



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

TECHNOLOGIE GRIDŮ A CLOUDŮ

GRID AND CLOUD COMPUTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Began

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky
Student: **Jakub Began**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **prof. RNDr. Ing. Miloš Šeda, Ph.D.**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Technologie gridů a cloudů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rostoucí výkon pracovních stanic v počítačové síti umožňuje přenést na ně část výpočetního výkonu serveru, a na tom je založena technologie gridu, využitelná např. ve firemním intranetu. Vedle výpočetního gridu existuje také datový grid, kde prostředky sítě jsou využívány jako datová úložiště. V poslední době se pro tyto služby často používá pojem cloud computing. Cílem práce je popsat možnosti těchto technologií, využitelnost v praxi a také případné nevýhody (např. závislost na poskytovateli cloudových služeb).

Cíle bakalářské práce:

Popište možnosti gridů a cloudů ve výpočtech a ukládání dat, využitelnost v praxi, případná omezení a nevýhody.

Seznam doporučené literatury:

LUKAŠÍK, P.: Využití paralelních výpočtů a technologie Gridu pro rozsáhlé vědeckotechnické výpočty. Disertační práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalárska práca pojednáva o technológiách cloudov a gridov. Prvá časť práce rozoberá technológiu cloud computingu, jeho komponenty, infraštruktúru, modely, výhody, nevýhody a bezpečnostné riziká. Nasledujúca časť popisuje výpočtové a dátové gridy, ich funkciu, využitie a bezpečnosť. Posledná časť práce zobrazuje prehľad komerčného trhu cloudových a gridových služieb.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with cloud and grid technologies. The first part discusses cloud computing technology, its components, infrastructure, models, advantages, disadvantages, and security risks. The following section describes computing and data grids, their function, use and security. The last part of the thesis shows an overview of the commercial market of cloud and grid services.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

pracovná stanica, dátové úložisko, grid, cloud, distribuované výpočty, dátové centrum

KEYWORDS

workstation, data storage, grid, cloud, distributed computing, data center



2022

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

BEGAN, Jakub. *Technologie gridů a cloudů*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139971>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Miloš Šeda.

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať vedúcemu mojej záverečnej práce prof. RNDr. Ing. Milošovi Šedovi, Ph.D. za ochotu a časovú voľnosť pri písaní bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať svojej rodine a všetkým svojim blízkym za podporu počas štúdia.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prohlašuji, že, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 20. 5. 2022

.....

Jakub Began

OBSAH

1	ÚVOD.....	15
2	CLOUD COMPUTING.....	17
2.1	Čo je cloud computing.....	17
2.2	Komponenty cloud computingu	18
2.2.1	Klient	18
2.2.2	Datacentrum.....	18
2.2.3	Distribuované servery	19
2.2.4	Klastre.....	19
2.3	Infraštruktúra cloud computingu	19
2.3.1	Úplná virtualizácia.....	20
2.3.2	Paravirtualizácia	20
2.3.3	Grid computing.....	21
2.4	Distribučné modely cloud computingu.....	21
2.4.1	Softvér ako služba	21
2.4.2	Infraštruktúra ako služba	23
2.4.3	Platforma ako služba	24
2.5	Modely nasadenia cloud computingu	26
2.5.1	Verejný cloud	26
2.5.2	Súkromný cloud.....	27
2.5.3	Hybridný cloud	27
2.5.4	Komunitný cloud	28
2.6	Výhody a nevýhody používania cloud computingu	29
2.7	Bezpečnosť a riziká používania cloud computingu.....	31
3	VÝPOČTOVÝ GRID	35
3.1	Dôvody na budovanie výpočtových gridov	36
3.2	Architektúra gridov.....	36
3.3	Charakteristika výpočtových systémov	38
3.3.1	Paralelný výpočtový systém	39
3.3.2	Distribuovaný výpočtový systém	39
3.4	Tolerancia chýb výpočtových gridov	40
3.4.1	Checkpointing.....	40
3.5	Plánovacia a distribučná stratégia v prostredí gridu.....	41
3.6	Praktické aplikácie výpočtových gridov.....	43
3.6.1	CERN Worldwide LHC Computing Grid	43
3.6.2	NorduGrid.....	44
3.6.3	World Community Grid.....	45
3.7	Bezpečnosť a riziká používania výpočtových gridov.....	46
4	DÁTOVÝ GRID.....	49
4.1	Technika replikácie v dátových gridoch.....	50
4.2	Výhody a nevýhody dátových gridov.....	51
4.3	Bezpečnosť a riziká používania dátových gridov.....	52
5	POSKYTOVATELIA CLOUDOVÝCH SLUŽIEB.....	55
5.1	Amazon.....	55
5.2	Google	58
5.3	Microsoft	60
6	ZÁVER	65

7	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	67
8	ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK.....	71
8.1	Zoznam obrázkov.....	71
8.2	Zoznam tabuliek.....	71

1 ÚVOD

Cloudové technológie zohrávajú v našich životoch čoraz významnejšiu rolu. Sú poskytované v rozličných modeloch a ich služby zahŕňajú rôzne komunikačné nástroje, úložiská, streamovacie platformy alebo môžu zastrešovať celú hardvérovú infraštruktúru spoločnosti. Ich najväčšou výhodou je prístupnosť, keďže jediným potrebným nástrojom k ich využívaniu je prístup na internet. Keďže ide o pomerne nové technológie, nie je prekvapujúce, že cloud computing so sebou prináša aj niekoľko otáznikov. Tie sa týkajú hlavne obáv o dôkladné zabezpečenie dát a s tým spojené bezpečnostné riziká. Bližší pohľad na problematiku cloud computingu popisujeme v úvodnej kapitole.

Náročnosť riešenia vedecko-technických úloh sa v posledných rokoch výrazne zvýšila. Novodobé úlohy si vyžadujú vysoký výpočtový výkon a sú schopné vyprodukovať rozsiahle množstvo dát. Preto sa ako efektívny nástroj na ich riešenie javia technológie grid computingu, ktoré prepájajú niekoľko fyzických výpočtových zariadení a datacenter prostredníctvom internetu. Spojenie fyzických zdrojov do takzvaného gridu ponúka používateľovi potrebnú výpočtovú silu a rozsiahly úložný priestor bez nutnosti investovať veľké finančné prostriedky do hardvérových zariadení. Preto možno implementáciu týchto technológií označiť za budúcnosť výpočtovej techniky. Na výpočtové a dátové gridy sa bližšie pozrieme v tretej a štvrtej kapitole.

Konkrétne cloudové služby na komerčný trh dodávajú viacerí poskytovatelia. Môžu nimi byť malé spoločnosti, ale aj nadnárodní giganti ako Amazon, Google alebo Microsoft. V poslednej kapitole si priblížime situáciu na komerčnom trhu a pozrieme sa na jednotlivé služby poskytované niektorými veľkými spoločnosťami.

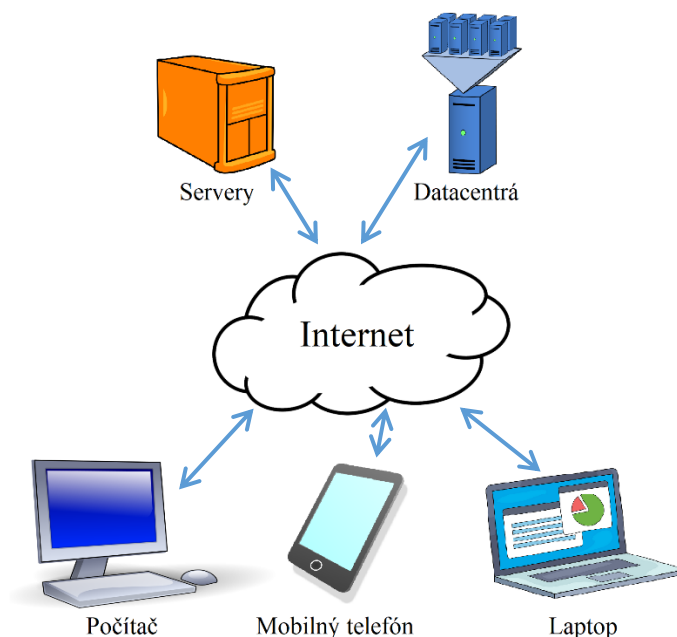
2 CLOUD COMPUTING

So zvyšujúcim sa dopytom spotrebiteľov a firiem po výpočtovej technike a dátových službách sa v 90. rokoch minulého storočia spoločnosť Amazon rozhodla komerčne ponúkať nevyužitú kapacitu svojich dátových serverov. Postupne sa k Amazonu pridali ďalšie veľké spoločnosti, čo viedlo k masívnemu rozvoju takzvaného *cloud computingu*. Cloud computing v tomto zmysle nadobudol charakter podnikateľského modelu, ktorý nahrádza tradičné dátové centrá. Nahradenie dátových centier službami cloud computingu nemusí každému koncovému používateľovi prinášať jednoznačnú výhodu, napriek tomu sa z ekonomických dôvodov stáva čoraz zaujímavejšou možnosťou, a preto ho môžeme považovať za základ spriemyslenia výpočtovej techniky [1].

2.1 Čo je cloud computing

Cloud (v slovenčine „oblak“) computing je metaforické pomenovanie pre internet, pretože ten je v sieťových diagramoch spravidla reprezentovaný práve oblakom, ktorý znázorňuje všetko potrebné k správne fungovaniu siete [2].

Samozrejme, obyčajné prirovnanie cloud computingu k internetu by bolo prehnane zjednodušujúce. Ide o nástroj, ktorý umožňuje prístup k dátam nachádzajúcim sa na inom mieste ako v úložisku používaného zariadenia (*dátový grid*) alebo k hardvéru určenému k distribuovaným výpočtom (*výpočtový grid*). Inými slovami, cloud computing umožňuje diaľkové využívanie, respektíve zdieľanie serverových prostriedkov, hardvéru a aplikácií prostredníctvom internetového pripojenia. Najčastejšie sa týmto pojmom označujú *dištančné datacentrá* [2, 3].



Obrázok 1: Fungovanie cloud computingu

2.2 Komponenty cloud computingu

Základné zloženie cloud computingu tvoria tieto zastrešujúce pojmy: *klienti*, *datacentrá* a *distribuované servery*. Pri poskytovaní a funkčnosti aplikácie zohráva každý komponent svoju špecifickú úlohu [2].

