>Snížení spotřeby energie serverů</b> .....	<b>15</b>
3.1	Techniky měření spotřeby energie a vytváření energetických modelů.....	16
3.2	Optimalizace výpočetních uzlů.....	18
3.2.1	Využívání klidových režimů (Sleep modes) .....	19
3.2.2	Dynamické škálování frekvence a napětí.....	19
3.2.3	Úpravy softwaru .....	20
3.2.4	Úpravy hardwaru .....	21
3.3	Cloud computing a virtualizace .....	22
3.3.1	Cloud computing .....	22
3.3.3	Virtualizace.....	25
3.4	Řízení spotřeby energie datových center .....	26
3.4.1	Využívání lokálních nebo obnovitelných zdrojů energie.....	27
3.4.2	Řízení teploty.....	27
3.4.3	Efektivní plánování úloh a konsolidace pracovní zátěže .....	30
<b>4</b>	<b>Recyklace</b> .....	<b>32</b>
4.1	Opětovné využívání cenných částí ICT .....	33
4.2	E-waste .....	33
4.2.1	Měření množství elektronického odpadu .....	33
<b>5</b>	<b>Případová studie: společnost Seznam.cz</b> .....	<b>35</b>
5.1	Metodika případové studie .....	35
5.2	Metoda sběru dat.....	35

5.3	O společnosti Seznam.cz.....	36
5.4	Datová centra.....	36
5.5	Kokura.....	36
5.6	Využívané metody Green computing .....	37
5.6.1	Techniky měření spotřeby energie a vytváření energetických modelů .....	37
5.6.2	Optimalizace výpočetních uzlů .....	38
5.6.3	Využívání obnovitelných zdrojů energie .....	38
5.6.4	Řízení teploty .....	38
5.6.5	Cloud a virtualizace .....	39
5.6.6	Recyklace .....	40
5.7	Shrnutí .....	40
<b>6</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam zdrojů.....</b>	<b>44</b>
	<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>52</b>

# Slovník použitých zkratek a pojmů

**API** je zkratkou pro “application programming interface”, představuje sadu procedur, protokolů a nástrojů pro integraci softwarových aplikací.

**CPU** je zkratkou pro “central processing unit” česky “centrální procesorová jednotka”. Jedná se o elektronický čip počítače, který provádí program a řídí všechny ostatní části počítače.

**CRT monitor.** CRT je zkratkou pro “cathode ray tube” (česky “katodová trubice”) a jedná se o obrazovku monitoru, na jejímž stínítku je obraz vykreslován elektronovým paprskem ve vnitřní skleněné trubici. CRT monitory byly hojně využívány do začátku 21. století, než byly nahrazeny LCD monitory.

**CSR** je zkratkou pro “Corporate Social Responsibility” česky “společenská odpovědnost firem”. Je samoregulačním obchodním modelem, který pomáhá firmám uvědomovat si vazby ke svému prostředí mimo rámec svého primárního cíle, jímž je dosahování zisku. Uplatňování sociální odpovědnosti firem umožňuje firmám lépe chápat, jaký dopad mají na všechny aspekty společnosti, včetně hospodářského (např.: odmítání korupce), sociálního (např.: filantropie) a environmentálního (např.: recyklace).

**Čekací smyčka**, anglicky “waiting loop”, je opakovaná aktivní kontrola splnění určité podmínky.

**Ekologický dumping** je převážení odpadu přes hranice do zemí s méně striktními environmentálními zákony. Přestože je zákonně vyvážet vyřazené zboží do rozvojových zemí, pokud je lze znovu použít nebo renovovat, mnoho odpadu je do Afriky nebo Asie zasíláno pod falešným označením. Takové zboží je mnohdy klasifikováno jako „použité zboží“, i když je ve skutečnosti nefunkční. Účelem takového vývozu je většinou snaha vyhnout se nákladům, které jsou spojené s recyklací zboží.

**HPC** je zkratkou pro “High-performance computing”. Jedná se o superpočítač (spojení mnoha běžných počítačů dohromady) pracující paralelně na analýze miliard kusů dat v reálném čase, který provádí výpočty tisíckrát rychleji než běžný počítač.

**ICT** je zkratkou pro “information and communications technology”, česky “informační a komunikační technologie”. Pojem odkazuje na technologie, které poskytují přístup k informacím prostřednictvím telekomunikací. Patří mezi ně: internet, bezdrátové sítě, mobilní zařízení a další komunikační média.

**LAN** je zkratkou pro “local area network” česky “lokální síť”. Jedná se o počítačovou síť, která spojuje počítače či jiná zařízení v těsné blízkosti (například v jedné domácnosti či jedné kanceláři), které jsou schopné komunikovat a sdílet zdroje a informace. Rozšířenými LAN technologiemi jsou například Wi-Fi nebo Ethernet.

**OEEZ** je zkratkou pro směrnici Evropského parlamentu a Rady z roku 2003 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních. *Účelem této směrnice je na prvním místě prevence vzniku odpadních elektrických a elektronických zařízení (OEEZ) a dále jejich opětovné použití, recyklace a další formy jejich využívání ve snaze snížit množství odpadu určeného k odstranění (2002/96/ES).*

**PCI** je zkratkou pro “peripheral component interconnect”. Jedná se o standardizovanou technologii sběrnice pro připojování rozšiřujících zařízení k základní desce počítače.

**Rack** je mechanický systém pro montáž serverů, síťových zařízení a dalších prostředků ICT do sloupců nad sebe, aby tvořily jednotně uspořádanou strukturu.

**RoHS** je zkratkou pro “Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment”. Jedná se o směrnici Evropského parlamentu a Rady z roku 2002, která omezuje používání některých nebezpečných látek v elektrických zařízeních (2002/95/EU). V roce 2011 byla Evropskou unií přijata směrnice RoHS 2 (2011/65/EU), doplněná o další nebezpečné látky využívané v elektrozařízeních.

**RAM** je zkratkou pro “random-access memory”. Jedná se o hardwarové zařízení a operační polovodičovou paměť počítače, která umožňuje ukládat a číst programy a data v počítači. Při odpojení napájení se údaje v RAM ztratí.



**Server** je softwarové nebo hardwarové zařízení, které přijímá a odpovídá na požadavky klienta nebo klientů zadané přes počítačovou síť. Servery mohou být umístěny buď volně nebo v místnosti, která je označována jako serverovna (s chladícím a zabezpečovacím zařízením apod.). Pro úsporu místa se v datových centrech často uspořádávají do speciálních skříní, tzv. racků.

**SLA** je zkratkou pro “Service-level agreement”. Jedná se o měřitelnou úroveň služeb, kterou společnost či nějaká její součást zaručuje svým uživatelům. Parametry takové smlouvy často zahrnují maximální celkovou dobu výpadků dostupnosti služby za určité období, dobu odezvy služeb, dobu reakce na reklamace či požadavky na podporu a další. Mnoho poskytovatelů internetových služeb a webových hostitelů nabízí svým zákazníkům smlouvu s definovanými parametry SLA, která nastiňuje, jaké služby může zákazník od poskytovatele očekávat.

**Thin client** česky “tenký klient” je označení webového prohlížeče jakožto univerzálního prostředku pro budování uživatelských rozhraní aplikací, které se tím pádem nemusí instalovat na počítači uživatele. Server provádí „tvrdou práci“, včetně bootování, ukládání dat a provádění výpočtů. Tyto počítače jsou z mnoha důvodů často používány v podnikovém prostředí především pro jejich energetickou efektivnost, jednodušší správu, údržbu a zabezpečování. Opakem tenkého klienta je tlustý klient, který ke svému spuštění nevyžaduje připojení k serverovému systému.

**Víceklientská architektura** (Multi-tenant architecture) je architektura, ve které několik zákazníků sdílí softwarovou aplikaci a databázi s dalšími zákazníky. Data každého zákazníka jsou izolovaná a ostatní zákazníci k nim nemají přístup. Opakem víceklientské architektury je jednouzivatelská architektura (Single-tenant architecture), ve které jediná instance softwarové aplikace a databáze slouží jednomu zákazníkovi.

**Výpočetní cloud** (Compute cloud) není fyzický objekt, ale rozsáhlá síť vzájemně propojených vzdálených serverů po celém světě, které fungují jako jeden ekosystém.

**Výpočetní grid** (Compute grid) je systém, ve kterém jsou výpočetní a datové zdroje patřící mnoha podnikům organizovány do jediné virtuální výpočetní entity, kterou lze transparentně využít k řešení problémů s výpočetní a datovou náročností.

**Výpočetní klastr** (Compute cluster) spojuje několik počítačů prostřednictvím LAN, které v podstatě fungují jako jeden počítač, což může být nákladově efektivnější než jediný počítač se srovnatelným výkonem. Za přidělení prostředků a umístění uživatelských úloh na výpočetních prostředcích klastru v konkrétních časech je zodpovědný centrální plánovač úloh.

Slovník zkratk a pojmů je zpracován především pomocí webové stránky Computer Hope (Computer Hope, 2020)

# 1 Úvod

V dnešním světě každý den neustále roste počet uživatelů internetových služeb. Jen v České republice již internet využívá přes 80% obyvatel (ČSÚ, 2019). S růstem počtu uživatelů roste i potřeba zpracovávání a ukládání dat. Tento jev vede k významné spotřebě energie, spojené s vážnými dopady na životní prostředí, jako jsou výdaje na pozemské zdroje, emise skleníkových plynů, odpad z elektronických zařízení a znečištění přírody (Lykou et al., 2018).

Tato bakalářská práce pojednává o Green computing, nazývaném rovněž Green IT, což je studium a praxe ekologicky udržitelného využívání informačních technologií. Práce se zabývá definicí Green computing, jeho vývojem, metodami a dopadem těchto metod na technické a programové vybavení, zejména datových center. Zaměřuje se tedy na možnosti využívání principů Green computing především v kontextu velkých výpočetních systémů, jako jsou cloudy, výpočetní klastry a výpočetní gridy. S rychlým vývojem informačních technologií se neustále vyvíjejí i nové principy Green computing. Cílem této práce tedy není obsáhnout všechny jeho existující metody, ale spíše popsat ty, které jsou v současnosti nejvíce relevantní a které jsou již dostatečně popsány v odborné literatuře.

Praktická část práce je řešena formou případové studie českého datového centra Kokura, společnosti Seznam.cz. Tato studie se zaměřuje na metody Green computing, které společnost využívá, a na důvody zvolení těchto metod. Cílem této studie je ilustrovat, jaké metody Green computing se reálně využívají v českém prostředí, a to konkrétně datovým centrem nejvyužívanějšího českého internetového vyhledávače Seznam.cz.

## 2 Definice Green computing

Green computing nebo také Green IT je studium a praxe ekologicky udržitelného IT, které si bere za cíl udržet stejnou výpočetní rychlost při snížené spotřebě energie (Atrey et al. 2013). Cílem Green computing je také vytváření technologií, které pomáhají chránit životní prostředí a minimalizovat nepříznivé účinky technologického rozvoje například správnou recyklací ICT zařízení (Patil a Kharade, 2016). Má v mnohém blízko ke Green chemistry, která usiluje o snižování využívání nebezpečných materiálů, maximalizování energetické účinnosti během života produktu a podporování recyklovatelnosti nebo biologické rozložitelnosti továrního odpadu (Atrey et al. 2013).

Využívání metod Green computing dává smysl nejen z etického nebo morálního hlediska, ale také z hlediska ekonomického. Zavedení jeho strategií totiž nabízí hned několik obchodních výhod, jako jsou úspory nákladů (spojené především s úsporami energie) a pozitivní public relations (PR) (Bisoyi, 2018).

Šetrnou výrobou, používáním a likvidací mobilních zařízení (např.: mobilních telefonů, notebooků, tabletů atd.) se zabývá Green mobile computing (Shuja, 2017). Touto problematikou se tato bakalářská práce dále nezaobírá, neboť se zaměřuje na metody Green computing v souvislosti s velkými výpočetními systémy.

### 2.1 Vývoj Green computing

Jedna z prvních, kteří se tématem dopadů ICT na životní prostředí začali zabývat, byla americká agentura The Environmental Protection Agency (EPA), která v roce 1992 spustila program Energy Star (Gupta, 2010). Energy Star sloužila jako dobrovolná cena udělovaná výrobcům, kterým se podařilo minimalizovat spotřebu elektrické energie a zároveň maximalizovat její účinnost. Termín „Green computing“ vznikl pravděpodobně krátce po zahájení tohoto programu a spustil tak jeho tzv. „první vlnu“ (Gupta, 2010). V téže době švédská organizace TCO Development spustila program certifikace TCO Certification program, který podporoval snižování elektromagnetických emisí z počítačů s monitory CRT (Gupta, 2010). První vlna Green computing byla zaměřena především na minimalizaci finančních nákladů a dopady

datových center na životní prostředí (Harmon, 2010). Jedním z prvních výsledků Green computing byla funkce klidových režimů počítačových monitorů. Postupným vývojem se koncept začal zabývat řešeními, jako jsou výpočty nákladů za energii, virtualizační postupy, tenký klient (thin client) a elektronický odpad (Kochhar, 2011).

V roce 2003 přijala Evropská unie směrnici zvanou RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment), která omezuje používání specifických toxických materiálů při výrobě elektronických zařízení (2002/95/EU). Společně s ní byla v roce 2003 přijata směrnice Evropského parlamentu a Rady o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ) (2002/96/ES). V roce 2006 byl program Energy Star přepracován tak, aby zahrnoval přísnější požadavky na účinnost počítačového vybavení (Gupta 2010).

S rostoucím povědomím o vlivu lidské činnosti na životní prostředí a iniciativách o udržitelném podnikání vzrostl také počet iniciativ zahájených soukromými organizacemi. Mezi nejvýznamnější aktivní skupiny, které se snaží hledat způsoby, jak efektivně praktikovat Green computing, patří (Gupta 2010):

- Green Electronics Council (GEC), založená v r. 2005
- Climate Savers Computing Initiative, založená v r. 2007 firmami Google a Intel
- The Green Grid, založená v r. 2007
- Green Computing Impact Organization (GCIO), založená v roce 2008

Zvýšené pozornosti se Green computing dostalo okolo roku 2010. Tato takzvaná “druhá vlna Green computing” dostala název “udržitelné IT” (Sustainable IT) a měla oproti “první vlně” o mnoho širší záběr. Strategie udržitelného IT vedla k udržitelnosti nad rámec pouhé spotřeby energie. Důraz byl kladen především na inovace a zlepšení souladu se “společensky odpovědným podnikáním“ neboli “Corporate Social Responsibility” (CSR) (Harmon, 2010). Tyto změny odrážejí posun v požadavcích zákazníka od primárního zaměření firem pouze na hmatatelné nákladové přínosy IT jako produktu (např. snížené spotřeby energie) k nehmotným ekologickým výhodám udržitelného IT jako služby pro implementaci sociálně odpovědných obchodních modelů (Harmon, 2010).

V roce 2011 založila společnost Facebook organizaci Open Compute Project, která slouží jako globální komunita, jejímž posláním je navrhovat, používat a umožňovat mainstreamové sdílení efektivních návrhů pro škálovatelnou výpočetní techniku. Jedná se o platformu, ve které jednotlivci a organizace mohou sdílet své know-how s ostatními, a tím podporovat rozvoj IT průmyslu. Do projektu se postupně připojily také společnosti jako Microsoft, Google, Intel, Nokia, Dell Inc. a mnoho dalších (Open Compute Project).

V posledních letech se pozornost v rámci Green computing opět přesunula zejména k výzkumu technik úspory energie jak osobních počítačů, tak velkých výpočetních systémů, a to především z důvodů ekonomických úspor, které se snížením spotřeby energie souvisí (Zakarya, 2018).

### 3 Snižování energetické spotřeby serverů

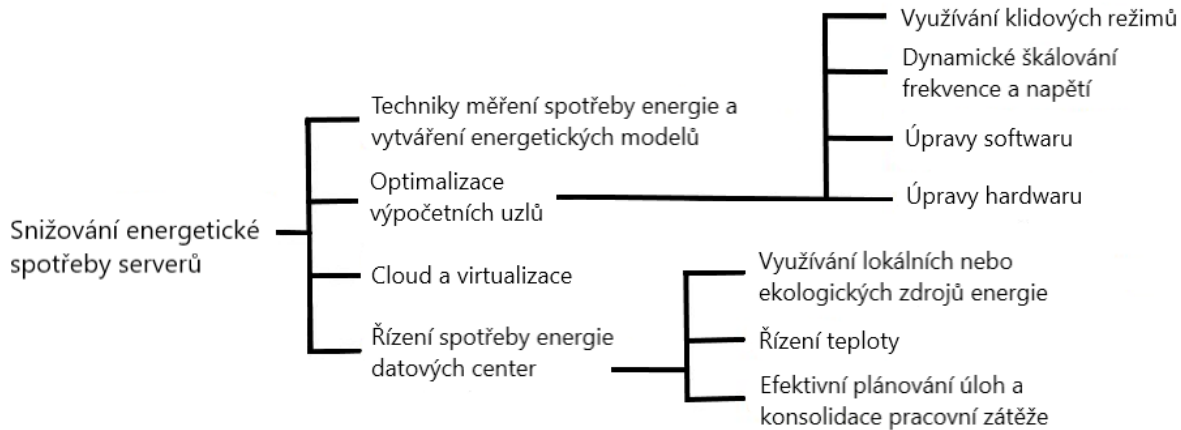
*Množství energie spotřebované rozsáhlými výpočetními systémy, jako jsou datová centra, jsou ve společnosti stále více zdrojem obav. (Orgerie et al., 2014)*

V posledních několika desetiletích, zejména od roku 1990 do roku 2010, byly výpočetní systémy zaměřeny na zlepšení výkonu, což bylo zapříčiněno zejména vysokými nároky uživatelských aplikací. Nicméně z důvodu jejich stále rostoucí poptávky po energii, která způsobuje vysoké finanční náklady za energii a emise CO<sub>2</sub>, se v posledních šesti letech pozornost posunula směrem ke snaze o energetické úspory (Zakarya, 2018).

Průměrná spotřeba energie serverů neustále roste a vědci předpovídají, že pokud tento trend bude pokračovat, náklady na energii spotřebovanou serverem během jeho životnosti překročí náklady na jeho hardware. Problém spotřeby energie je ještě větší u rozsáhlých infrastruktur, jako jsou například výpočetní klastry, výpočetní gridy a cloudy, které se skládají z několika tisíc heterogenních serverů (Zakarya, 2018).

Datová centra v USA spotřebovala v roce 2014 přibližně 70 miliard kWh, což odpovídá 1,8 % celkové spotřeby energie v USA, a do roku 2020 se očekává, že bude jejich spotřeba činit přibližně 73 miliard kWh. Díky využívání energeticky účinných technik, jako je virtualizace, chlazení kapalinou, konsolidace pracovní zátěže a dalších, toto číslo vzrostlo pouze o 4 % mezi lety 2010 a 2014, což je výrazné zlepšení oproti předešlému období, kdy se mezi lety 2005 a 2010 spotřeba zvýšila o 24 % (Zakarya, 2019). Vysoká spotřeba energie ICT zařízení a serverů má negativní dopad na životní prostředí, neboť způsobuje emise skleníkových plynů, které přispívají ke globálnímu oteplování. V současné době se podíl ICT vybavení na globálních emisích skleníkových plynů pohybuje kolem 1,6 % a odhaduje se nárůst na 2 % do roku 2020 (Accenture, 2015; Zakarya, 2019).

Zjednodušené schéma metod pro snížení spotřeby energie serverů inspirováno schématem Orgerie (2014) je zobrazeno na obrázku 1.



Obrázek 1 Schéma zobrazující metody snížení spotřeby energie serverů

### 3.1 Techniky měření spotřeby energie a vytváření energetických modelů

Spotřeba energie výpočetních zařízení může být měřena energetickými senzory (např. wattmetry) nebo odhadnuta energetickými modely. Wattmetry mohou být externí zařízení nebo komponenty zabudované do jednotek distribuce napájení a teplotních senzorů. Umístění energetických senzorů nebo wattmetrů může být velice finančně nákladné, pokud není provedeno v době, kdy je zřizována celá infrastruktura (tj. výpočetní klastr nebo datové centrum) (Orgerie et al., 2014).



Levnějším řešením k odhadu spotřeby komponentů nebo celé infrastruktury je použití energetických modelů. Dobré modely by měly být snadno pochopitelné a neměly by zasahovat do spotřeby energie, kterou se snaží odhadnout. K těmto účelům bylo navrženo několik metrik, kde pro infrastrukturu, jako jsou datová centra, je nejčastěji používán “indikátor energetické efektivity” (PUE) (Orgerie et al., 2014).

$$PUE = \frac{\textit{Total Facility Power}}{\textit{IT Equipment Power}}$$

**Indikátor energetické efektivity (PUE)** byl poprvé představen společností Green Grid. (Jain et al., 2013). Jeho hodnota je definována jako poměr celkové elektřiny spotřebované datovým centrem (Total Facility Power) a elektřiny spotřebované IT zařízením (IT Equipment Power). Do celkové elektřiny spotřebované datovým centrem se kromě energie spotřebované ICT zařízením počítá například také energie využitá pro chladicí systém, generátory (potřebné k napájení v případě výpadku), osvětlení a UPS (zdroj nepřerušovaného napájení). Hodnota PUE je závislá na umístění budovy, klimatických podmínkách a konstrukčních charakteristikách datového centra. Perfektní účinnost datového centra, při které by byla veškerá energie spotřebována ICT zařízením, by znamenala hodnotu  $PUE = 1,0$  (Nguyen et al., 2013).

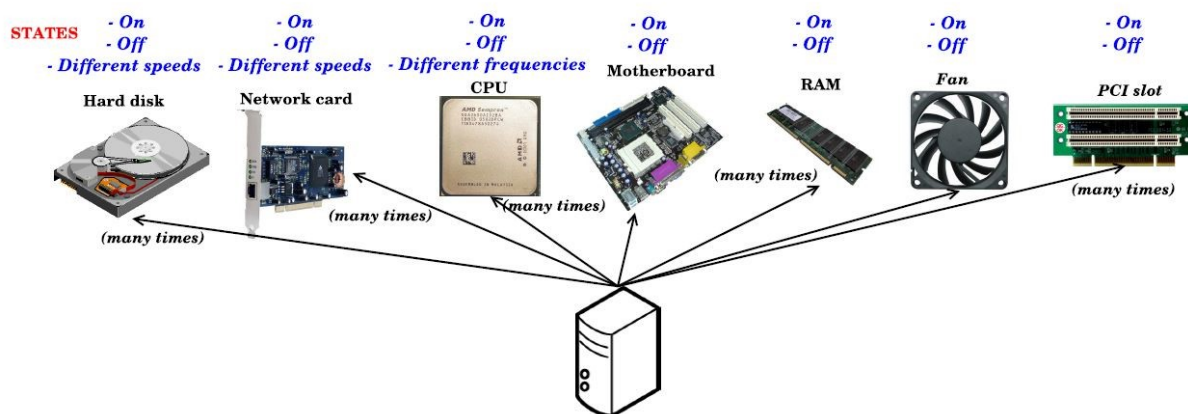
Podle průzkumu Uptime Institute's 2019 Data Center Survey (2019) byla v roce 2019 průměrná hodnota PUE datových center 1,67. Datová centra technologických gigantů, jako jsou Google a Microsoft, však dosahují průměrných hodnot PUE 1,2 nebo nižších (Google, 2020; Microsoft, 2015).