2.2.1 Klient

Klient je v komunikačnej sieti reprezentovaný zástupným zariadením, spravidla ide o stolný počítač, respektíve prenosné zariadenie ako laptop, mobilný telefón alebo tablet. Toto zariadenie používa koncový používateľ s cieľom spravovania súborov a informácií v cloude [2]. Všeobecne prijatá klasifikácia rozoznáva tri kategórie klientov:

- **Mobilný klient** – mobilné zariadenia, ako napríklad smartfóny alebo tablety [2];
- **Thick** (v slovenčine „hrubý“) **klient** – bežné stolné počítače používajúce webový prehliadač k pripojeniu na cloud [2];
- **Thin** (v slovenčine „tenký“) **klient** – zariadenia bez interného úložiska, ktoré slúžia primárne na zobrazovanie informácií, pričom väčšinu práce vykonáva server. Táto kategória sa u niektorých používateľov cloudových služieb teší veľkej obľube, a to práve z dôvodu nižších investičných nákladov, istote dátovej bezpečnosti a v neposlednom rade nižšej energetickej spotrebe a nižšiemu hluku oproti klasickým stolným počítačom [2].



Obrázok 2: Xiaomi Mi TV Stick [4]

2.2.2 Datacentrum

Datacentrom môžeme označiť zostavu serverov, v ktorých je uložená používaná aplikácia. V niektorých prípadoch môžu servery zaplniť celé miestnosti, pričom používateľom je k nim umožnený prístup prostredníctvom internetu [2].

Vo svete informačných technológií vo všeobecnosti rastie popularita virtuálnych serverov. *Virtuálny server* pretvára funkčnosť špecializovaného *fyzického servera*. Vo vzťahu k používateľom sa javí ako transparentne oddelená časť priestoru vo vnútri fyzického servera. Virtualizácia serverov uľahčuje prerozdelenie zdrojov a adaptáciu na dynamické pracovné zaťaženie. V praxi to znamená, že rozdelenie fyzického servera

na viacero virtuálnych serverov umožňuje poskytovateľovi spustiť niekoľko operačných systémov a aplikácií na jednom rozdelenom serveri a tým doceliť efektívnejšie využitie výpočtovej sily a zároveň nižšie energetické náklady [5].

2.2.3 Distribuované servery

Všetky servery sa nemusia nachádzať na rovnakom mieste. Práve naopak, zvyčajne majú rozličnú geografickú lokáciu. Pre používateľa cloudu to však nepredstavuje žiadny problém, keďže funkcia serverov simuluje lineárne umiestnenie, inými slovami, ako keby boli poukladané jeden vedľa druhého. Rozličná lokácia umožňuje poskytovateľovi cloudových služieb väčšiu flexibilitu jednak v prevádzkových možnostiach, jednak v zabezpečení. V prípade, že by v jednej lokalite došlo k zlyhaniu serverov, služba by bola naďalej prístupná cez servery nachádzajúce sa v inej lokalite. Navyše, v prípade potreby väčšieho množstva hardvéru nie je nutné zväčšovať serverovňu. Stačí umiestniť nový hardvér do akejkol'vek inej lokácie a jednoducho ho urobiť súčasťou cloudu [2].

2.2.4 Klastre

Počítačové klastre sú v súčasnosti cenovo najefektívnejšie alternatívy budovania vysokovýkonných počítačových systémov. *Klaster* je typ paralelného alebo distribuovaného systému pozostávajúci z niekoľkých vzájomne prepojených samostatných počítačov, ktoré spolupracujú ako jeden integrovaný výpočtový zdroj [6].



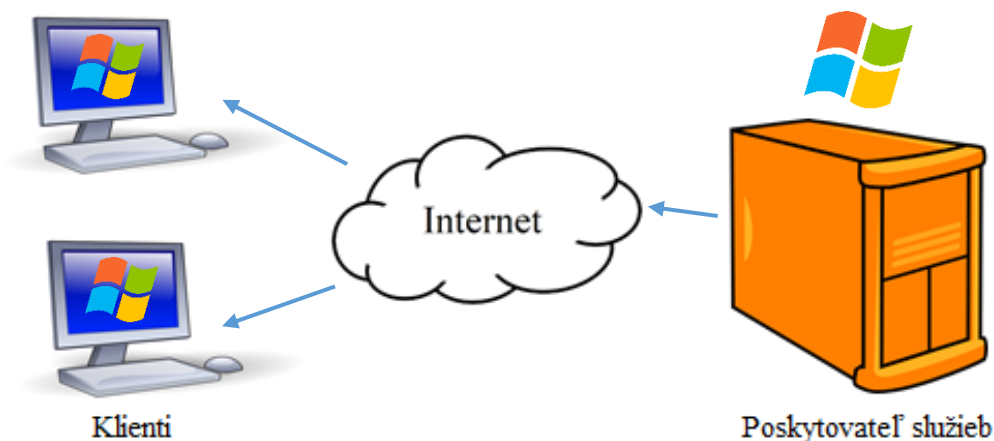
Obrázok 3: Počítačový klaster [7]

2.3 Infraštruktúra cloud computingu

Infraštruktúru cloud computingu je možné vybudovať rozličnými spôsobmi v závislosti od požadovanej aplikácie a zvoleného spôsobu riešenia poskytovateľa. Možnosť vybudovať infraštruktúru podľa potreby sa z pohľadu používateľa javí ako kľúčová výhoda používania cloudu. So zostavením infraštruktúry cloudu priamo súvisí proces *virtualizácie*, čo je jeden zo spôsobov umožňujúci prístup ku cloudovým službám [2].

2.3.1 Úplná virtualizácia

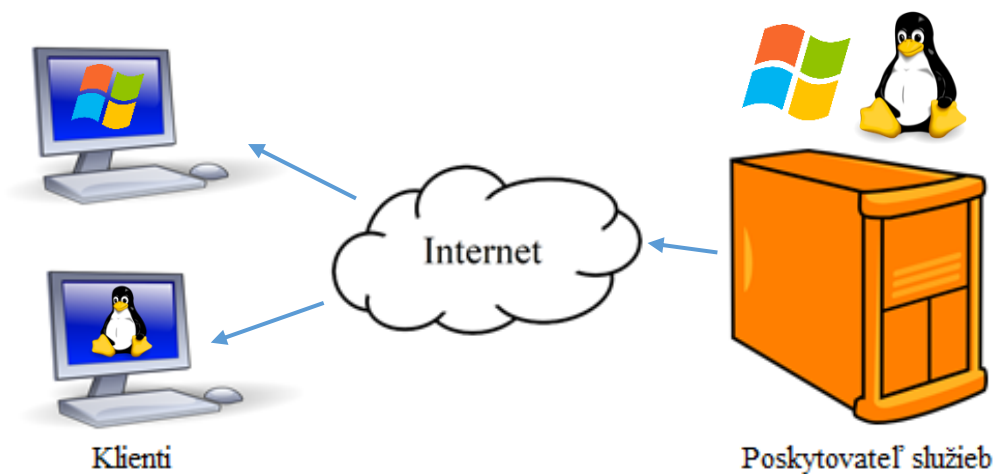
Výsledkom úplnej virtualizácie je systém, v ktorom sa celý softvér v rámci jedného servera nachádza vo vnútri virtuálneho stroja. To umožňuje zobrazenie virtuálneho obsahu servera na príslušných klientoch. Vďaka tomu je možné zdieľať jednotlivé aplikácie a rozličné operačné systémy. Používatelia sú od seba navzájom izolovaní a majú zamedzený prístup k riadiacemu programu [2].



Obrázok 4: Model úplnej virtualizácie

2.3.2 Paravirtualizácia

Paravirtualizácia, na rozdiel od úplnej virtualizácie, umožňuje viacerým operačným systémom fungovať súčasne na jednom hardvérovom zariadení. Výsledkom sú systémové zdroje (napríklad procesor a operačná pamäť) so značne efektívnejším využitím. Vo vnútri virtuálneho stroja sa navyše nachádza riadiaci modul, ktorý prevádzkuje operačný systém. Model paravirtualizácie vo väčšine prípadov funguje efektívnejšie ako model úplnej virtualizácie, pretože v infraštruktúre úplnej virtualizácie musia byť emulované všetky prvky [2].



Obrázok 5: Model paravirtualizácie

2.3.3 Grid computing

Grid computing aplikuje rozsiahle množstvo počítačov v sieti k tomu, aby ich spoločná výpočtová sila bola použitá na riešenie komplikovaných vedecko technických úloh [2]. Detailnejšiemu pohľadu na problematiku výpočtového grid computingu sa budeme venovať v kapitole 3.

2.4 Distribučné modely cloud computingu

Základný cloudový koncept pre distribúciu je takzvaný model „ako služba“. V závislosti od poskytovanej služby sa distribučný model delí na tri základné kategórie: 1. *softvér ako služba (SaaS)*; 2. *infraštruktúra ako služba (IaaS)* a 3. *platforma ako služba (PaaS)* [2].

Tabuľka 1: Spravovanie položiek v jednotlivých distribučných modeloch [8]

	IaaS	PaaS	SaaS
Aplikácie			
Dáta			
Chod programov			
Middleware			
Operačný systém			
Virtualizácia			
Servery			
Úložisko			
Vytváranie sietí			

Spravované poskytovateľom
 Spravované používateľom

2.4.1 Softvér ako služba

Softvér ako služba (z angličtiny „Software as a Service“) je distribučný model umožňujúci prístup k aplikáciám umiestneným na vzdialených serveroch prostredníctvom internetu [2].

Za priekopníka v poskytovaní softvéru ako služby je považovaná americká spoločnosť *SalesForce.com*, ktorá umožnila svojim zákazníkom prístup k obľúbenej aplikácii „manažérstvo vzťahov so zákazníkmi“ (technológia určená na riadenie všetkých vzťahov a interakcií so zákazníkmi a potenciálnymi zákazníkmi [9]). Používateľom si stačilo zakúpiť členstvo a mohli túto aplikáciu využívať prostredníctvom webovej siete bez ďalších poplatkov, pričom sa nemuseli starať o aktualizácie softvéru, ukladanie dát na server ani o celkovú údržbu [1]. Tento príklad spoločnosti *SalesForce.com* charakterizuje využitie modelu softvér ako služba, v ktorom zákazník nepotrebuje žiadne kapitálové investície okrem klienta a prístupu na internet.

Najjednoduchším príkladom pre tento distribučný model sú emailové služby založené na webe, napríklad Gmail od spoločnosti Google alebo Outlook od spoločnosti Microsoft. Poskytovatelia emailových služieb spravujú všetky potrebné softvérové programy a dáta v centrálnom stredisku, odkiaľ sú poskytované zákazníkom prostredníctvom internetovej siete po celom svete [2]. Ďalšími príkladmi môžu byť streamovacie platformy ako je Netflix alebo HBO GO. Tie sa v poslednej dobe tešia u zákazníkov čoraz väčšej obľube.

Distribučný model softvéru ako služby je na základe toho, kto je konečný používateľ, rozdelený do dvoch hlavných kategórií:

- **Oblasť obchodných služieb** – do tejto oblasti spadajú aplikácie používané na riadenie zásobovacieho reťazca, vzťahov so zákazníkmi alebo iné podobne orientované obchodné nástroje. Toto podnikateľské riešenie je zvyčajne ponúkané spoločnostiam na princípe predplatiteľskej služby [2].
- **Oblasť služieb orientovaných na zákazníka** – do tejto oblasti spadajú aplikácie a služby určené širokej verejnosti, ako napríklad webové mailové služby, aplikácie bankovníctva, online hry a mnoho ďalších. Tieto služby sú ponúkané na báze predplatiteľskej služby, avšak častejšie sú ponúkané zadarmo, pričom sú v nich umiestnené reklamy [2].

Využívanie SaaS prináša koncovému zákazníkovi, či ide o jednotlivca alebo spoločnosť, značné výhody, a to napríklad:

- *Úspora finančných nákladov* oproti lokálne nainštalovanému softvéru. Používateľ neplatí za softvérové licencie, údržbu hardvéru a aplikácií. Spoločnosti navyše ušetria náklady na pracovnú silu [2].
- *Zvýšenie produktivity* dôsledkom rýchleho dodania aplikácie používateľovi. SaaS je možné používať okamžite po uhradení predplatného, čo je časovo úsporné v porovnaní s počtom vývojových a implementačných cyklov podnikového softvéru [2].
- *Vysoká bezpečnosť*. Poskytovatelia SaaS sú zvyčajne veľmi pedantní a starostliví v otázkach zabezpečenia [2].
- *Vždy aktuálny softvér*. Poskytovatelia pravidelne aktualizujú dodávanú aplikáciu, aby jej verzia bola čo najaktuálnejšia. To umožňuje spoločnostiam investovať úspory do iných odvetví, ako je podpora starých verzií aplikácií [2].

Iste, benefity s využívania SaaS nemajú len koncoví používatelia, ale aj poskytovatelia. Hlavnou výhodou sú podľa očakávania príjmy, ktoré sú oproti tradičnému nastaveniu softvérových licencií pravidelné, keďže SaaS funguje na princípe predplatného – na rozdiel od jednorazových poplatkov pri obstarávaní si licencie softvéru obvyklým spôsobom. Okrem toho, poskytovatelia nemusia mať obavy z pirátstva a nelicencovaného používania softvéru [2].

Pochopiteľne, poskytovanie SaaS prináša so sebou aj určité technické prekážky zahŕňajúce efektívnu architektúru pre viacerých používateľov. V dnešnej dobe môžeme

vd'aka virtualizácii tento problém považovať za vyriešený, avšak navrhnuť aplikáciu tak, aby bola efektívne doručená tisíckam zákazníkom, nie je jednoduché [2].

Problémom môže byť aj situácia, keď je softvérová spoločnosť požiadaná, aby sa stala spoločnosťou poskytujúcou SaaS, pretože tieto dve veci môžu kolidovať. Softvérové spoločnosti majú určitú firemnú kultúru s dominujúcimi inžinierskymi inováciami a podnikateľským modelom zameraným na predaj licencií, čo sú skvelé vlastnosti pre tvorbu programov a aplikácií, ale nie najlepšie v prípade požiadavky o zákaznícky servis. Taktiež nie je ľahké transformovať podnikateľský model postavený na predaji softvérových licencií na predplatiteľský model [2].

Nie všetky aplikácie sú ideálne pre distribučný model SaaS. Príkladom môžu byť služby „business intelligence“ (BI), v ktorých sú dátové schémy a transakcie veľmi komplexné. Okrem iného sú zvyčajne požiadavky jednotlivých zákazníkov značne osobité. To vyžaduje intenzívne spracovanie dát a následne potrebu vybudovať výkonnú infraštruktúru, čo je pochopiteľne pre poskytovateľov SaaS neatraktívne a môže to viesť k vysokým finančným nákladom [2].

2.4.2 Infraštruktúra ako služba

Infraštruktúra ako služba (z angličtiny „Infrastructure as a Service“) je distribučný model poskytujúci počítačový hardvér ako službu. Sú v ňom zahrnuté servery, sieťové technológie, úložiská a dátové stanice. V niektorých prípadoch môžu byť v tomto modeli dodávané aj operačné systémy a technológie virtualizácie na spravovanie zdrojov [1].

Spotrebiteľ IaaS si prenajíma virtuálny hardvér namiesto toho, aby si zakúpil vlastné dátového centrá a výpočtové zariadenia. Služba je zvyčajne platená na bázy používania, čo znamená, že používateľ platí len za čas, keď ju využíva. Väčšina poskytovateľov ponúka možnosť *dynamického škálovania* umožňujúcu používateľovi v prípade potreby buď zvýšiť, alebo znížiť počet výpočtových zdrojov až do limitu určeného poskytovateľom. Aplikovanie dynamického škálovania na infraštruktúru znamená, že infraštruktúra môže byť automaticky upravená na základe požiadaviek používanej aplikácie [1, 10]. To je jedna z najväčších výhod IaaS. Ďalšími výhodami tohto distribučného modelu sú:

- *Úspora hardvérových nákladov.* Poskytovatelia IaaS sa starajú o údržbu zariadení, sieťového vybavenia, ich zabezpečenie a výmenu starých modelov za výkonnejšie, čím ponúkajú spotrebiteľom požadovaný výkon. Z toho vyplýva, že spotrebiteľ môže svoje úspory investovať do iných odvetví a to je výhodné najmä pre začínajúce podniky. Taktiež sa ponúka skvelá možnosť ochrany pred náhlymi finančnými zvratmi pre podniky, ktoré chcú otestovať nové možnosti [11].
- *Pracovná flexibilita.* Podniky a spoločnosti využívajúce IaaS môžu svojim zamestnancom jednoducho a rýchlo poskytnúť prístup k svojim súborom a dátam

aj mimo pracovisko. Prístup je umožnený prostredníctvom virtuálnej kancelárie [11, 12].

- *Spôľahlivosť a uchovanie dát.* Ak zlyhá ktorýkoľvek hardvérový komponent, internetové pripojenie alebo všetky údaje prejdú do režimu offline, infraštruktúra spoločnosti tým nebude ovplyvnená [11].

Na druhú stranu distribučný model IaaS so sebou prináša aj určité nevýhody, ktoré je pred prechodom z lokálnej hardvérovej infraštruktúry na štruktúru založenú na hosťovanom cloud computingu nutné zväžiť. Tieto nevýhody zahŕňajú:

- *Bezpečnosť.* V prostredí IaaS spoločnosti prenechávajú kontrolu nad cloudovou bezpečnosťou poskytovateľovi, čím mu poskytujú prístup k citlivým dátam. Aj keď je v systéme odhalená zraniteľnosť bez priameho vplyvu na používateľské dáta, takto kompromitovaný systém môže ohroziť operácie spoločnosti [12].
- *Aktualizácie a údržba.* Úspora financií na aktualizácii a údržbe hardvéru pri používaní IaaS nemusí byť vždy výhodou. Je nutné sa uistiť, že poskytovateľ pravidelne inovuje prostredie IaaS a udržiava ho funkčné a konkurencieschopné. V opačnom prípade to môže mať významný negatívny vplyv na celkovú efektivitu [12]. Napríklad ak spoločnosť na dennej báze používa softvéry vyžadujúce vysoký výpočtový výkon, zatiaľ čo virtuálny hardvér dodávaný poskytovateľom je zastaralý, výpočtové časy sa citeľne predĺžia, čo má práve za následok zníženie efektivity zamestnancov a tým zbytočnú stratu financií.
- *Technické problémy.* Akýkoľvek technický problém, ktorý nastane na strane poskytovateľa, môže obmedziť prístup používateľa k aplikáciám a dátam nutným k výkonu práce. To znamená, že pri používaní distribučného modelu IaaS môže používateľ čeliť výpadkom mimo vlastnej kontroly [12].

2.4.3 Platforma ako služba

Platforma ako služba (z angličtiny „Platform as a Service“) je distribučný model poskytujúci viac ako len infraštruktúru. Ide o tzv. *softvérový zásobník*, ktorý poskytuje všetko, čo vývojár potrebuje na zostavenie aplikácie, od vývoja až po dobu aktívneho fungovania programu [1].

Zatiaľ čo v prípade modelu IaaS sa dôraz kladie na poskytovanie „surového“ prístupu k virtuálnej alebo fyzickej infraštruktúre, v prípade PaaS sa pozornosť sústreďuje na aplikácie, ktoré cloud musí podporovať. Riešenia PaaS teda ponúkajú spôsob, ako nasadzovať a spravovať aplikácie na cloude, na rozdiel od množstva virtuálnych strojov, na ktorých je postavená a nakonfigurovaná IT infraštruktúra [10].

Na PaaS sa možno pozerať aj ako na evolúciu *webhostingu*. V posledných rokoch ponúkajú webhostingové spoločnosti pomerne kompletný softvérový zásobník na vývoj webových stránok. PaaS posúva túto myšlienku o krok ďalej, a to tým, že ponúka navyše *riadenie životného cyklu*. Riadenie životného cyklu znamená riadenie všetkých fáz vývoja softvéru od plánovania a vytvorenia dizajnu, budovania a nasadzovania až po testovanie a údržbu [1]. Iné implementácie modelu PaaS ponúkajú úplný objektový model na vývoj

aplikácie a poskytujú prístup založený na programovacom jazyku. To vo všeobecnosti značí väčšiu flexibilitu a viac možností, avšak vyžaduje si dlhšie vývojové cykly. Vývojári majú plnú silu programovacích jazykov, ako sú Java, .NET alebo Python s určitými obmedzeniami pre lepšiu škálovateľnosť a bezpečnosť [2].