**Data Center infrastructure Efficiency (DCiE)** je další běžně používanou metrikou určenou pro porovnání účinnosti datových center. Jedná se o inverzní zlomek PUE, který je definován jako poměr energie spotřebované IT zařízením a celkové energie spotřebované datovým centrem, vynásobený 100 %.  $DCiE = (IT\ Equipment\ Energy / Total\ Facility\ Energy) \times 100\ %$  (Lykou et al., 2018).

$$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{IT\ Equipment\ Energy}{Total\ Facility\ Energy} \times 100\ %$$

### 3.2 Optimalizace výpočetních uzlů

Výpočetní uzel je jeden počítač, který dohromady s dalšími uzly tvoří výpočetní klastr. Obsahuje několik komponentů (pevný disk, síťová karta, CPU, základní deska, RAM, ventilátory, PCI slot), z nichž každý může být optimalizován pro úsporu energie. Výpočetní uzel může být obvykle v jednom z několika stavů - od stavu plně zapnut, do stavu plně vypnut (on/off) - podle nichž se mění spotřeba energie. Na obr. 2 je vyobrazen výpočetní uzel a možné stavy jeho jednotlivých částí (Orgerie et al., 2014).



Obrázek 2 Výpočetní uzel a možné stavy jeho částí (Orgerie et al., 2014)

Tato část práce popisuje techniky na úrovni výpočetních uzlů, které omezují spotřebu energie výpočetních zdrojů, včetně vypínání zdrojů (pomocí stavů spánku), konfigurace napětí a frekvence pro centrální procesorovou jednotku a využití energeticky úsporného hardwaru a nízkoúrovňových funkcí.

### **3.2.1 Využívání klidových režimů (Sleep modes)**

Výpočetní uzly v klastrovém prostředí lze rozdělit do dvou kategorií, na zaneprázdněné a nečinné, podle toho, zda na nich běží nějaká úloha. Nečinný uzel, i když je v aktivním nebo pohotovostním stavu, negeneruje žádnou užitečnou výpočetní produkci. Aby nedocházelo k plýtvání energie v klidovém stavu, měl by být nečinný uzel uveden do klidového stavu s nízkou spotřebou energie. Výpočetní uzel může v současné době podporovat více klidových režimů. Čím hlouběji uzel spí, tím méně energie spotřebovává, ale zároveň tím více energie a latence představuje jeho probuzení (Liu et al., 2012).

Ačkoliv se vypnutí nečinných výpočetních uzlů může zdát jako dobré řešení problému spotřeby energie, jejich probuzení představuje hned několik problémů. Mechanismus Wake-On LAN, implementovaný určitými ethernetovými síťovými kartami, počítačům umožňuje se vzdáleně probudit pomocí specifických paketů odesílaných přes síť, což ovšem vyžaduje, aby byla vždy zapnuta alespoň síťová karta. (Gunaratne et al. 2005) Rozhraní Intelligent Platform Management Interface (IPMI) implementuje hardwarový standard, který pracuje nezávisle na operačním systému a umožňuje správcům spravovat systém vzdáleně prostřednictvím přímého sériového připojení nebo prostřednictvím lokální sítě. IPMI lze také využít k dálkovému zapnutí a vypnutí uzlů (Leangsuksun et al., 2006).

Přestože klidový režim může šetřit spotřebu výpočetních uzlů, které jsou příležitostně nečinné, nepřináší mnoho výhod pro výpočetní uzly, které musí být z důvodu dostupnosti zapnuté neustále (Orgerie et al., 2014).

### **3.2.2 Dynamické škálování frekvence a napětí**

Vypnuté zařízení není k dispozici, aby mohlo provádět jakoukoli výpočetní úlohu, a opětovné uvedení zařízení do provozu může dlouho trvat. Vývojáři hardwaru

proto implementují do zařízení další funkce, jako je dynamické škálování frekvence a napětí, aby mohla být minimalizována spotřeba energie, když se zařízení nepoužívá (Zakarya, 2018).

Dynamické škálování frekvence a napětí, anglicky “Dynamic Voltage and Frequency Scaling” (DVFS), se původně využívalo především pro úpravu pracovní frekvence a spotřeby energie laptopových procesorů, což sloužilo k prodloužení výdrže na baterii. V současnosti se DVFS stává běžnou technikou pro výpočetní uzly a servery v datových centrech, výpočetních gridech a cloudech (Orgerie et al., 2014; Snowdon et al., 2005).

DVFS zvyšuje a snižuje frekvenci procesoru, čímž minimalizuje množství energie spotřebované na úrovni systému. Plánovače jsou navrženy tak, aby využívaly takové technologie na systémové úrovni, které dosahují nejvyšší energetické účinnosti. Velký potenciál ke zvýšení zaměření na tyto metodiky mají zelená datová centra, kde nemusí být možné vypnout servery z důvodu kolísání a nepředvídatelnosti poptávky (Zakarya, 2017). Při snižování frekvence nebo napětí jádra je ovšem třeba vždy pamatovat na konečný termín úlohy, protože při běhu na nižší frekvenci se prodlužuje doba provádění úlohy, čímž může dojít k zmeškání času, ke kterému je potřebný výsledek (Min-Allah et al., 2012).

DVFS také definují stavy výkonu, jinak nazývané P-states, které určují frekvence, při kterých je procesor schopný provádět úlohy. Díky P-states (P0, P1, P2...Pn, kde n závisí na procesoru) lze zjišťovat, jak efektivně šetřit energií. Například ve stavu P3 bude procesor pracovat pomaleji, ale bude spotřebovávat méně energie nežli ve stavu P1 (Orgerie et al., 2014).

### **3.2.3 Úpravy softwaru**

Vývojáři ovladačů zařízení, modulů jádra a distribuovaných aplikací musí v dnešní době zvažovat, jaké důsledky bude jejich návrh mít na spotřebu energie. Například čekací smyčky (waiting loops) a aktivní dotazování mohou často probudit centrální procesorovou jednotku (CPU), což může vést k plýtvání elektrickou energií. Některá řešení mají za cíl poskytnout prostředky pro aplikace řízení pro přístup

k informacím o spotřebě energie stroje a nastavení stavu, v němž jeho součásti pracují (Blanquicet a Christensen, 2008).

Výzkum také ukazuje, že operační systémy (OS) mají heterogenní spotřebu energie a lze je optimalizovat tak, aby spotřebovávaly méně energie. Spotřeba se liší i mezi verzemi stejného operačního systému. Studie na systémech Linux a Microsoft Windows prokázaly, že spotřeba energie výpočetních uzlů pracujících s různými verzemi těchto operačních systémů zaznamenala nezanedbatelný rozptyl (Orgerie et al., 2014).

### 3.2.4 Úpravy hardwaru

Výpočetní uzel se skládá z několika součástí (např. napájecích zdrojů, paměťových zařízení, ventilátorů, pevných disků atd.), jejichž účinnost je možné zlepšovat optimalizací hardwaru. V posledních letech bylo navrženo několik vylepšení hardwarových možností (např. úspora energie zkrácováním kabelů, inteligentní chladicí ventilátory, snižování rychlosti otáčení disku a DVFS) (Orgerie et al., 2014).

**Rack servery** jsou hlavními původci plýtvání energie a představují část IT, která je v typickém datovém centru nejvíce energeticky zatížená. Upravování vnitřních chladicích systémů a procesorových zařízení dokáže tuto zbytečnou energii minimalizovat. Například využívání vícerychlostních ventilátorů pro chlazení vnitřních součástí nebo zařízení pro správu napájení mohou snižovat spotřebu energie v nečinných procesorech. Čipy vícejádrových procesorů zase umožňují současné zpracování více úkolů najednou, což vede k lepší energetické účinnosti a vyššímu výkonu (Lykou et al., 2018).

Spotřeba energie **úložných zařízení** je přímo úměrná počtu použitých paměťových modulů. Ačkoli zálohování nabízí spolehlivost, musí být racionalizováno a správně dimenzováno. Maximalizace využití skladovací kapacity čerpáním ze společného fondu sdíleného úložiště může přinést značné úspory energie (Lykou et al., 2018).

Co se týká **napájecích zdrojů**, díky využití kvalitních komponentů a pokročilého inženýrství je možné najít zdroje napájení, které poskytují účinnost až

95 %, což může snížit spotřebu energie a nepřímo také náklady na chladicí systém a omezit problémy s přehřátím racků (Lykou et al., 2018).

Další úspora energie je možná pomocí zkrácení **délky kabelů počítačové sítě**. Čím kratší síťový kabel je použit, tím menší jsou přenosové ztráty energie (Orgerie et al., 2014).

## 3.3 Cloud computing a virtualizace

### 3.3.1 Cloud computing

*“Cloud computing je model umožňující všudypřítomný, pohodlný, síťový přístup ke sdílenému fondu konfigurovatelných výpočetních zdrojů (např. sítí, serverů, úložišť, aplikací a služeb), které lze rychle na vyžádání poskytnout s minimálním úsilím o správu nebo interakcí poskytovatele služeb.”* (Buyya, 2008, s. 594)

Cloud je distribuovaný výpočetní systém skládající se z kolekce vzájemně propojených, virtualizovaných počítačů (Atrey et al. 2013). Umožňuje skladování a přístup k datům přes internet a nabízí spolehlivé úložiště, ve kterém se data automaticky replikují (Marinescu, 2013). Je poskytován dynamicky a prezentován jako sjednocené výpočetní zdroje, založené na dohodách o úrovni služeb (SLA), uzavřených vyjednáváním mezi poskytovatelem služeb a spotřebiteli (Patil a Kharade, 2016).

V Cloud computing se může infrastruktura dynamicky škálovat přidělením virtualizovaných zdrojů, které jsou často poskytovány jako služby přes internet (Hayes, 2008).

Green cloud představuje potenciální environmentální přínosy, které mohou informační služby poskytované přes internet přinést společnosti. Termín kombinuje slova green, ve významu šetrný k životnímu prostředí, a cloud, tradiční symbol pro internet a zkrácený název pro model poskytování služeb, známý jako cloud computing (Atrey et al. 2013). Hlavními odběrateli elektřiny v Cloud computing jsou datová centra (Zakarya, 2018).

První služby typu cloud computing začala v roce 2006 nabízet společnost Amazon. Byly jimi služby jejich dceřiné společnosti Amazon Web Services (AWS) s názvy Elastic Cloud Computing (EC2) a Simple Storage Service (S3) (Marinescu, 2017, s.19). Dalším významným mezníkem pro cloud computing bylo v roce 2008 spuštění cloudové platformy App Engine od společností Google, kterou zanedlouho následovala další významná technologická firma Microsoft s nabídkou cloudových online služeb Microsoft Azure, které se vyznačovaly svým spolehlivým fungováním a snadným používáním, což spustilo řetězovou reakci v celém IT průmyslu (Google App Engine Blog, 2008; Marinescu, 2013, s.18).