Model PaaS ponúka vývojárom služby *aplikačného programového rozhrania*, tzv. *API* (z angličtiny „Application Programming Interface“). Rozhranie API je súbor programovacích inštrukcií a štandardou pre prístup k webovým programom. Softvérové spoločnosti umožňujú k svojim rozhraniam API verejný prístup, aby mohli ostatní softvéroví vývojári navrhovať produkty poháňané ich službou. Príkladom je spoločnosť Amazon, ktorá vydala svoje vlastné rozhranie API, umožňujúce vývojárom webových stránok jednoduchší prístup k informáciám uchovávaným na webovej stránke Amazonu. Pomocou tohto rozhrania môžu spoločnosti tretích strán priamo odkazovať na produkty na stránke Amazon. Aplikačné programové rozhrania umožňujú komunikáciu jedného programu s iným bez toho, aby bol do toho zapojený používateľ. Povedzme, že zákazník si niečo kúpi na Amazone, pričom zadá údaje svojej kreditnej karty do príslušných políček. Stránka Amazonu použije rozhranie API na odoslanie informácií o kreditnej karte do vzdialenej aplikácie. Tá overí správnosť informácií. Používateľ videl len políčka na zadanie údajov, ale prácu v zákulisí vykonalo práve rozhranie API. Rozhranie API je v tomto podobné distribučnému modelu SaaS, pretože vývojári softvéru nemusia pri programovaní začínať od nuly, ale môžu na niektoré programové úlohy využiť iné externé aplikácie, ktoré požadovanú funkciu vykonajú lepšie [2, 10].

Hlavnou výhodou PaaS je vývoj a nasadenie softvéru založené výlučne na cloude. Z tohto dôvodu nie je nutné investovať žiadne finančné prostriedky do správy a údržby infraštruktúry, pretože každý aspekt softvéru od fázy návrhu je umiestnený v cloude [1]. Ďalšie výhody PaaS zahŕňajú:

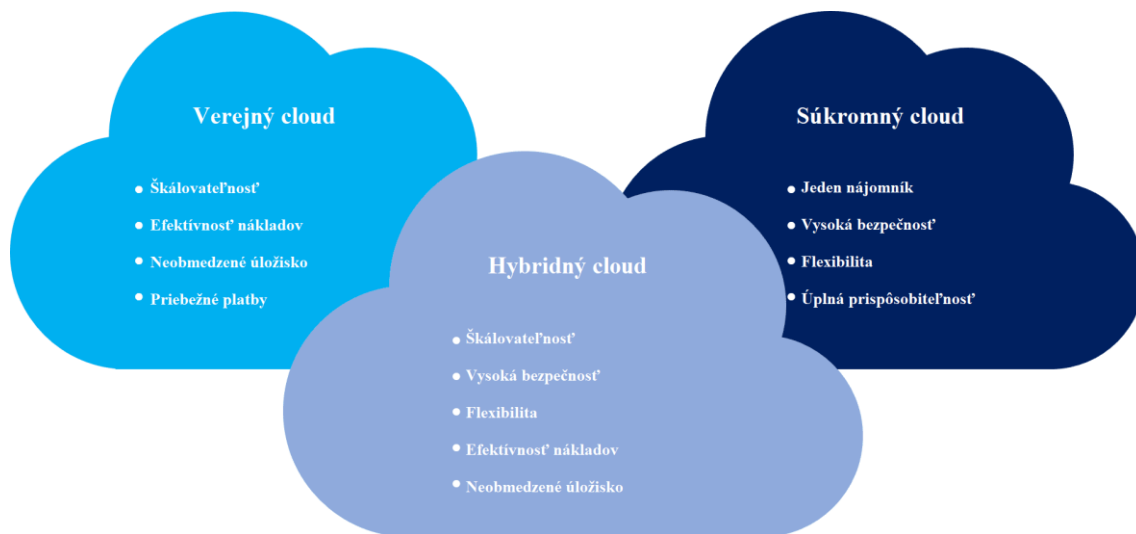
- *Dynamické škálovanie.* V súvislosti s PaaS dynamické škálovanie znamená automatické zväčšovanie alebo zmenšovanie softvéru a poskytovanie dodatočných zdrojov v prípade potreby. Používateľ je o potrebe škálovania informovaný vopred, ako aj o údajoch týkajúcich sa prístupu a bezpečnosti dát, a to z dôvodu eliminácie obáv zákazníkov [1].
- *Pracovná flexibilita.* Podobne ako aj v ostatných distribučných modeloch je PaaS prístupná prostredníctvom virtuálnej kancelárie, čo umožňuje spoločnostiam poskytnúť prístup k potrebným dátam pre svojich zamestnancov aj mimo pracoviska.

Odhladnuc od množstva benefitov nájdeme na PaaS aj niekoľko nevýhod. Hlavnou nevýhodou je, že PaaS môže používateľa „uzamknúť“ do konkrétneho vývojového prostredia a množstva softvérových komponentov. Ponuky PaaS zvyčajne obsahujú niektoré privátne prvky, napríklad vývojové nástroje alebo knižnice komponentov. V dôsledku toho môže byť používateľ natoľko spätý s platformou poskytovateľa, že nie je schopný presunúť svoje aplikácie na inú platformu bez toho, aby ich musel do určitej miery prepísať. Ak používateľ začne byť so svojim poskytovateľom

PaaS nespokojný alebo mu poskytovateľ prestane vyhovovať, môže to viesť k vysokým výdavkom z dôvodu splnenia požiadaviek nového poskytovateľa [1].

2.5 Modely nasadenia cloud computingu

Cloud computing buduje infraštruktúru, na vrchole ktorej sú implementované služby distribuované zákazníkom (kapitola 2.4). Jednotlivé distribuované modely sú následne nasadzované podľa administratívnej domény cloudu. Tá identifikuje hranice prístupnosti a realizovateľnosti cloudových služieb. Na základe toho kvalifikujeme štyri rozličné typy cloudu: *verejný cloud*, *súkromný cloud*, *hybridný cloud* a *komunitný cloud* [1, 10].



Obrázok 6: Rozdiel medzi verejným, súkromným a hybridným cloudom [13]

2.5.1 Verejný cloud

Verejný cloud sú realizáciou kanonického pohľadu na cloud computing, v ktorom sú služby ponúkané komukoľvek, odkiaľkoľvek a kedykoľvek prostredníctvom internetu. Základnou charakteristikou verejného cloudu je možnosť využívať cloudové služby pre väčší počet používateľov. Virtuálne prostredia jednotlivých zákazníkov sú od seba navzájom oddelené a dôkladne izolované [10].

Z architektonického hľadiska tvorí fyzickú infraštruktúru verejných cloudov jedno alebo viacero datacenter, na ktorých sú služby implementované a dodávané [10].

Atraktivita verejného cloudu, na rozdiel od súkromných cloudov, spočíva v úspore finančných prostriedkov na správu a údržbu miestnej hardvérovej a aplikačnej infraštruktúry, pretože sa o všetko stará poskytovateľ cloudových služieb. Rýchlosť nasadenia verejného cloudu je oproti nasadeniu miestnej infraštruktúry časovo výhodnejšia a navyše je verejný cloud možné nasadiť s takmer neobmedzenou škálovateľnosťou [14]. Ďalšou z kľúčových vlastností verejných cloudov je ich schopnosť čeliť vysokej záťaži siete [10].

Prostredníctvom verejného cloudu môže poskytovateľ dodávať akýkoľvek distribučný model cloud computingu. Napríklad Amazon EC2 vystupuje ako verejný cloud poskytujúci infraštruktúru ako službu, Google AppEngine je verejný cloud poskytujúci platformu ako službu a Salesforce.com je verejný cloud poskytujúci softvér ako službu [10].

2.5.2 Súkromný cloud

Využívanie verejných cloudov je prítlačivá možnosť hlavne z dôvodu zníženia kapitálových výdavkov, avšak existujú cieľové skupiny, ktorým tento model nasadenia nemusí vyhovovať. Ide hlavne o vládne a vojenské organizácie, pre ktoré môže spravovanie citlivých dát externým poskytovateľom predstavovať bezpečnostnú hrozbu. Z tohto dôvodu sa niektoré organizácie rozhodli vybudovať svoje vlastné, súkromné cloudy. Tie sa na rozdiel od verejných cloudov spoliehajú na súkromnú infraštruktúru a ich služby sú prístupné len interným používateľom [10].

Z architektonického hľadiska sú súkromné cloudy implementované na heterogénnejšom hardvéri. Vo všeobecnosti to môže byť datacentrum, klaster, dátový grid alebo ich kombinácia. Infraštruktúra je vybudovaná v súkromných priestoroch už pred nasadením cloudu. Fyzická vrstva je ďalej doplnená softvérom na spravovanie infraštruktúry alebo riešením PaaS v závislosti od používanej služby [10].

Súkromné cloudy si ponechávajú hlavné obchodné operácie v interných priestoroch, čím značne znižujú riziko úniku dát, keďže citlivé informácie „nevytekajú“ von zo súkromnej infraštruktúry. Existujúce IT zdroje sa navyše dajú efektívnejšie využiť, pretože súkromný cloud môže poskytovať služby rôznemu okruhu používateľov. Ďalšou zaujímavou možnosťou je testovanie aplikácií a systémov za výrazne nižšiu cenu oproti verejným cloudom pred ich nasadením na verejnú virtuálnu infraštruktúru. Výhodou je aj skutočnosť, že špecifické operácie, ako sú napríklad monitorovanie a údržba systému, zálohovanie a obnova dát alebo replikácia údajov, sú v súkromnej infraštruktúre prispôbené potrebám aplikácie, zatiaľ čo v privátnej môžu byť výrazne obmedzené poskytovateľom [10].

Najväčšou nevýhodou súkromných cloudov porovnaní s verejnými cloudmi je obmedzená schopnosť elastického škálovania [10].

2.5.3 Hybridný cloud

Verejné cloudy sú veľké softvérové a hardvérové infraštruktúry s dostatočne veľkou kapacitou na to, aby slúžili potrebám viacerých používateľov, zatiaľ čo súkromné cloudy sú skvelým riešením, ak je potrebné ponechať dáta a ich spracovanie v už vybudovanej infraštruktúre spoločnosti. Súkromné cloudy však spoločnosti nedokážu vždy poskytnúť požadovaný výkon z dôvodu obmedzenej schopnosti škálovania a taktiež môžu mať problémy s efektívnym riešením špičkového zaťaženia. V takom prípade sa ukazuje ako vhodné vykompenzovať tieto nedostatky súkromných cloudov využitím verejných cloudov. Toto spojenie je možné označiť ako hybridný cloud, ktorý spája to najlepšie z oboch možností [10].

Hybridné cloudy umožňujú využívať existujúce IT infraštruktúry, uchovávať citlivé dáta v súkromných priestoroch a zároveň dynamicky rásť a zmenšovať sa prostredníctvom externých zdrojov, ktoré môžu byť v prípade ich nevyužitia „prepustené“. Ukončenie prenájmu dočasne využívaných zdrojov a služieb sa v praxi nazýva aj ako *cloudbursting* (v slovenčine „prietrž mračien“). Bezpečnostné obavy sa vzťahujú zväčša len na verejnú časť cloudu. V tej je väčšinou možné vykonávať operácie s menej prísnyimi obmedzeniami, napriek tomu však aj táto časť ostáva súčasťou pracovného zaťaženia. Ide teda o heterogénny distribuovaný systém, vychádzajúci zo súkromného cloudu, ktorý integruje dodatočné služby alebo zdroje z jedného alebo viacerých verejných cloudov. Z tohto dôvodu sa hybridné cloudy nazývajú aj *heterogénne cloudy* [10].

Aj keď môžeme koncept hybridného cloudu považovať za všeobecný, väčšinou sa vzťahuje skôr k IT infraštruktúre ako k softvérovým službám. Schopnosť dynamického poskytovania externých prostriedkov ponúkaná riešením hybridných cloudov predstavuje komplexnejší algoritmus plánovania ako v súkromných cloudoch, ktorého cieľom je aj optimalizácia rozpočtu vynaloženého na prenájom verejných zdrojov [10].

2.5.4 Komunitný cloud

Komunitné cloudy sú distribuované systémy vytvorené integráciou služieb rozličných distribučných modelov a modelov nasadenia cloud computingu, určené na riešenie špecifických potrieb komunity, rozličných odvetví priemyslu alebo podnikateľského sektora [10]. Komunitné cloudy sú budované napríklad v nasledujúcich odvetviach:

- *Mediálny priemysel.* V mediálnom priemysle hľadajú spoločnosti jednoduché, agilné a lacné riešenia na zvýšenie produkcie obsahu. Najmä tvorba digitálneho obsahu zahŕňa presun veľkého množstva údajov, rozsiahle výpočtovo náročné úlohy vykresľovania a komplexné vykonávanie pracovných postupov. Komunitné cloudy, určené pre mediálny priemysel, poskytujú zdieľané prostredie, ktoré uľahčuje kolaborácie medzi jednotlivými spoločnosťami a ponúka dostatočný výpočtový výkon a dátové úložisko potrebné na efektívnu produkciu médií [10].
- *Zdravotnícky priemysel.* V zdravotníctve komunitné cloudy poskytujú predovšetkým globálnu platformu na zdieľanie informácií a znalostí, a to bez odhalenia citlivých údajov v rámci jednotlivých súkromných infraštruktúr. Prirodzene, hybridný model nasadenia jednoducho podporuje ukladanie údajov súvisiacich s pacientmi v súkromnom cloudu a zároveň využíva zdieľanú infraštruktúru pre nekritické služby a automatizáciu procesov v nemocniciach [10].
- *Energetika a ďalšie kľúčové odvetvia.* V týchto sektoroch komunitné cloudy spájajú komplexnú sadu riešení od nasadenia a organizácie služieb po jednotlivé operácie. Keďže tieto odvetvia zahŕňajú rôznych poskytovateľov, dodávateľov

a organizácie, komunitný cloud im dokáže poskytnúť vhodný typ infraštruktúry na vytvorenie otvoreného a spravodlivého trhu [10].

- *Verejný sektor.* Právne a politické obmedzenia vo verejnom sektore obmedzujú nasadenie verejného modelu cloudu. Komunitný cloud vo verejnom sektore predstavuje optimálne riešenie na poskytnutie distribuovaného prostredia, v ktorom sa vytvorí komunikačná platforma na vykonávanie potrebných operácií [10].
- *Vedecký výskum.* Vedecké cloudy sú zaujímavým príkladom komunitných cloudov. V tomto prípade je spoločným záujmom organizácií zdieľať veľkú distribuovanú infraštruktúru určenú na vedecké výpočty [10].

2.6 Výhody a nevýhody používania cloud computingu

Cloud computing sa stáva čoraz obľúbenejšou možnosťou pre mnohých súkromných používateľov ako aj rozličné spoločnosti. Používanie jednotlivých služieb, distribučných modelov a modelov nasadenia so sebou prináša určité výhody, ale aj nevýhody, v závislosti od zvoleného riešenia. Výhodám a nevýhodám jednotlivých riešení sme sa venovali v predchádzajúcich kapitolách (viď kapitola 2.4 a kapitola 2.5). Vo všeobecnosti je však možné povedať, že riešenie cloud computingu ponúka nasledujúce kľúčové benefity:

- *Prístupnosť dát.* Cloud computing umožňuje prístup k dátam odkiaľkoľvek, kde je prístup k internetovému pripojeniu [1].
- *Škálovateľnosť.* V prípade potreby je možné rozšíriť svoje cloudové úložisko alebo prenajať si výpočtový hardvér v priebehu niekoľkých minút. Cloud computing ponúka takmer neobmedzené možnosti škálovania, pričom je možné dodatočné zdroje a služby v momente, keď už nie sú potrebné, jednoducho „prepustiť“ [2].
- *Zníženie finančných nákladov.* Používateľom cloud computingu odpadáva povinnosť starať sa o aktualizáciu a údržbu softvéru, ktoré zabezpečuje poskytovateľ. Následkom toho môžu byť takto ušetrené finančné prostriedky použité v inej oblasti. Taktiež si môže používateľ prostredníctvom škálovateľnosti upraviť svoje IT zdroje podľa potreby, čím mu odpadáva nutnosť dokupovať ďalšie hardvérové komponenty alebo softvérové licencie [1, 15].
- *Vyššia produktivita.* Používatelia cloud computingu môžu pracovať s dátami odkiaľkoľvek prostredníctvom internetu, preto nie sú limitovaní lokálnou infraštruktúrou. Poskytovateľ cloudových služieb sa stará o údržbu a vylepšovanie hardvérových komponentov na najnovšiu generáciu, čím dodáva spotrebiteľovi čo najväčší výpočtový výkon [1].
- *Vyššia spoľahlivosť.* Pri zlyhaní akéhokoľvek komponentu na strane poskytovateľa môže byť jeho funkčnosť nahradená komponentom z iného serveru

a tým nijako neobmedzí pracovné podmienky používateľa [11]. To má za následok aj bezpečnejšie zálohovanie dát a ich efektívnejšiu obnovu po možnej havárii alebo prechodu systému do offline režimu [1].

Riešenia cloud computingu však so sebou prinášajú aj určité limitácie, ktoré je nutné zvážiť pred rozhodnutím sa prejsť na cloud. Vo všeobecnosti môžeme uvažovať o nasledujúcich nevýhodách:

- *Bezpečnosť a súkromie.* Poskytovatelia cloud computingu čelia rozličným požiadavkám na ochranu súkromných informácií jednotlivých používateľov, pričom stále nie je jasné, či model cloud computingu poskytuje primeranú ochranu takýchto informácií [15]. Detailnejšie sa bezpečnosťou a s ňou spojenými rizikami zaoberáme v kapitole 2.7.
- *Konektivita a otvorený prístup.* Plný potenciál cloud computingu je možné dosiahnuť len s vysokorýchlostným prístupom na internet pre všetkých. To si vyžaduje ďalšiu éru industrializácie a prináša so sebou aj potrebu sofistikovanejších spotrebných produktov pre používateľov [15].
- *Spôľahlivosť.* Spôľahlivosť môžeme považovať za jednu z kľúčových výhod cloud computingu, ktorá však závisí prevažne od poskytovateľa. Niektoré aplikácie sú natoľko dôležité, že si vyžadujú nepretržitú prevádzku. V prípade zlyhania alebo výpadku musia pohotovostné plány plynule nadobudnúť účinnosť a v prípade katastrofickej havárie musia plány obnovy začať s minimálnym narušením dát. Pred prechodom na cloud je nutné zvážiť každý aspekt spôľahlivosti a podľa toho si vybrať vhodného poskytovateľa [15].
- *Interoperabilita* (schopnosť systémov vzájomne si poskytovať služby a efektívne spolupracovať). Prenosnosť informácií medzi súkromnými a verejnými cloudmi je kritickým faktorom na prijatie cloud computingu jednotlivými spoločnosťami. Mnohé spoločnosti urobili v oblasti štandardizácie svojich procesov, údajov a systémov značný pokrok prostredníctvom implementácie *plánovania podnikových zdrojov* (ide o softvér, ktorý riadi financie spoločnosti, dodávateľský reťazec, rozličné operácie, obchod, výrobu, hlásenia a ľudskú činnosť [16]), napriek tomu však môže rýchlosť, akou sa spoločnosť mení, predstihnúť schopnosť poskytovateľov na tieto zmeny promptne reagovať [15].
- *Ekonomická hodnota.* Pred prechodom na cloud computing je nutné zvážiť návratnosť investícií z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska. Skryté náklady môžu zahŕňať podporu a aktualizácie, obnovu po havárii, úpravu aplikácií a poistenie voči strate dát. Je potrebné dôkladne zvážiť aj výber cloudového riešenia, pretože následný prechod z jedného riešenia na druhé môže zmeniť rovnicu nákladov a výnosov [15].
- *Zmeny v organizácii IT.* Po prechode na cloudové riešenie je v niektorých prípadoch potrebné zaškoliť zamestnancov spoločnosti orientovať sa v novom prostredí aj aplikáciách. To môže pre spoločnosť predstavovať nemalé náklady,

a to aj z dôvodu zníženia produktivity v období, keď sa zamestnanci zoznamujú s novým prostredím [15].