Na základě služeb, které nabízejí, je cloud computing rozdělen do tří hlavních modelů cloudové služby: software jako služba, platforma jako služba a infrastruktura jako služba (Zakarya, 2018). Úroveň uživatelské kontroly cloudových zdrojů se u tří modelů cloudového doručování liší. Možnost přihlásit se k odběru modelu „as-a-service“ byla klíčovým faktorem pro přijetí cloudu (Piraghaj, 2016).

### **Software jako služba neboli Software as a service (SaaS)**

Software jako služba, někdy označovaný jako „software on demand“, je modelem Cloud computing poskytovaným přes webový prohlížeč (Patil a Kharade, 2016). Vyplývá z víceclientské (multitenant) architektury, ve které všichni uživatelé sdílejí společnou infrastrukturu. (Harmon, 2010) SaaS umožňuje uživatelům používat poskytované aplikace, ale neumožňuje žádnou kontrolu nad platformou nebo infrastrukturou (Marinescu, 2013, s. 13). Příkladem populárních aplikací SaaS je kancelářský software Microsoft Office 365 nebo souborové úložiště Dropbox.

### **Infrastruktura jako služba neboli infrastructure as a service (IaaS)**

Infrastruktura jako služba poskytuje počítačovou infrastrukturu, kde spíše než nákup serverů, softwaru, datových center nebo síťové vybavení, klienti kupují tyto zdroje jako plně outsourcovanou službu (Patil a Kharade, 2016). Systém IaaS obvykle zahrnuje použití „virtuálních strojů“ (VM). Prostřednictvím virtualizační technologie může fyzický server „hostit“ více virtuálních počítačů. Každý VM pracuje jako virtuální server s vlastní instalací operačního systému, nezávislou na ostatních

virtuálních strojích, v němž mohou být nainstalovány a spuštěny aplikace nebo jiný software. Mezi známé poskytovatele řešení IaaS patří Amazon Web Service (AWS), Rackspace Technology a Microsoft Azure (Millard a Hon, 2013, s. 4).




### **Platforma jako služba neboli Platform as a Service (PaaS)**

PaaS je cloudová platformou, která nabízí prostředí, ve kterém vývojáři vytvářejí a zavádění aplikace, aniž by museli nutně vědět, kolik procesorů nebo kolik paměti tyto aplikace budou používat (Voorsluys, 2011). Uživatelé PaaS nemusí spravovat virtuální počítače nebo jiné výpočetní prostředky, ale mohou zasahovat do programového kódu aplikace (Millard a Hon, 2013, s. 12). Mezi takové platformy patří nástroje pro vytváření, testování a implementaci aplikačního softwaru a systémy pro správu databází (Arutyunov, 2012). Známými poskytovateli řešení PaaS jsou AWS Elastic Beanstalk (AWS, 2020) Microsoft Azure (Microsoft Azure, 2020) nebo Google App Engine (Google Cloud, 2020).

### **Srovnání modelů SaaS, PaaS a IaaS**

Model SaaS je nejvíce využívaný typ cloudových služeb, zejména mezi spotřebiteli, což není překvapivé, protože od nich obecně vyžaduje nejmenší technické know-how a umožňuje rychle využívat aplikačního softwaru bez instalace jakéhokoliv specifického softwaru (Millard a Hon, 2013, s. 5). Na obrázku 3 (Voorsluys, 2011) je vyobrazeno srovnání modelů služeb SaaS, PaaS a IaaS, přesněji řečeno srovnání hlavních přístupů ke službám, nástrojů k jejich správě a obsahu jednotlivých služeb.



Service Class	Main Access & Management Tool	Service content
 SaaS	Web Browser	<b>Cloud Applications</b> Social networks, Office suites, CRM, Video processing
 PaaS	Cloud Development Environment	<b>Cloud Platform</b> Programming languages, Frameworks, Mashups editors, Structured data
 IaaS	Virtual Infrastructure Manager	<b>Cloud Infrastructure</b> Compute Servers, Data Storage, Firewall, Load Balancer

Obr 3 Porovnání modelů cloudových služeb (Voorsluys, 2011)

### 3.3.3 Virtualizace

Virtualizace je proces provozování dvou nebo více virtuálních počítačových systémů na jedné sadě fyzického hardwaru. Různá uživatelská rozhraní izolují různé části hardwaru, čímž se každá z nich chová a funguje jako samostatná entita (Patil a Kharade, 2016). Primárním cílem téměř všech forem virtualizace je co nejefektivnější využití dostupných systémových prostředků. Virtualizace vytváří příležitosti pro konsolidaci serveru, která zvyšuje využití zdrojů (Zakarya, 2019).

Co se datových center týče, instalace virtuální infrastruktury umožňuje provoz několika operačních systémů a aplikací na menším počtu serverů, což pomáhá snížit celkovou spotřebu energie pro datové centrum a jeho chlazení. Jakmile je počet serverů snížen, znamená to, že datové centrum může také zmenšit velikost budovy, což vede k dalším úsporám energie (Patil a Kharade, 2016).

V kontextu datových center a cloud computing se o virtualizaci uvažuje jako o nejslibnějším přístupu k úsporám energie, který zvyšuje využití zdrojů, protože více virtuálních počítačů s různými druhy pracovní zátěže běží na jednom hostiteli při zachování segregace mezi pracovními zátěžemi, operačním systémem a uživateli (NRDC, 2014).

Přestože virtualizace slibuje mnoho výhod, její samotné využití nezaručuje snížení spotřeby energie. Zlepšení energetické účinnosti cloudových prostředí pomocí virtualizace obecně vyžaduje vymýšlení mechanismů, které adaptivně poskytují aplikacím zdroje, jenž odpovídají jejich požadavkům na pracovní vytížení, a využívají dalších technologií řízení spotřeby energie, jako je omezení počtu virtuálních CPU (centrálních procesorových jednotek) a dynamické rekonfigurace, které umožňují uvolnění nebo vypnutí nevyužitých zdrojů (Orgerie et al., 2014).

### **3.4 Řízení spotřeby energie datových center**

Tato kapitola popisuje techniky řízení spotřeby energie, které fungují v měřítku datových center. Mezi tyto techniky patří: využívání lokálních nebo ekologických zdrojů energie, efektivní plánování úloh, řízení teploty a konsolidace pracovní zátěže.

Poskytovatelé klastrových, gridových a cloudových služeb spravují sdílené fondy výpočetních zdrojů (např. servery, úložiště) známé jako datová centra (Zakarya, 2018). Jako jedno z nejrychleji rostoucích odvětví, a to jak z ekonomického hlediska, tak z hlediska spotřeby energie, mají datová centra a velké serverovny jedinečnou příležitost a odpovědnost převzít větší kontrolu nad svou provozní efektivitou, spotřebou energie a řízením ekologické stopy (Lykou et al., 2018). Datová centra se nacházejí téměř ve všech odvětvích hospodářství, jako jsou finanční a komerční služby, média, komunikace i akademické a vládní instituce (Lykou et al., 2018). S dalšími miliony lidí, kteří využívají internet každý měsíc, neustále stoupá poptávka po zvýšení výkonu výpočetní techniky a kapacita datových center se zvětšuje tak, aby se přizpůsobila této potřebě (Google, 2018).

Ekologicky udržitelná datová centra, která využívají obnovitelné zdroje energie, optimalizují jejich energetickou účinnost a minimalizují plýtvání energetickými zdroji, mají jak environmentální, tak i obchodní smysl (Lykou et al., 2018).

### 3.4.1 Využívání lokálních nebo obnovitelných zdrojů energie

V důsledku ekonomických a environmentálních hrozeb se energetická účinnost a emise skleníkových plynů staly zdrojem obav provozovatelů datových center. Využívání lokálních nebo obnovitelných zdrojů energie je považováno za slibné řešení pro napájení datových center bez emisí skleníkových plynů (Pierson et al., 2019).

Umístění datového centra v blízkosti místa, kde se elektřina vyrábí je jedním ze způsobů, jak snížit jeho spotřebu energie, neboť se tím minimalizují přenosové ztráty. Například v Severní Karolíně v USA využívají některé společnosti nízkých cen elektřiny, způsobené velkým množstvím energie z uhlí a jaderné energie po odchodu výrobců textilu a nábytku (Greenpeace 2011). V této oblasti se nacházejí tři velká datová centra společností Google, Apple a Facebook (Orgerie et al., 2014).

Některé společnosti se rozhodly pro ekologičtější zdroje energie. Například ve městě Quincy (Washington, USA) sídlí datová centra společností Yahoo, Microsoft, Dell nebo Amazon. Město je pro provozování datových center velice výhodné zejména díky vodním elektrárnám, které nabízejí nižší ceny za energie, neboť zůstaly v regionu po odstavení hliníkového průmyslu (Orgerie et al., 2014).

S ohledem na současnou vyspělost odvětví obnovitelných zdrojů energie je maximalizace využití energie z těchto zdrojů považována za metodu Green computing s nízkými náklady (Eurostat Statistics Explained, 2017). Datová centra napájená obnovitelnými zdroji energie, jako je větrná energie, solární energie, bioenergie, geotermální energie a energie přílivu a odlivu, vedou k nižším emisím skleníkových plynů a zároveň eliminují energetické zdroje založené na fosilních palivech (Shuja et al., 2016).

### 3.4.2 Řízení teploty

Teplo generované IT zařízením musí být v datovém centru řízeno, aby byla zachována vysoká úroveň provozního výkonu. Z tohoto důvodu hraje efektivní chlazení zásadní roli v jakémkoli datovém centru (Reddy et al., 2017).

Tepelné problémy jsou nejpřímějšími důsledky zvyšování počtu tranzistorů na procesorových čipech. Tyto problémy a spotřeba energie spolu úzce souvisí, protože

snížená produkce tepla snižuje spotřebu energie. Řešením může být takzvané tepelné vyrovnávání zátěže, které využívá výhody jiného umístění výpočetních klastrů ve výpočetních gridech a přiřazuje pracovní zatížení na základě sezónního i denního kolísání teploty (Patel et al. 2003). Příkladem mohou být dvě datová centra jednoho výpočetního gridu, kdy je jedno centrum umístěné v Novém Dillí v Indii a druhé ve Phoenixu ve Spojených státech amerických. Během léta venkovní teplota v Novém Dillí dosáhne svého vrcholu v poledne, zatímco ve Phoenixu je v danou chvíli noc a teplota je nižší. Z tohoto důvodu je výhodnější umístit pracovní vytížení do Phoenixu a používat menší chladicí výkon než v Novém Dillí (Orgerie et al., 2014).

Obecně se energie dodávaná do ICT zdrojů rozptýlí téměř úplně jako teplo. V datových centrech je třeba toto teplo odstraňovat, aby nedošlo k přehřátí vybavení ICT. Přehřátí zdrojů může mít za následek snížení výkonu, ztrátu dostupnosti (např. nouzové vypnutí) nebo dokonce poškození hardwaru, čímž může dojít k předčasnému selhání systému (Basmadjian, 2019).

Tradiční technikou chlazení je pomocí sálových chladicích jednotek (CRAC/CRAH). Tyto dvě techniky byly později vylepšeny režimem Free cooling, který využívá k chlazení vnější vzduch a v poslední době získalo pozornost především hybridní chlazení, které kombinuje chlazení vzduchem s chlazením vodou (Basmadjian, 2019).

### **Free cooling**

Metoda chlazení Free cooling (volné chlazení) minimalizuje využívání mechanického chlazení tím, že využívá k chlazení infrastruktury venkovní vzduch. Tato technika je tedy vhodná spíše pro místa s nízkou průměrnou teplotou a často vede společnosti k umístění svých datových center v regionech a zemích s chladným podnebím (Orgerie et al., 2014). Facebook například provozuje své datové centrum ve Švédsku, čímž využívá švédského chladného a suchého klimatu. Společnost Microsoft zase ponechává servery na čerstvém vzduchu, aby je mohla snadněji ochlazovat (Cavdar a Alagoz, 2012).

Free cooling můžeme dále dělit na přímý a nepřímý, kde přímý využívá venkovní vzduch – poté co projde výměníky nebo filtry – přímo na chlazení datových sálů. Oproti tomu nepřímý Free cooling chladí venkovním vzduchem vodu, která se

poté využívá ve výměnících tepla k chlazení vzduchu vnitřního okruhu. Výhodou nepřímého Free coolingu je fakt, že není závislý na kvalitě venkovního vzduchu a nedochází tak k vnášení nečistot a pylu do chlazené místnosti. (Zhang et al., 2014)

### **Chlazení kapalinou**

Chlazení kapalinou obvykle používá chladivo (např. vodu) k přímé absorpci tepla ze serverů. Tuto techniku chlazení lze rozdělit do dvou kategorií: chlazení součástek kapalinovým okruhem a ponorné chlazení serverů. Při chlazení kapalinovým okruhem je chladicí kapalina pomocí trubic přiváděna přímo ke komponentům, které produkují nejvíce tepla. Při ponorném chlazení jsou servery zcela ponořeny v chladicí kapalině, do které je odváděno teplo generované elektronickými součástmi serverů (Li, 2014).

### **Hybridní chlazení**

Hybridní chlazení je alternativním řešením chlazení, které kromě tradičního systému chlazení vzduchem využívá také chlazení kapalinou, čímž využívá její specifickou tepelnou kapacitu (Gao et al., 2013). Datové centrum může využívat tuto kapacitu například k odebrání tepla z vysoce výkonných součástí při chlazení sekundárních součástí vzduchem (Rubenstein, 2010). Takové řešení může být například použito, když jsou některá zařízení v datovém centru upgradována na zařízení s vyšším výkonem, která nemusí být zvládnutelná se stávajícím chladicím systémem (Ganio et al., 2013).

### **Zvýšení teploty datových sálů**

Další technikou řízení teploty, které využívá například společnost Google, je zvýšení nastavené teploty datových sálů, což může podle průzkumů provozovatelům datových center ušetřit až 4 % nákladů na energii při zvýšení teploty o 0,5 °C. Tento mechanismus lze také použít jako virtuální systém ukládání energie. V dobách, kdy dochází k přebytku energie (např. z obnovitelných zdrojů), je možné snížit nastavenou hodnotu provozní teploty, a tím ochladit celé datové centrum. Tím se vytvoří tzv. tepelný nárazník, který lze později použít ke snížení potřeby chladicí energie jeho vypnutím, dokud nedosáhne kritické hodnoty. Protože reakční doba tohoto

mechanismu do značné míry závisí na velikosti datového centra a jeho interních architektonických volbách, může ochlazení nebo zahřátí daného datového centra trvat až pět minut. Hlavní výhodou této techniky je skutečnost, že ji lze použít, aniž by to mělo dopad na SLA (Service-level agreement) (Basmadjian, 2019).

### **3.4.3 Efektivní plánování úloh a konsolidace pracovní zátěže**

V samotném Spojeném království se v roce 2015 událo okolo 640 výpadků datových center. S očekáváním stále častějších výpadků v blízké budoucnosti je potřeba řádného plánování kapacit, konsolidace pracovní zátěže na serverech poháněných obnovitelnými zdroji a migraci pracovní zátěže tam, kde je to nejvíce energeticky, a tedy i nákladově efektivní (Zakarya, 2019).

V distribuovaných systémech, jako jsou výpočetní klastry, se plánování úloh zaměřuje na to, jak přidělovat úkoly serverům, které by mohly zvýšit jejich využití namísto toho, aby zůstávaly nečinné (Zakarya, 2018). Existuje velké množství plánovacích algoritmů, které se zaměřují na efektivní plánování úloh. Tyto algoritmy se zaměřují buď na plánování úkolů takovým způsobem, aby jejich provádění bylo dokončeno v minimálním čase se sníženou spotřebou energie, nebo aby byly tyto úkoly rozděleny na několika procesorech, takže všechny procesory běží na podobné úrovni využití. Například, pokud lze termín odevzdání úkolu prodloužit, pak frekvence procesoru může být snížena, aby se minimalizovala spotřeba energie (Zakarya, 2017).

Techniky konsolidace pracovní zátěže spočívají ve spuštění více úloh na stejném fyzickém hardwaru, aby se snížil počet zapnutých uzlů (Verma, 2008). Klíčovou schopností systémů, jejichž cílem je konsolidovat pracovní zatížení, je sledování a odhadování zatížení způsobené uživatelskými aplikacemi. Pro odhad vytížení systému může být využito několika technik, jako jsou exponenciální klouzavý průměr (Box et al., 1994), Kalmanův filtr (Kalman, 1960), autoregresní model a kombinace těchto metod (Chase et al., 2001).

Konsolidace pracovní zátěže na menší počet výpočetních uzlů může zvýšit celkové množství energie spotřebované platformou v případech, kdy zůstávají nepoužívané uzly zapnuty. Freeh et al. (2005) popisují, že u některých paralelních

aplikací lze ušetřit energii a čas provedením úloh na více výpočetních uzlech pomalejší rychlostí než na méně uzlech nejrychlejší možnou rychlostí.

Ačkoli se techniky konsolidace pracovní zátěže často spoléhají na algoritmy plánování úloh, energeticky účinné plánování se ne vždy zaměřuje na konsolidaci úkolů na menší počet výpočetních uzlů. Navíc u všech algoritmů, které fungují na bázi zapínání a vypínání výpočetních uzlů, dochází k plýtvání energie, když je výpočetní uzel probuzen a znovu uveden do režimu spánku. Takové algoritmy by proto měly být pečlivě navrženy, aby se výpočetní uzly nezastavovaly zbytečně (Leffevre a Orgerie, 2009).

## 4 Recyklace

Recyklace odpadu je proces přeměny odpadních materiálů do nových produktů, zabraňující plýtvání potenciálně užitečnými materiály. Správná recyklace pomáhá snižovat znečišťování ovzduší (ze spalování odpadu) a znečišťování vody (ze skládek). Recyklovatelné materiály zahrnují mnoho druhů skla, papír, lepenku, kov, plast, textil, baterie a elektronická zařízení. Opětovné použití odpadu se také považuje za recyklaci (Lykou et al., 2018).

Recyklovanost zdrojů se vyhodnocuje na základě dvou ovlivňujících indikátorů, kterými jsou poměr recyklace odpadu (Waste Recycle Rate) a poměr opětovného využití vody (Water Reuse Ratio). Tyto faktory mají za cíl motivovat provozovatele datových center k minimalizaci odpadu a ke zvýšení recyklačních iniciativ ve svých zařízeních (Lykou et al., 2018).

Míra recyklace odpadu je definována jako poměr množství recyklovaného odpadu ku množství celkového produkovaného odpadu (Lykou et al., 2018).

$$\text{Poměr recyklace opadu} = \frac{\text{Recyklovaný odpad}}{\text{Celkový vyprodukovaný odpad}}$$

Datová centra často využívají vodu k chlazení svých datových sálů. Správné hospodaření s vodou lze praktikovat jejím opakovaným využíváním a snížením jejího zbytečného plýtvání. Jednou ze strategií správného hospodaření je schraňování dešťové vody, kterou lze po její filtraci používat například pro zavlažování trávníku, toalety, zahradnictví, nebo hasící zařízení.



Všechna tato opatření lze hodnotit mírou opětovného použití vody, která je definována jako poměr recyklované a celkově použité vody (Lykou et al., 2018).

$$\text{Poměr opětovného použití vody} = \frac{\text{Recyklovaná voda}}{\text{Celková použitá voda}}$$

## 4.1 Opětovné využívání cenných částí ICT

Drahé kovy (jako např.: zlato, stříbro, platina, gallium, palladium, tantal, tellur, germanium a selen) a prvky vzácných zemin (jako např.: yttrium, europium a coltan) obsažené ve výpočetních zařízeních by měly být recyklovány, aby nedošlo ke ztrátě cenných zdrojů (International Telecommunication Union, 2018).

## 4.2 E-waste

E-waste je zkratkou pro “electronic waste”, česky elektronický odpad. Jedná se o termín používaný k popisu nefungujících nebo vyřazených spotřebičů využívajících ke svému fungování elektřinu (počítače, spotřební elektronika, chladničky atd.). Mezi hlavní faktory, které přispívají k rostoucímu množství elektronického odpadu patří rychlý vývoj technologií a zkracující se životnost produktů (Baldé et. al., 2015, s. 4). Tento problém nutnosti neustálého obměňování elektronických produktů je ještě naléhavější u zařízení ICT. (Baldé et. al., 2015, s.8)

Při likvidaci elektronického odpadu často nejsou náležitě zohledněny nebezpečné látky nebo cenné prvky, které obsahují. Pokud nejsou správně likvidovány, mohou tyto látky poškodit životní prostředí i lidské zdraví. Omezováním používání některých nebezpečných látek v elektrických zařízeních se zabývá směrnice Evropského parlamentu a Rady z roku 2002 (2002/95/EU).

### 4.2.1 Měření množství elektronického odpadu

Měření a zaznamenávání množství elektronického odpadu je důležitým krokem k řešení problémů, které s ním souvisí. Statistiky pomáhají vyhodnotit vývoj v čase,

stanovit a posoudit cíle a určit osvědčené postupy. Zaznamenané údaje o elektronickém odpadu pomáhají minimalizovat jeho produkci, předcházet nelegálnímu dumpingu (vyvážení zboží do rozvojových zemí, pod falešnou záminkou), podporovat recyklaci a vytvářet pracovní místa v sektorech opětovného použití, obnovy a recyklace (International Telecommunication Union, 2018, s.6).

## 5 Případová studie: společnost Seznam.cz

Praktická část této práce obsahuje případovou studii. Pro účely této studie bylo zvoleno datové centrum Kokura společnosti Seznam.cz, která byla zvolena zejména z důvodu, že jejich datové centrum je známé svou snahou o využívání co nejvíce efektivních metod Green computing. Navíc je společnost Seznam.cz velice otevřená ke spolupráci s veřejností a k případové studii byla ochotná poskytnout osobní poradenství i mnoho potřebných materiálů. Výhodou byl také fakt, že společnost Seznam.cz datové centrum Kokura vlastní a sama jej vybudovala, což není příliš běžné, protože mnoho firem si datová centra pouze pronajímá.

### 5.1 Metodika případové studie

Případová studie je druhem kvalitativního výzkumu, při kterém jde o detailní studium a sběr dat od jednoho nebo několika málo případů (Hendl, 2012, s. 104). V této práci se podle Hendlova (2012, s. 105) dělení případových studií jedná o studium organizací a institucí, kde je předmětem zkoumání datové centrum společnosti Seznam.cz a jeho implementace metod Green computing. Dle dělení případových studií podle R. E. Stakea (1995) se poté jedná o instrumentální případovou studii, ve které je vždy nejdříve vybrán jev a následně podrobně zkoumány případy, které tento jev reprezentují. Cílem této případové studie je zodpovězení otázek: “Jakých metod Green computing datové centrum Kokura využívá?” a “Z jakých důvodů volí právě tyto metody?”