2.7 Bezpečnosť a riziká používania cloud computingu

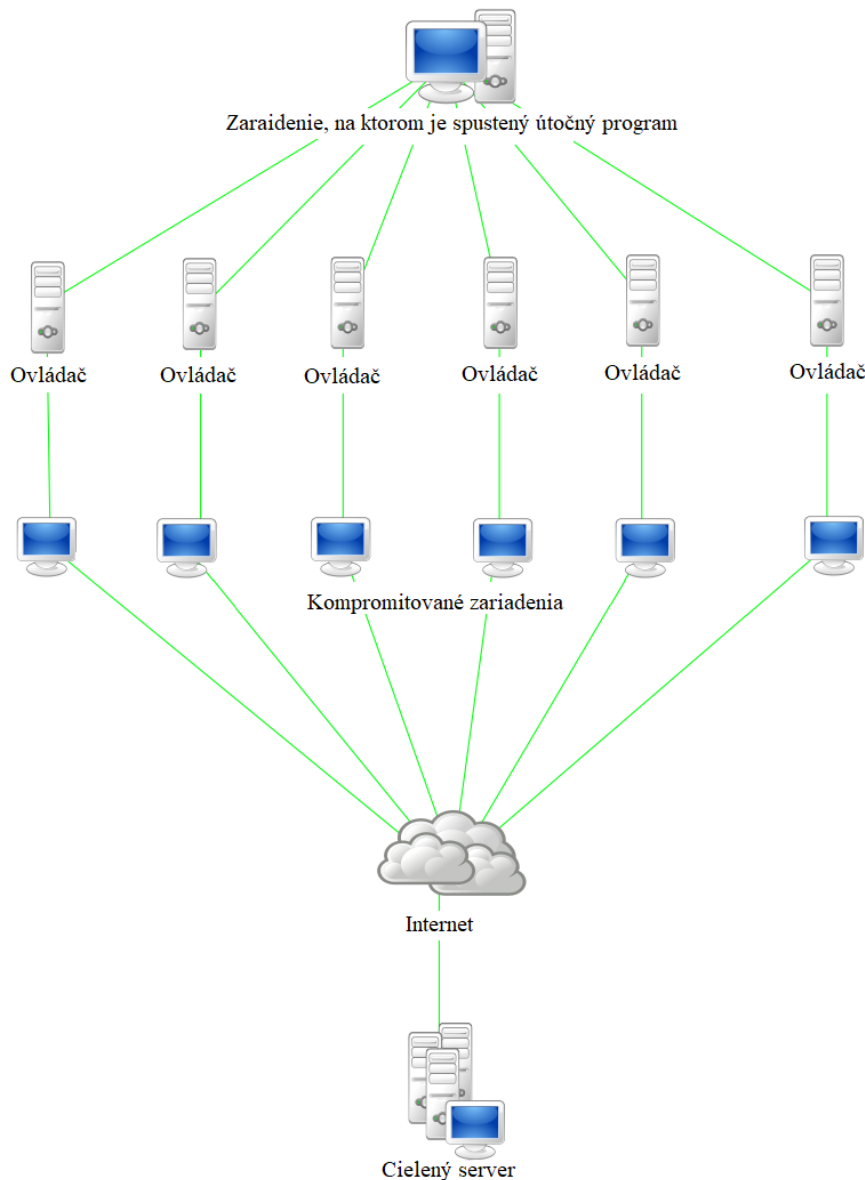
S rýchlo rastúcim počtom transakcií a prenosom dát prebiehajúcich na internete sa *sieťová bezpečnosť* stala nevyhnutnou súčasťou každodenného života. Kontrolovateľnosť sieťovej bezpečnosti je však oveľa komplikovanejšia, keď ide o náročné a dynamické prostredie ako služby cloud computingu.

V dnešnej dobe kladie väčšina poskytovateľov veľký dôraz na testovanie zabezpečenia, monitorovanie hrozieb pre svoje datacentrá a infraštruktúry a na ochranu informácií. Bezpečnostné hrozby môžu prichádzať v nespočetnom množstve podôb a z rozličných miest. Práve preto mnohé spoločnosti využívajú komplexný prístup k riadeniu bezpečnosti naprieč IT prostredím a podnikaním. Ide napríklad o technológie na sledovanie identity osôb. Tie monitorujú, či daná osoba vstúpi do budovy spoločnosti, alebo prístupuje k informáciám spoločnosti, či už z jej okolia, alebo z akéhokoľvek externého miesta. Zabezpečenie IT prostredia sa vo všeobecnosti zameriava na širokú škálu potenciálnych zraniteľností dátových centier, ako aj na spôsoby ochrany citlivých podnikových, zákazníckych a partnerských informácií, a to bez ohľadu na to, kde sa nachádzajú. Softvérové aplikácie spoločnosti môžu obsahovať množstvo vstavaných ochrán, ako je napríklad *autentifikácia*, *autorizácia* a *šifrovanie*. V niektorých situáciách však ani tieto ochrany nie sú postačujúce. To je jeden z dôvodov, prečo pred prechodom na cloudové riešenie vyvstáva nutnosť zväziť všetky bezpečnostné riziká a oboznámiť sa s bezpečnostnou stratégiou poskytovateľa [1].

Ako pri všetkých technologických možnostiach, bezpečnosť má vo svete cloud computingu dve tváre – výhody a nevýhody. Vo všeobecnosti môžeme za najväčšie bezpečnostné riziká cloud computingu považovať:

- *Zabezpečenie dát treťou stranou.* Najzreteľnejším rizikom je ochrana súkromia. V niektorých cloudových riešeniach uchováva všetky citlivé informácie strana poskytovateľa, pričom aj napriek všetkým bezpečnostným istotám, ktoré garantuje, nie je jednoznačné, či sú údaje naozaj dostatočne zabezpečené. Napriek všetkej snahe poskytovateľa zabezpečiť dáta a citlivé informácie, nikdy nie je možné zaistiť stopercentnú istotu pred vonkajšími útokmi. Práve preto sa ako najlepšia možnosť javí vykonávať dôležité pracovné operácie a uchovávať citlivé údaje na cloudovej platforme s rozsiahlymi bezpečnostnými kontrolami, spravovanej priamo používateľom alebo používateľskou spoločnosťou [2].
- *Hackerský útok.* Ďalším bezpečnostným rizikom, ktoré priamo súvisí so zabezpečením informácií, sú hackeri. V skratke ide o osoby alebo organizované skupiny snažiace sa dostať k dátam uloženým na cloude neoprávneným spôsobom, resp. upraviť chod cloudových aplikácií a tým narušiť ich funkčnosť. Aj keď sa cloudové systémy zabezpečenia v posledných rokoch výrazne zlepšujú,

to isté platí o hackerských nástrojoch. Obzvlášť nebezpečným hackerským nástrojom pre cloudové prostredie je tzv. *distribuované odmietnutie služby* (z angličtiny „Distributed Denial of Service“) alebo v skratke DDoS. DDoS môžeme definovať ako útok zameraný na dostupnosť systému spustený súčasne z viacerých lokácií. Podstatou tohto útoku je sťaženie detekcie útočníka [2, 17].



Obrázok 7: Anatomia DDoS útoku [18]

- *Únik a strata dát.* Najväčšou obavou každej spoločnosti je situácia vedúca k úniku dát na verejnosť alebo priamo ku konkurenčnej spoločnosti. Okrem ohrozenia reputácie danej spoločnosti je riziku vystavené aj súkromie jednotlivých zákazníkov. V takom prípade je celkom pravdepodobné, že únik informácií predznamenáva koniec podnikateľskej činnosti danej spoločnosti, v „lepšom“ prípade únik dát postihne firemnú finančnú sféru. Dôsledkom hackerského útoku

alebo zlyhania poskytovateľa môže dôjsť k narušeniu cloudového prostredia do takej miery, že sa používateľské dáta už nikdy nepodarí zrekonštruovať.

To však neznamená, že by dáta v cloude neboli zabezpečené. Ako sme už spomínali, poskytovatelia v dnešnej dobe považujú zabezpečenie za jednu z hlavných priorít a následne ponúkajú používateľom cloud computingu významné bezpečnostné výhody, ako sú napríklad:

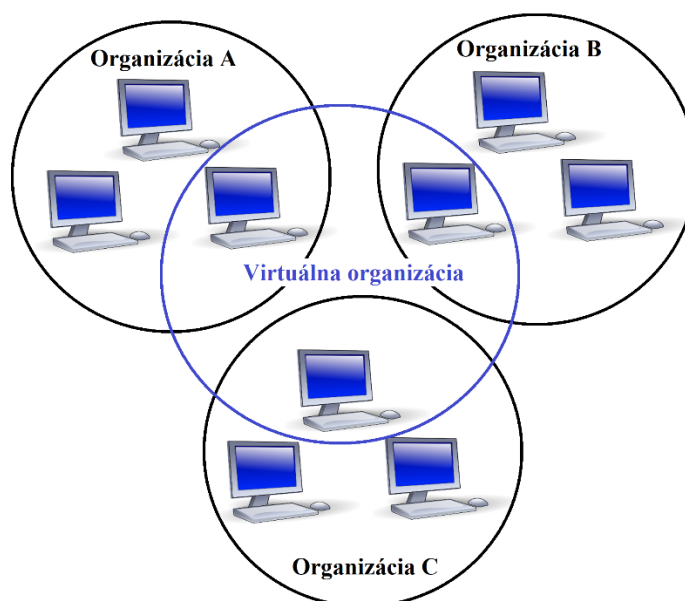
- *Uchovanie dát.* Aj keď jedným z bezpečnostných rizík je práve únik a strata dát, voľba spoľahlivého poskytovateľa s vysokým bezpečnostným štandardom garantuje používateľovi výrazne väčšiu mieru istoty ako napríklad externé dátové úložisko, pretože čisto v teoretickej rovine existuje značne väčšia pravdepodobnosť, že dôjde k mechanickému poškodeniu hardvéru, ako že niekto prenikne do cloudu renomovaných poskytovateľov, ako sú spoločnosti Google alebo Apple.
- *Okamžitý presun.* Ak sú údaje používateľa v ohrození, môže ich okamžite presunúť do iného dátového centra alebo virtuálneho stroja. Takýto presun údajov nemá na používateľov ani fungovanie spoločnosti žiadny vplyv a navyše nemusia tráviť čas pokusmi o replikáciu údajov, keďže absencia hardvéru im to umožní okamžite [2].
- *Monitorovanie dát.* Ak sú údaje používateľa alebo spoločnosti udržiavané v prostredí cloudu, je výrazne jednoduchšie starať sa o bezpečnosť jedného cloudu ako sa starať o bezpečnosť mnohých serverov a klientov. Pravdepodobnosť, že dôjde k narušeniu v cloude síce ohrozuje všetky údaje, ale ak poskytovateľ dbá na bezpečnosť a implementuje do svojej bezpečnostnej politiky najnovšie generácie bezpečnostných systémov, výrazne znižuje riziko takéhoto scenára [2].
- *Implementované zabezpečenie.* Pri vývoji a budovaní vlastnej siete je nutné, aby si používateľ zakúpil bezpečnostný softvér od tretej strany. Ak sa používateľ rozhodne pre cloudové riešenie, bezpečnostné nástroje sú združené a priamo implementované v poskytovanej cloudovej službe s akoukoľvek požadovanou úrovňou zabezpečenia [2].
- *Vylepšenie softvérového zabezpečenia.* Poskytovatelia sa vždy snažia vyvinúť čo najlepší a najefektívnejší vývojový softvér a ten aktualizovať vždy, keď to je možné, podľa potreby používateľa. Na trhu, pochopiteľne, rozhoduje konkurencia, takže čím lepšie softvérové zabezpečenie poskytovateľ ponúka, tým nadobúda väčšiu šancu získať nových zákazníkov [2].