### 5.2 Metoda sběru dat

V rámci vypracovávání případové studie této práce byly využity metody sběru dat:

- 1) práce s veřejně dostupnými dokumenty. Mezi tato sbíraná data patřily zejména informace získané z webových stránek Seznamu.cz (Seznam, 2020) a z rozhovoru s technickým ředitelem Seznamu pro server Root.cz (Krčmář, 2019).

- 2) soukromá komentovaná prohlídka datového centra Kokura, která zprostředkována manažerem datového centra a skládala se z prezentace o datovém centru, komentované prohlídky a následného zodpovězení dodatečných otázek. Veškeré informace týkající se datového centra Kokura, které nejsou označeny zdrojem, byly získány v rámci této prohlídky.

### **5.3 O společnosti Seznam.cz**

Společnost Seznam.cz založil v roce 1996 Ivo Lukačovič. Jedná se o českou akciovou společnost sídlící v Praze, která spravuje stejnojmenný webový vyhledávač. Od roku 1998 začala společnost kromě vyhledávače a katalogu zprostředkovávat i další služby. Mezi nejvyužívanější patří: Mapy.cz, Email.cz, Firmy.cz, Novinky.cz, Televize Seznam, Seznam Zprávy, Sklik a další (Seznam, 2020). Tržby za rok 2018 činily 4,48 miliardy korun, což znamenalo roční nárůst o 8,8 %. Nejvíce se na nárůstu tržeb podílely příjmy z reklamy v obsahové síti Sklik. (Kapuciánová, 2019)

### **5.4 Datová centra**

V současné době využívá Seznam.cz k poskytování služeb a ukládání dat služeb tři datacenter. Dvě z nich, pojmenované Nagano a Ósaka, má společnost v pronájmu, a třetí, nazvané Kokura, vlastní. Seznam.cz má v současnosti více než osm tisíc serverů. Datová centra fungují v režimu duality, což znamená, že klíčová data se nacházejí paralelně vždy alespoň ve dvou z center tak, aby případný výpadek jednoho z nich neomezil provoz služeb. Využívání tří datových center má také pozitivní ekonomický dopad, protože teoreticky stačí 50 % hardwaru v každém centru čili v součtu 150 % místo 200 %, jak tomu je u využívání dvou center. V této případové studii se budu zabývat datacentrem Kokura.

### **5.5 Kokura**

Datové centrum Kokura, které sídlí v pražské průmyslové zóně Horní Počernice, bylo uvedeno do provozu v roce 2015. Jedná se o jediné datové centrum,

kteře společnost Seznam.cz - přesněji řečeno její dceřiná firma Seznam.cz Datová centra, s.r.o. - vlastní. (Seznam, 2020) Součástí centra, které má výměru 2 500 m<sup>2</sup>, jsou v červnu 2020 dva datové sály, které dohromady obsahují 192 racků (96 racků v každém) a 3 820 serverů. Maximální příkon pro IT zařízení těchto sálů činí 960 kW a průměrná měsíční spotřeba se k červnu 2020 pohybovala okolo 540 MWh. Dále se v datovém centru nachází místnost chlazení, rozvodna UPS (zdroj nepřerušovaného napájení), místnost baterií, dohledové centrum, skladové prostory, laboratoř a reprezentativní prostory.

## **5.6 Využívané metody Green computing**

Tato část práce pojednává o metodách Green computing, které společnost Seznam.cz využívá v datovém centru Kokura. Dále také pojednává o tom, proč byly zvoleny právě tyto metody a z jakých důvodů některých metod Green computing datové centrum nevyužívá.

### **5.6.1 Techniky měření spotřeby energie a vytváření energetických modelů**

Datové centrum Kokura měří svou energetickou efektivitu především indikátorem energetické efektivity (PUE). Tento indikátor zobrazuje porovnání energie spotřebované výpočetní technikou s energií spotřebovanou režijními náklady. Ideální PUE má hodnotu 1, což by znamenalo, že veškerá spotřebovaná energie byla spotřebována IT zařízeními. Během roku se jeho hodnota v Kokuře pohybuje mezi 1,2 během zimních měsíců a až 1,6 během léta s tím, že průměrná roční hodnota PUE vychází okolo 1,3. Jedná se o poměrně vysokou hodnotu ve srovnání s průměrnou hodnotou PUE nepřekračující 1,2, které dosahují společnosti jako Google nebo Microsoft (Google, 2020; Microsoft, 2015), kde jsou ovšem nutné vzít v potaz vyšší rozpočty těchto firem. Při srovnání s průměrným PUE datových center z roku 2019 podle průzkumu Uptime Institute's 2019 Data Center Survey (2019), který činil 1,67, patří datové centrum Kokura mezi efektivnější. Tyto hodnoty se provozovateli daří udržet především díky energeticky efektivnímu chlazení datových sálů.

## 5.6.2 Optimalizace výpočetních uzlů

Seznam.cz v době spuštění datového centra Kokura v roce 2015 nakupoval standardní servery na trhu. Postupným zkoumáním svých potřeb však dospěl k tomu, že si v rámci projektu Montovna vyrábí vlastní servery “na míru”, které jsou optimalizovány pro konkrétní provozované aplikace, tedy výpočetní uzly. Na nich je navržen odpovídající hardware pro software Seznamu. Datové centrum využívá také klidových režimů v hodinách cca od půlnoci do šesti hodin ráno, a to z důvodů menšího zatížení serverů. V tomto čase jsou spouštěny procesy záloh, aktualizací a nezbytných procesů pro optimální chod.

## 5.6.3 Využívání obnovitelných zdrojů energie

Z obnovitelných zdrojů energie Kokura využívá fotovoltaickou elektrárnu o výkonu 30 kW, umístěnou na střeše datového centra. Tato elektrárna vyrobí dostatek energie na pokrytí spotřeby skladových prostor a administrativní části Kokury. Dále společnost vlastní certifikát, prokazující, že nakupují od společnosti E.ON tzv. zelenou energii, která je ze 100 % vyrobená z obnovitelných zdrojů.

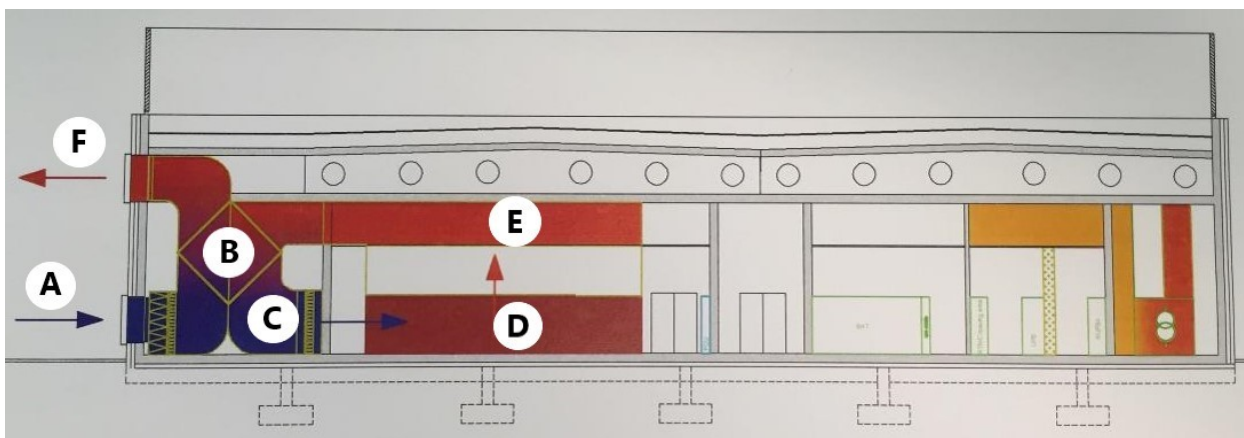
## 5.6.4 Řízení teploty

Jak již bylo podrobněji vysvětleno v části 3.4.2, pro zajištění energetické efektivity datových center je správný způsob chlazení nezbytný. Kokura zvýšila teplotu svých datových sálů na 26 °C, což již samo o sobě šetří energii, a jako první datové centrum v České republice začala využívat k jejich chlazení tzv. nepřímého Free coolingu.

Free cooling využívá k chlazení datových sálů nízkých venkovních teplot a do venkovní teploty 23 °C funguje bez nutnosti používání kompresorového chlazení. Praha, kde se průměrná roční teplota pohybuje okolo 9 °C (Český hydrometeorologický ústav, 2019), tak pro metodu Free cooling nabízí velice dobré podmínky. Voda využívaná pro Free cooling nejdříve prochází procesem reverzní osmózy, což je metoda filtrace vody. Z jednoho litru vody se v Kokuře vyrobí 0,6 litru upravené vody, která je pro Free cooling vhodná. Zbylá voda se využívá na zalévání trávníku, který obklopuje datové centrum. Kokura k této metodě chlazení používá vodu

z veřejného vodovodu, protože využívání dešťové vody by z důvodů komplikovaného svádění vody a znečištění takové vody pylem nebylo výhodné.

Metoda nepřímého Free coolingu je na rozdíl od přímému Free coolingu založená na dvou uzavřených obězích vzduchu, kde se teplo ze serverových racků uchovává v uzavřené teplé uličce (hot aisle) a nedochází tak k mixování se studeným vzduchem, jak je znázorněno na obr. 4. Venkovní vzduch je vodou ochlazen v části klimatizační jednotky přes křížový výparník a poté je veden vzduchovody až do datových sálů. Teplo, které systém chlazení vyprodukuje, se zejména z ekonomických důvodů v Kokuře znovu nevyužívá.



Obrázek 4 Schéma nepřímého Free coolingu v Kokuře

A= nasávání venkovního vzduchu  
B= křížový výparník (chladící voda)  
C= přívod studeného vzduchu

D= servery (zdroj tepla)  
E= uzavřená teplá ulička  
F= výfuk teplého vzduchu

### 5.6.5 Cloud a virtualizace

Virtualizace neboli provozování dvou nebo více virtuálních počítačových systémů na jedné sadě fyzického hardwaru, je v Kokuře využívána již od jejího založení. V současnosti se s virtualizací zaměřují především na jednotlivé operační systémy, které spravují, a díky virtualizaci je jich pětkrát až šestkrát více než fyzických serverů.

V budoucnu se chce datové centrum více soustředit na efektivnější vytěžování hardwaru, protože v současné době jsou procesory i s využíváním virtualizace v průměru pouze asi na 20 % zatíženy. Zároveň však potřebují zůstat kvůli případným výpadkům jednoho centra redundantní, takže neplánují překročit zatížení 50 % (Krčmář, 2019).

Pokud jde o cloud, tak toho datové centrum Kokura prozatím nevyužívá. Jeho zavedení se ale momentálně nachází v testovací fázi, takže je možné, že se Kokura cloudového řešení již brzy dočká.

### **5.6.6 Recyklace**

Recyklace ICT zařízení datových center je další z metod Green computing, kterou Kokura bere v potaz. Všechna ICT zařízení, která datové centrum vyměňuje, ale která jsou stále funkční, dále odprodává. Ta již nefunkční jsou ošetřena servisní smlouvou, která zahrnuje u dodavatelů i ekologickou likvidaci veškerých nefunkčních či opravovaných technologií, či provozních kapalin. Veškerý další odpad datového centra, jako jsou igelitové, polystyrenové, kartonové a jiné součásti obalů, je likvidován výhradně do tříděného odpadu.