3 VÝPOČTOVÝ GRID

Náročnosť a komplexnosť vedecko-technických úloh sa v posledných rokoch značne zvýšila, následkom čoho výrazne narástli aj požiadavky na výpočtový hardvér. Z tohto dôvodu mnohé spoločnosti a vedecko-vzdelávacie inštitúcie hľadali čo najefektívnejší a ekonomicky najvýhodnejší „nástroj“ na riešenie takýchto úloh. Aj keď sa výpočtový hardvér z generácie na generáciu značne zlepšuje a v dnešnej dobe sme schopní pomocou jedného výkonného počítača vyriešiť za relatívne krátky čas širokú škálu úloh, existujú komplexné úlohy, na ktorých riešenie je potrebný enormný výpočtový výkon. To nás privádza k riešeniu pomocou tzv. *výpočtového gridu* (výpočtová mriežka). Ten ponúka komerčným spoločnostiam, vedeckým inštitúciám, ale aj jednotlivcom bezpečné vysokovýkonné výpočtové prostredie a umožňuje im ho spoločne používať.

Výpočtový grid môžeme definovať ako súbor výpočtových geograficky vzdialených prostriedkov prepojených prostredníctvom internetu. Ide teda o globálnu sieť počítačov, ktoré reprezentujú jedno veľké výpočtové prostredie. Do tohto prostredia patria okrem výpočtového hardvéru aj rôzne medzinárodné databázy, softvérové nástroje a archívy potrebné na vykonávanie jednotlivých operácií [19].

Špecifickým problémom tohto konceptu je však podľa autorov [20] koordinované zdieľanie zdrojov a riešenie problémov v dynamických, multiinštitucionálnych *virtuálnych organizáciách*. Virtuálna organizácia reprezentuje v tomto prípade dynamickú skupinu jednotlivcov, skupín alebo organizácií určujúcich podmienky a pravidlá na zdieľanie zdrojov. Zdieľanie, o ktoré sa zaujímate, nie je primárne výmenou súborov, ale skôr priamym prístupom k výpočtovému hardvéru, softvéru, údajom a iným prostriedkom, potrebných na riešenie problémov v priemysle, vede a inžinierstve.



Obrázok 8: Zjednodušená schéma virtuálnej organizácie

3.1 Dôvody na budovanie výpočtových gridov

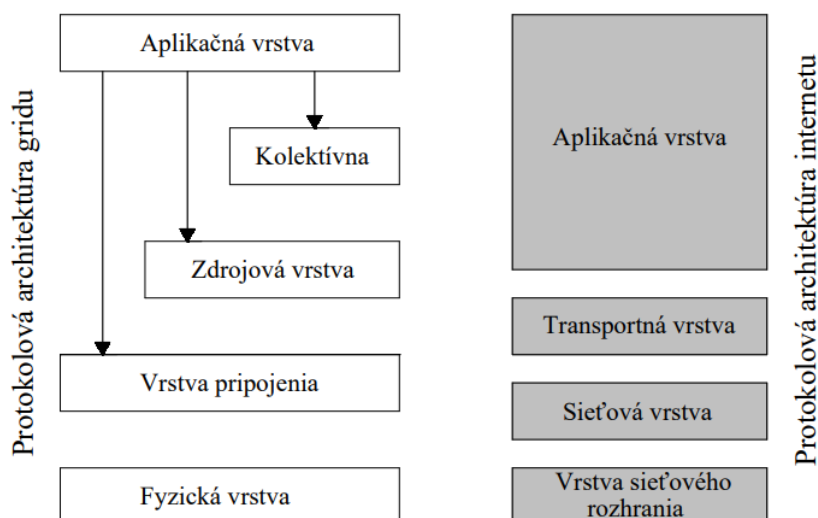
Rozvoj výpočtovej techniky sa v poslednom období citeľne urýchlil. Dnešné osobné zariadenia, ako sú laptopy alebo smartfóny, disponujú väčšou pamäťovou kapacitou, úložiskom a výkonnejšími centrálnymi procesorovými jednotkami než veľké sálové počítače z konca 90. rokov. Následkom toho dokážu dnešné zariadenia spracovať násobne viac údajov a inštrukcií, preto je ich pomer ceny a výkonu zreteľne výhodnejší [3].

Autor sa v [3] zamýšľa nad efektívnejším využitím modernej výpočtovej techniky, pretože výpočtová kapacita nie je naplno využívaná, a to aj napriek tomu, že cena koncových zariadení neustále klesá. Na druhú stranu ešte stále existujú problémy, na ktorých riešenie súčasná infraštruktúra výpočtových prostriedkov buď nestačí, alebo je príliš drahá. Autor uvádza napríklad úlohy vplyvu rozvoja civilizácie a jeho dopadu na prírodné prostredie alebo predpovedí počasia v dlhodobom časovom horizonte. Práve tieto výpočtovo náročné úlohy stáli za vznikom výpočtových gridov. Prvotná myšlienka však podľa autora vznikla na základe distribučného systému elektrickej energie, v ktorom bola snaha poskytnúť čo najvyššiu spoľahlivosť a vyťažiť z koordinácie všetkých zariadení maximum.

Výpočtový grid, ako sme už spomínali, bol vyvinutý ako inovatívne riešenie určené na skrátenie výpočtového času zložitých vedecko-technických úloh. Toto riešenie sa navyše stalo populárnym aj medzi rôznymi spoločnosťami a jednotlivcami, a to hlavne z ekonomického hľadiska.

3.2 Architektúra gridov

Gridová architektúra definuje účel, funkciu a interakciu jednotlivých gridových komponentov. Hlavným zameraním architektúry gridu je interoperabilita medzi poskytovateľmi a používateľmi v snahe vytvoriť ideálne zdieľané prostredie [21].

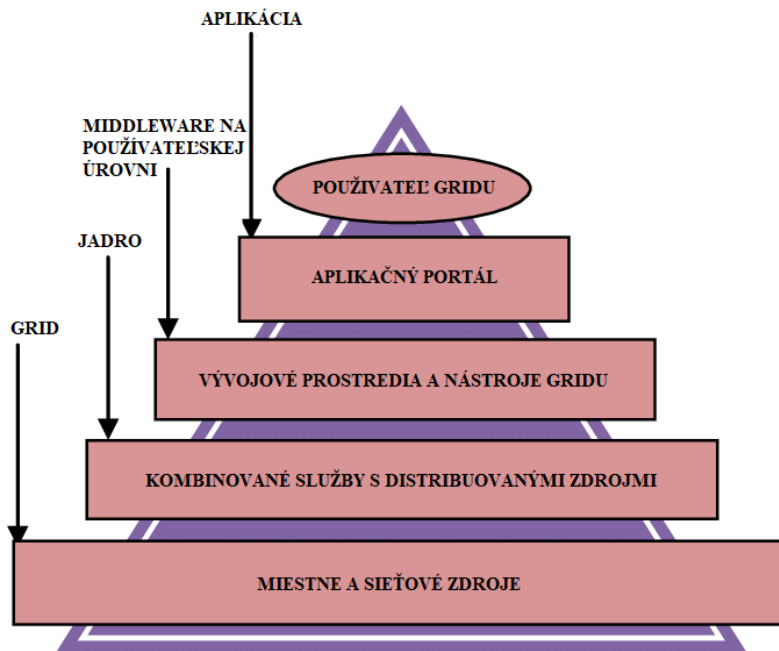


Obrázok 9: Gridová architektúra [20]

Jednotlivé vrstvy, zobrazené na obrázku 9, a ich hlavné funkcie možno zhrnúť nasledovne:

- *Fyzická vrstva.* Nachádzajú sa tu všetky fyzické zdroje zdieľané v rámci gridu. Patria tu výpočtové zdroje, úložné systémy, sieťové zdroje, katalógy, softvérové moduly, senzory a iné systémové prostriedky [22].
- *Vrstva pripojenia.* Táto vrstva obsahuje základné komunikačné a autentifikačné protokoly potrebné pre špecifickú sieťovú transakciu gridu. Najdôležitejšie funkcie vrstvy sú transport, smerovanie a pomenovanie dát, ako aj podpora bezpečnej komunikácie. Požiadavky na podporu zabezpečenia zahŕňajú podporu prihlásenia pre jednotlivca, podporu delegovania (program môže bežať a zároveň mať prístup k prostriedkom, ku ktorým má prístup používateľ) a podporu interoperability s lokálnymi bezpečnostnými riešeniami a pravidlami [21].
- *Zdrojová vrstva.* Vrstva riadiaca bezpečnosť spúšťania, monitorovania, účtovania a platieb za zdieľanie funkcií jednotlivých zdrojov. Využíva k tomu komunikačné a bezpečnostné protokoly definované vrstvou pripojenia. Zdrojová vrstva zahŕňa hlavne informačné a riadiace protokoly. Informačné protokoly sa používajú na získavanie informácií o stave a štruktúre dostupných zdrojov, zatiaľ čo riadiace protokoly sa používajú na získanie prístupu k jednotlivým zdrojom a zaisťujú, že používanie zdrojov je v súlade s politikou zdieľania daného zdroja [21].
- *Kolektívna vrstva.* Vrstva zodpovedná za globálny manažment zdrojov a za interakciu so zbierkami zdrojov. Sú tu implementované protokoly zahŕňajúce široký diapazón spôsobov zdieľania. K najdôležitejším funkciám tejto vrstvy patria monitorovanie, diagnostika, adresárové, plánovacie, sprostredkovateľské a replikačné služby. Okrem nich k úlohám tejto vrstvy patrí aj autorizácia komunity a platobné služby [21].
- *Aplikačná vrstva.* Na tejto vrstve sa nachádzajú používateľské aplikácie nasadené na gride. Je dôležité poznamenať, že nie každú aplikáciu možno nasadiť na grid. Aplikácia musí byť navrhnutá tak, aby využívala výhodu gridového prostredia, inými slovami, aby v ňom bežala paralelne a bola schopná používať viacero procesorov [21].