## **5.7 Shrnutí**

Případová studie demonstruje, jaké techniky Green computing se reálně využívají v českém prostředí a potvrzuje, že datové centrum Kokura společnosti Seznam.cz v současnosti využívá takových technik hned několik. Jako první v České republice začali využívat k chlazení datových sálů metodu takzvaného nepřímého Free coolingu, pro kterou -Praha nabízí příznivé klimatické podmínky a která pomáhá udržovat vysokou energetickou efektivitu a relativně nízkou hodnotu PUE, zejména ve srovnání s celosvětovým průměrem. Vyrábění vlastních hardwarových částí v projektu Montovna zase Kokuře umožňuje vyrábět servery tzv. “na míru” a optimalizovat je tak pro konkrétní aplikace a software Seznamu. Již několik let také datové centrum využívá virtualizaci a klidové režimy k efektivnímu rozdělování úloh a zatěžování výpočetních uzlů. Co se týká recyklace ICT vybavení, datové centrum Kokura přistupuje k likvidaci



jak stále funkčních zařízení (přeprodávání), tak těch nefunkčních (ekologická likvidace) zodpovědně k životnímu prostředí.

Co se týká metod Green computing, kterých datové centrum Kokura nevyužívá, za zmínku stojí především opětovné využívání tepla, produkovaného datovými sály, a řízené svádění dešťové vody, která by mohla být používána při chlazení. Hlavním důvodem nevyužívání těchto metod je jejich finanční náročnost, a to zejména při jejich implementaci. Tyto metody také v současné době neznamenaají pro společnost Seznam.cz takovou finanční úsporu, aby se firmě tato investice vyplatila. Další metodou Green computing, kterou Kokura prozatím nevyužívá, je Cloud computing, jež se ovšem v současné době nachází v testovací fázi, takže tomu tak pravděpodobně dlouho nezůstane.

## 6 Závěr

Cílem této práce bylo popsat vývoj a metody Green computing, které jsou v současnosti považovány za relevantní, zejména v kontextu velkých výpočetních systémů, čehož bylo dosaženo formou jak teoretického zmapování dané problematiky, tak díky případové studii, která demonstruje, jaké metody Green computing mohou být využívány v českém prostředí.

Zatímco ve svých počátcích se Green computing zaměřoval především na snížení spotřeby elektrické energie datových center, které souviselo zejména s finančními úsporami, druhá vlna nazývaná “Sustainable IT” měla širší záběr a vedla k udržitelnosti nad rámec pouhé spotřeby energie. V posledních letech se pozornost velkých výpočetních systémů v kontextu Green computing přesunula opět zejména k výzkumu nových technik úspory energie, což je způsobeno především zvýšenou efektivitou a finančními úsporami, které s využíváním takových technik úzce souvisí. S tím, jak se informační technologie rychle vyvíjejí a s rostoucí hrozbou environmentálních dopadů všech odvětví včetně IT, se neustále vyvíjejí i nové techniky Green computing.

Ke správnému praktikování metod Green computing jsou nezbytné techniky měření spotřeby energie a energetické modely, díky kterým lze měřit účinnost spotřebované energie. Takové modely mohou firmám ukázat, kolik energie je spotřebováno jinými než ICT zařízeními a nasměrovat je tak například k ekologičtějším a úspornějším metodám chlazení. Nejčastěji využívanou metrikou navrženou k těmto účelům je indikátor PUE.

Optimalizace výpočetních uzlů nabízí velkým infrastrukturám, jako jsou datová centra, hned několik technik úspor energie. Často využívanou technikou je uvádění nečinných uzlů do klidových režimů, což je ovšem spojené s časovou reží jejich opětovného probouzení, které může dlouho trvat. Dynamické škálování frekvence a napětí má velký potenciál k využívání v datových centrech, kde nemusí být z důvodů kolísání poptávky možné servery vypínat. Zvyšováním a snižováním frekvence procesoru se minimalizuje množství energie spotřebované na úrovni systému. Je však

třeba počítat s prodloužením doby zpracování úloh, která s provozem systému na nižší frekvenci souvisí.

Cloud computing a s ním související virtualizace jsou již několik let považovány za nejslibnější metody Green computing. Jejich přínosem je z hlediska udržitelnosti především zvýšené využití zdrojů, jež vede k nižší spotřebě energie. Dále také úspora prostoru, která je v dnešní době z důvodu velkého množství produkovaných dat pro datová centra klíčová.

Snižování spotřeby energie datových center, která jsou známá svou energetickou náročností, je jedním z hlavních cílů Green computing. Využívání obnovitelných zdrojů energie je pro datová centra ekologickou metodou, která je s ohledem na současnou vyspělost tohoto odvětví považována za metodu s nízkými náklady. Každé datové centrum se také musí potýkat s přebytečným teplem, které je nutné odstraňovat, aby nedocházelo k přehřátí ICT vybavení. Nejčastěji využívanými energeticky efektivními technikami řízení teploty jsou: tepelné vyrovnávání zátěže na základě sezónního a denního kolísání teploty, metody Free coolingu, chlazení kapalinou, hybridní chlazení a zvýšení teploty datových sálů.

Samostatnou sekci Green computing tvoří správná recyklace ICT vybavení a opětovné využívání cenných nebo vzácných zdrojů. Jedná se o podstatnou součást správného praktikování Green computing, neboť například nesprávnou likvidací nebezpečných látek, které ICT vybavení často obsahuje, může docházet k poškození životního prostředí i lidského zdraví. Důležité je také opětovné využívání drahých kovů a vzácných zemin, které předchází jejich zbytečným ztrátám.

V rámci případové studie, která je součástí této práce, byly popsány metody Green computing využívané datovým centrem společnosti Seznam.cz. Mezi konkrétní využívané praktiky patří využívání klidových režimů, fotovoltaické elektrárny, metody nepřímého Free coolingu k chlazení datových sálů, virtualizace a recyklace ICT zařízení.

## Seznam zdrojů

About. *The Open Compute Project* [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.opencompute.org/about>

Accenture, "SMARTer2030: ICT solutions for 21st century challenges," 2015. [Online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: [http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full\\_report2.pdf](http://smarter2030.gesi.org/downloads/Full_report2.pdf)

App Engine. *Google Cloud* [online]. [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/appengine>

ARUTYUNOV, V. V. Cloud computing: Its history of development, modern state, and future considerations. *Scientific and Technical Information Processing* [online]. 2012, **39**(3), 173-178 [cit. 2020-07-28]. DOI: 10.3103/S0147688212030082. ISSN 0147-6882. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.3103/S0147688212030082>

ATREY, Ankita, Nikita JAIN a N.Ch.S.N IYENGAR. A Study on Green Cloud Computing. *International Journal of Grid and Distributed Computing* [online]. 2013, **6**(6), 93-102 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.14257/ijgdc.2013.6.6.08. ISSN 20054262. Dostupné z: [http://article.nadiapub.com/IJGDC/vol6\\_no6/8.pdf](http://article.nadiapub.com/IJGDC/vol6_no6/8.pdf)

BALDÉ Kees, Feng WANG, Ruediger KUEHR, Jaco HUISMAN. *The Global E-waste Monitor – 2014, 2015*. ISBN: 978-92-808-4555-6

BASMADJIAN, Robert. Flexibility-Based Energy and Demand Management in Data Centers: A Case Study for Cloud Computing. *Energies* [online]. 2019, **12**(17) [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.3390/en12173301. ISSN 1996-1073. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/17/3301>

BLANQUICET, Francisco a Ken CHRISTENSEN. Managing energy use in a network with a new SNMP Power State MIB. In: *2008 33rd IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN)* [online]. IEEE, 2008, 2008, s. 509-511 [cit. 2020-05-26]. DOI: 10.1109/LCN.2008.4664214. ISBN 978-1-4244-2412-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4664214/>

BOX, George E.P, Gwilym M. JENKINS a Geoffrey C. REINSEL. *Time series analysis: forecasting and control*. 3rd. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1994. ISBN 0130607746.

BUYYA, Rajkumar, Chee Shin YEO a Srikumar VENUGOPAL. Market-Oriented Cloud Computing: Vision, Hype, and Reality for Delivering IT Services as Computing Utilities. In: *2008 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications* [online]. IEEE, 2008, 2008, s. 5-13 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1109/HPCC.2008.172. ISBN 978-0-7695-3352-0. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4637675/>

CAVDAR, Derya a Fatih ALAGOZ. A survey of research on greening data centers. In: *2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)* [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 3237-3242 [cit. 2020-04-20]. DOI: 10.1109/GLOCOM.2012.6503613. ISBN 978-1-4673-0921-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6503613/>

Computer Hope: Free computer help since 1998 [online]. [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.computerhope.com/>

Efficiency. *Google* [online]. [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>

FREEH, V.W., FENG PAN, N. KAPPIAH, D.K. LOWENTHAL a R. SPRINGER. Exploring the Energy-Time Tradeoff in MPI Programs on a Power-Scalable Cluster. In: *19th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium* [online]. IEEE, 2005, 4a-4a [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1109/IPDPS.2005.214. ISBN 0-7695-2312-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1419817/>

GAO, Tianyi, Emad SAMADIANI, Roger SCHMIDT a Bahgat SAMMAKIA. Dynamic Analysis of Hybrid Cooling Data Centers Subjects to the Failure of CRAC Units. In: *Volume 2: Thermal Management; Data Centers and Energy Efficient Electronic Systems* [online]. American Society of Mechanical Engineers, 2013, 2013-07-16, s. - [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1115/IPACK2013-73196. ISBN 978-0-7918-5576-8. Dostupné z: <https://asmedigitalcollection.asme.org/InterPACK/proceedings/InterPACK2013/55768/Burlingame,%20California,%20USA/265798>

Google, *Google Environment Report 2018* [online]. [cit. 2020-06-06] Dostupné z: <https://sustainability.google/reports/>

Google App Engine Blog, 2008. *Introducing Google App Engine + our new blog*. [online]. [Cit. 20.6.2020]. Dostupné z: <http://googleappengine.blogspot.com/2008/04/introducing-google-app-engine-our-new.html>

Greenpeace. How dirty is your data? A Look at the Energy Choices that Power Cloud Computing [online]. Amsterdam: Greenpeace, 2011. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.greenpeace.org/international/publication/7196/how-dirty-is-your-data/>

GUPTA, S. Computing with green responsibility. In: Proceedings of the International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology - ICWET '10 [online]. New York, New York, USA: ACM Press, 2010, s. 234- [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1145/1741906.1741959. ISBN 9781605588124. Dostupné z: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1741906.1741959>

GUNARATNE, Chamara, Ken CHRISTENSEN a Bruce NORDMAN. Managing energy consumption costs in desktop PCs and LAN switches with proxying, split TCP connections, and scaling of link speed. In: *International Journal of Network Management* [online]. 2005, 15(5), 297-310 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1002/nem.565. ISSN 1055-7148. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/nem.565>

HARMON, Robert, Haluk DEMIRKAN, Nora AUSEKLIS a Marisa REINOSO. From Green Computing to Sustainable IT: Developing a Sustainable Service Orientation. In: *2010 43rd Hawaii International Conference on System Sciences* [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 1-10 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1109/HICSS.2010.214. ISBN 978-1-4244-5509-6. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5428622/>

HAYES, Brian. Cloud computing. *Communications of the ACM* [online]. 2008, 51(7), 9-11 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1145/1364782.1364786. ISSN 0001-0782. Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1364782.1364786>

HENDL, Jan. *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005. ISBN 80-7367-040-2.

International Telecommunication Union. *Handbook for the development of a policy framework on ICT/e-waste*. 2018, [cit. 2019-05-31] Dostupné z: [http://handle.itu.int/11.1002/pub/81\\_1b77c9-en](http://handle.itu.int/11.1002/pub/81_1b77c9-en)

Internet používá přes 80 % obyvatel Česka, *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/internet-pouziva-pres-80-obyvatel-ceska>

JAIN, A., M. MISHRA, S. K. PEDDOJU a N. JAIN. Energy efficient computing- Green cloud computing. In: *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability* [online]. IEEE, 2013, 2013, s. 978-982 [cit. 2020-07-12]. DOI: 10.1109/ICEETS.2013.6533519. ISBN 978-1-4673-6150-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6533519/>

KALMAN, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. *Journal of Basic Engineering* [online]. 1960, **82**(1), 35-45 [cit. 2020-07-27]. DOI: 10.1115/1.3662552. ISSN 0021-9223. Dostupné z: <https://asmedigitalcollection.asme.org/fluidsengineering/article/82/1/35/397706/A-New-Approach-to-Linear-Filtering-and-Prediction>

KAPUCIÁNOVÁ, Aneta. Společnost Seznam.cz meziročně navýšila tržby o téměř 9 % na 4,48 miliardy korun. *Sblog* [online]. 24. 6. 2019 [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: <https://blog.seznam.cz/2019/06/spolecnost-seznam-cz-mezirocne-navysila-trzby-o-temer-9-na-448-miliardy-koron/>

KOCHHAR, Er. Navdeep and Er. Arun GARG, Eco-friendly Computing: Green Computing, Baba Farid College, Bathinda, Punjab. *International Journal of Computing and Business Research* [online], ISSN: 2229-6166, Volume 2 Issue 2 May 2011. [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.32628/CSEIT411854

KRČMÁŘ, Petr. Seznam staví vlastní servery, je to levnější, říká Vlastimil Pečínka. *Root.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-06-29]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/seznam-stavi-vlastni-servery-je-to-levnejsi-rika-vlastimil-pecinka/>

LEANGSUKSUN, C., T. RAO, A. TIKOTEKAR, S.L. SCOTT, R. LIBBY, J.S. VETTER, YUNG-CHIN FANG a HONG ONG. IPMI-based Efficient Notification Framework for Large Scale Cluster Computing. In: *Sixth IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID'06)* [online]. IEEE, 2006, 2006, s. 23-23 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1109/CCGRID.2006.1630918. ISBN 0-7695-2585-7. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1630918/>

LEFÈVRE, L, a A.-C. ORGERIE. Towards Energy Aware Reservation Infrastructure for Large-Scale Experimental Distributed Systems. *Parallel Processing Letters* [online]. 2011, 19(03), 419-433 [cit. 2020-06-25]. DOI: 10.1142/S0129626409000316. ISSN 0129-6264. Dostupné z: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0129626409000316>

LI, L. W. Zheng, X. WANG, & X. Wang. Coordinating Liquid and Free Air Cooling with Workload Allocation for Data Center Power Minimization. *ICAC* [online]. 2014, Dostupné z: [https://www.usenix.org/conference/icac14/technical-sessions/presentation/li\\_li](https://www.usenix.org/conference/icac14/technical-sessions/presentation/li_li).

LIU, Zhifeng & Hong ZHU, & Kai LU, & Xiaoping WANG. Self-adaptive management of the sleep depths of idle nodes in large scale systems to balance between energy consumption and response times. *CloudCom 2012 - Proceedings: 2012 4th IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science*. 633-639. 10.1109/CloudCom.2012.6427509.

LYKOU, G., D. MENTZELIOTI, D. GRITZALIS. A new methodology toward effectively assessing data center sustainability. *Computers & Security* [online]. 2018, 76, pp. 327-340, [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404817302754>

MARINESCU, Dan. *Cloud Computing: Theory and Practice*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers In, 2013. ISBN: 978-0124046276

MARINESCU, Dan. *Cloud Computing: Theory and Practice*. 2nd ed. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers In, 2017. ISBN: 978-0128128107.

Microsoft, Microsoft's Cloud Infrastructure: Datacenters and Network Fact Sheet [online], 2015, [cit. 2020-07-26]. Dostupné z: [download.microsoft.com](http://download.microsoft.com)

MILLARD, Christopher a W Kuan HON. *Cloud Technologies and Services*. Cloud Computing Law. Oxford University Press, 2013, s. 448. ISBN: 978-0-19-967167-0.

MIN-ALLAH, Nasro, Hameed HUSSAIN, Samee Ullah KHAN, and Albert Y ZOMAYA. Power efficient rate monotonic scheduling for multi-core systems. *Journal of Parallel and Distributed Computing* [online]. 2012, 72(1):48-57 [cit. 2020-07-11].

NGUYEN, Kim-Khoa, Mohamed CHERIET, Mathieu LEMAY, Michel SAVOIE a Bobby HO. Powering a Data Center Network via Renewable Energy: A Green Testbed. *IEEE Internet Computing* [online]. 2013, 17(1), 40-49 [cit. 2020-07-11]. DOI: 10.1109/MIC.2012.125. ISSN 1089-7801. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6415916/>

NRDC. America's data centers are wasting huge amounts of energy: critical action needed to save billions of dollars and kilowatts. NRDC Issue Brief, 2014 IB:14-08-A, pp. 1-6 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.nrdc.org/resources/americas-data-centers-consuming-and-wasting-growing-amounts-energy>

O nás. *Seznam.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <https://o.seznam.cz/o-nas/>



ORGERIE, Anne-Cecile, Marcos Dias de ASSUNCAO, Laurent LEFEVRE. A survey on techniques for improving the energy efficiency of large-scale distributed systems. *ACM Computing Surveys* [online], 2014, 46(4), Article No. 47. [cit. 2020-07-09] DOI 10.1145/2532637

PIERSON, Jean-Marc, Gwilherm BAUDIC, Stephane CAUX, et al. DATAZERO: Datacenter With Zero Emission and Robust Management Using Renewable Energy. *IEEE Access* [online]. 2019, 7, 103209-103230 [cit. 2020-07-11]. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2930368. ISSN 2169-3536. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8768369/>

PIRAGHAJ, Sareh Fotuhi, Amir Vahid DASTJERDI, Rodrigo N. CALHEIROS a Rajkumar BUYYA. A Survey and Taxonomy of Energy Efficient Resource Management Techniques in Platform as a Service Cloud. CHEN, Jianwen “Wendy”, Yan ZHANG a Ron GOTTSCHALK, ed. *Handbook of Research on End-to-End Cloud Computing Architecture Design* [online]. IGI Global, 2017, 2017, s. 410-454 [cit. 2020-07-26]. Advances in Systems Analysis, Software Engineering, and High Performance Computing. DOI: 10.4018/978-1-5225-0759-8.ch017. ISBN 9781522507598. Dostupné z: <http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/978-1-5225-0759-8.ch017>

PATEL, Chandrakant, Ratnesh SHARMA, Cullen BASH a Sven GRAUPNER. Energy Aware Grid: Global Workload Placement Based on Energy Efficiency. In: Advanced Energy Systems [online]. ASMEDC, 2003, s. 267-275 [cit. 2020-07-05]. DOI: 10.1115/IMECE2003-41443. ISBN 0-7918-3708-4. Dostupné z: <https://asmedigitalcollection.asme.org/IMECE/proceedings/IMECE2003/37084/267/300343>

PATIL, Pooja Subhash, KHARADE Jyoti, A Study on Green Cloud Computing Technologies. *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering* [online]. 2016, Vol. 4, Issue 6 [cit. 2020-05-22], DOI: 10.15680/IJIRCCE.2016.0406170. ISSN: 2320-9801

REDDY, V. Dinesh, Brian SETZ, G. Subrahmanya V.R.K. RAO, G.R. GANGADHARAN a Marco AIELLO. Metrics for Sustainable Data Centers. *IEEE Transactions on Sustainable Computing* [online]. 2017, 2(3), 290-303 [cit. 2020-06-26]. DOI: 10.1109/TSUSC.2017.2701883. ISSN 2377-3782. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7921551/>

RUBENSTEIN, Brandon A, Roy ZEIGHAMI, Robert LANKSTON a Eric PETERSON. Hybrid cooled data center using above ambient liquid cooling. In: *2010 12th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems* [online]. IEEE, 2010, 2010, s. 1-10 [cit. 2020-07-20]. DOI: 10.1109/ITHERM.2010.5501426. ISBN 978-1-4244-5342-9. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5501426/>

SHUJA, J., A. GANI, S.SHAMSHIRBAND, R. W. AHMAD a K. BILAL. Sustainable Cloud Data Centers: A survey of enabling techniques and technologies. *RENEWABLE* [online]. 2016, 62, 195-214 [cit. 2020-05-13]. DOI: 10.1016/j.rser.2016.04.034. ISSN 13640321.

SHUJA, J., R. W. AHMAD, A. GANI, A. I. ABDALLA AHMED, A. SIDDIQA, K. NISAR, S.U. KHAN a A. Y. ZOMAYA. Greening emerging IT technologies: techniques and practices. *Journal of Internet Services and Applications* [online]. 2017, 8(1) [cit. 2020-05-20]. DOI: 10.1186/s13174-017-0060-5. ISSN 1867-4828. Dostupné z: <http://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/s13174-017-0060-5>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/95/EU ze dne 27. ledna 2003 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0095>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/96/ES ze dne 27. ledna 2003 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0096>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2011/65/EU ze dne 8. června 2011 o omezení používání některých nebezpečných látek v elektrických a elektronických zařízeních. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX:32011L0065>

SNOWDON, D., RUOCCO, S., and HEISER, G. Power management and dynamic voltage scaling: Myths and facts. In *Workshop on Power Aware Real-time Computing*. 2005. [cit. 2020-06-29] Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Power-management-and-dynamic-voltage-scaling%3A-Myths-Snowdon-Ruocco/7af7471f0d45569309e5b992bab92bdf419eae76>

STAKE, Robert E. *The art of case study research*. Thousand Oaks: Sage Publications, 1995. 173 s. ISBN 0-8039-5767-X.

Územní teploty. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. 2019 [cit. 2020-07-29]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

VOORSLUYS, William, James BROBERG a Rajkumar BUYYA. Introduction to Cloud Computing. BUYYA, Rajkumar, James BROBERG a Andrzej GOSCINSKI, ed. *Cloud Computing* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011, 2011-01-03, s. 1-41 [cit. 2020-07-28]. DOI: 10.1002/9780470940105.ch1. ISBN 9780470940105. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9780470940105.ch1>

ZAKARYA, Muhammad. An Extended Energy-Aware Cost Recovery Approach for Virtual Machine Migration. *IEEE Systems Journal* [online]. 2019, **13**(2), 1466-1477 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1109/JSYST.2018.2829890. ISSN 1932-8184. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8362905/>

ZAKARYA, Muhammad. Energy, performance and cost efficient datacenters: A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2018, **94**, 363-385 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.005. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032118304404>

ZAKARYA, Muhammad a Lee GILLAM. Energy efficient computing, clusters, grids and clouds: A taxonomy and survey. *Sustainable Computing: Informatics and Systems* [online]. 2017, **14**, 13-33 [cit. 2020-07-26]. DOI: 10.1016/j.suscom.2017.03.002. ISSN 22105379. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210537917300707>

ZHANG, Hainan, Shuangquan SHAO, Hongbo XU, Huiming ZOU a Changqing TIAN. Free cooling of data centers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, **35**, 171-182 [cit. 2020-04-14]. DOI: 10.1016/j.rser.2014.04.017. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S136403211400244>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma zobrazující metody snížení spotřeby energie serverů.....	16
Obrázek 2 Výpočetní uzel a možné stavy jeho částí.....	18
Obrázek 3 Porovnání modelů cloudových služeb.....	25
Obrázek 4 Schéma nepřímého Free coolingu v Kokuře.....	39