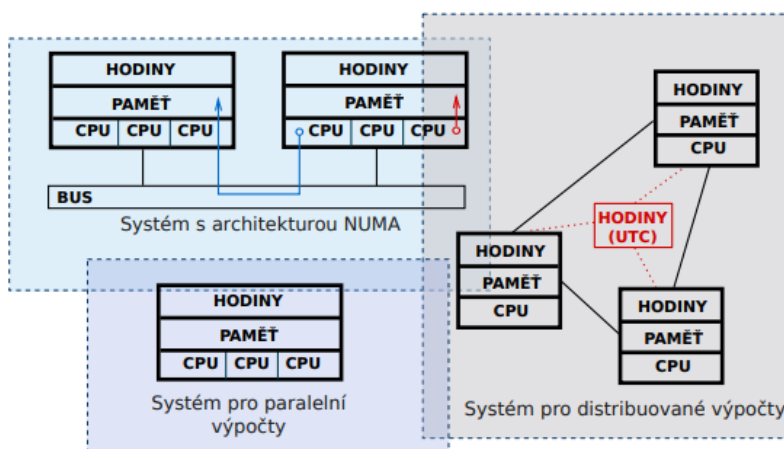
Jednotlivé vrstvy gridovej architektúry sú navzájom prepojené, pričom každá vrstva závisí od rozhrania vrstvy predošlej. Spolu vytvárajú tzv. *gridový middleware* a poskytujú komplexnú sadu funkcií potrebných na bezpečné, spoľahlivé a efektívne zdieľanie počítačových zdrojov a dát medzi nezávislými subjektmi. V prípade gridového middleware ide o špecifický softvér poskytujúci funkcie potrebné na zdieľanie heterogénnych zdrojov a vytváranie virtuálnych organizácií. Tento softvér poskytuje špeciálnu vrstvu, určenú na zdieľanie a virtualizáciu, ktorá je umiestnená medzi heterogénnou infraštruktúrou a špecifickými používateľskými aplikáciami využívajúcimi ju [21].



Obrázok 10: Schéma architektúry middleware [23]

3.3 Charakteristika výpočtových systémov

V snahe skrátiť výpočtový čas a tým zároveň zvýšiť efektivitu výpočtového systému boli navrhnuté výpočtové architektúry, ktorých výpočtové uzly sú schopné spracovávať výpočtový algoritmus súbežne. Ide o architektúry *distribuovaných a paralelných výpočtov*. Aj keď obidve vychádzajú z rovnakej myšlienky, ich základným rozdielom je odlišná topológia. Architektúra distribuovaných výpočtov môže byť prevádzkovaná v rozličných geografických lokalitách a na rozsiahlych sieťach, preto je jej nasadenie vhodné v prípade úloh nevyžadujúcich presnú synchronizáciu vnútorných algoritmov. V prípade tejto požiadavky je nutné použiť paralelný výpočtový systém, ktorého hardvérová architektúra je smerovaná na konkrétnu výpočtovú jednotku [3].



Obrázok 11: Topológia systémov pre paralelné a distribuované výpočty [3]

V [3] autor uvádza rozdelenie výpočtových systémov podľa ich základnej charakteristiky:

- *Paralelný systém so zdieľanou pamäťou.* V tomto výpočtovom systéme sa nachádzajú jedny systémové hodiny, čo má za následok centrálnu časovú synchronizáciu. Systém obsahuje iba jednu výpočtovú pamäť, ku ktorej majú prístup jednotlivé procesory alebo ich jadrá [3].
- *Paralelný systém s distribuovanou pamäťou* (z angličtiny „Non-Uniform Memory Architecture“, NUMA). Podobne ako v prípade paralelného systému so zdieľanou pamäťou, aj tento systém zahŕňa jedny systémové hodiny. Rozdiel je však v pamäti. V tomto prípade majú jednotlivé *výpočtové uzly* (výpočtové zariadenia) systému svoje vlastné pamäte, ku ktorým majú navzájom prístup. To znamená, že uzol s vlastnou pamäťou má prístup k pamäti iného uzlu [3].
- *Distribuovaný výpočtový systém.* Všetky procesory tohto systému disponujú svojou vlastnou pamäťou, pričom výmena informácií prebieha formou správ. Systém nie je centrálné časovo synchronizovaný [3].
- Na chod a vývoj paralelných a distribuovaných výpočtov sú k dispozícii rozličné knižnice a vývojové prostriedky v podobe open source licencií (OpenMP [24], OpenMPI [25]), ale aj komerčných produktov (nVidia CUDA [26], DirectX) [3].

3.3.1 Paralelný výpočtový systém

„Snahou nasadenia technológie paralelných výpočtov je využitie všetkých dostupných hardvérových zdrojov a snaha o čo najvyššie zužitkovanie výpočtového výkonu centrálného procesora periférnych zariadení.“ [3] Výpočtový výkon takýchto systémov je násobne vyšší ako výkon jednej procesorovej jednotky. Z tohto dôvodu sa aplikuje na riešenie špecificky náročných úloh. Hlavnou charakteristikou paralelných výpočtových systémov je spoločná zdieľaná pamäť. Hardvérovú stránku tvoria hlavne grafické procesory, kde patria napríklad procesory od výrobcov nVidia alebo AMD. Taktiež tu zaraďujeme špeciálne signálové procesory [3].

Výkon paralelných výpočtových systémov sa odvíja od počtu procesorových jednotiek, avšak výkon s pribúdajúcim počtom procesorových jednotiek nerastie lineárne, ale skôr asymptoticky, pričom existuje hranica, keď pridávanie ďalších výpočtových jednotiek už nemá na celkový výpočtový výkon žiadny efekt. Príčinou je podmienka riadenia paralelného spracovania – synchronizácia jednotlivých procesov. Jej dôsledkom musí celý paralelný systém čakať na časovo najdlhší výpočet, čo znateľne ovplyvňuje celkovú výkonnosť [3].

3.3.2 Distribuovaný výpočtový systém

„Systémy pre distribuované výpočty sú technológie, ktoré spájajú tisíce bežných počítačov rôzneho výkonu s rôznymi architektúrami a operačnými systémami do jedného výpočtového klastru.“ [3] Obrovskou výhodou takéhoto systému je schopnosť pružne

reagovať na ponúkanú výpočtovú kapacitu. To znamená, že jednotlivé výpočtové uzly systému nemusia byť nepretržite prepojené [3].

Vo všeobecnosti sú distribuované výpočtové systémy a výpočtové gridy navrhnuté na riešenie *dávkových úloh* (úlohy nevyžadujúce interakciu používateľa, ktoré majú zvyčajne nízku prioritu a na svoje spracovanie si vyžadujú špeciálne prostredie [27]). Tie sú následne rozčlenené do jednotlivých procesov, pričom každému procesu je priradený výpočtový zdroj. Výmena informácií medzi jednotlivými výpočtovými zdrojmi prebieha za pomoci komunikačnej siete. V systéme sa nenachádzajú žiadne globálne hodiny určujúce časovú synchronizáciu jednotlivých účastníkov. Časová synchronizácia je v tomto prípade realizovaná za pomoci zasielania správ, pri ktorých nastáva riziko časového oneskorenia (tzv. *timeout*), straty alebo nečitateľnosti správ. Čas oneskorenia komunikačnej správy je konečný, no nie je možné ho predvídať. Ide o komplexný problém, pretože, ako sme uviedli vyššie, distribuovaný výpočtový systém sa skladá z veľkého množstva výpočtových uzlov s rozličnou geografickou lokáciou, ktoré sa musia navyše vyrovnáť s konečnou komunikáciou v rámci siete [3].

3.4 Tolerancia chýb výpočtových gridov

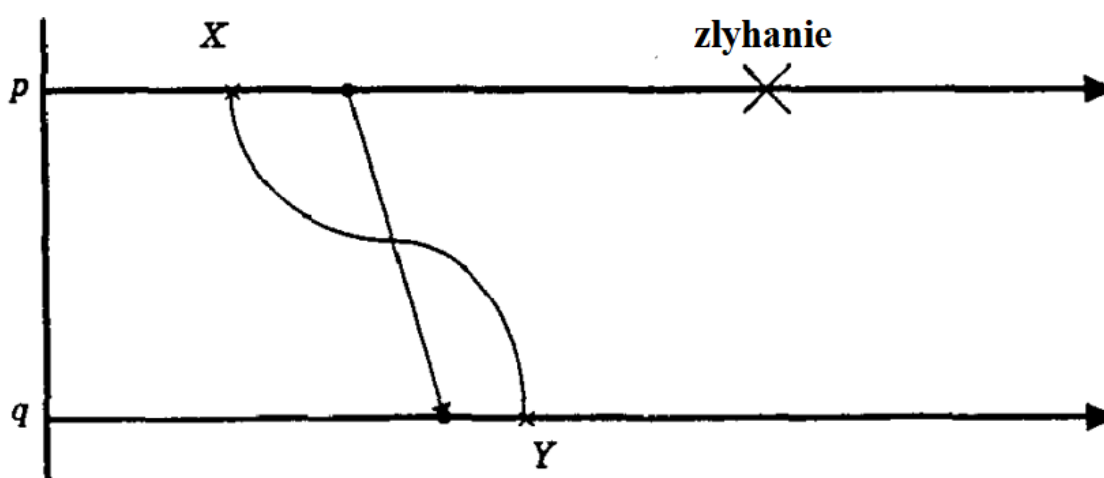
Základnou úlohou pri budovaní výpočtového systému je zaistiť jeho funkčnosť. Táto úloha sa stáva obzvlášť náročnou, ak ide o výpočtový systém s výpočtovými uzlami nachádzajúcimi sa v rozličných geografických lokáciách, ako je to v prípade výpočtových gridov. Je nutné dosiahnuť stav, kedy sú jednotlivé výpočtové uzly schopné spolupráce aj v prípade porúch systému a sú schopné správne plniť svoju funkciu [3]. „*Chyba predstavuje neplatný stav systému, ktorý nie je v súlade s jeho špecifikáciou. Inými slovami, chyba je príčinou zlyhania systému.*“ [3] Preto by mal návrh výpočtového systému zahŕňať čo najvyššiu odolnosť voči systémovým chybám. Na zvýšenie odolnosti boli do gridových sústav implementované kontrolné mechanizmy, ktorých úlohou je predísť okolnostiam vedúcim k vzniku porúch. Podľa autora [3] je základným parametrom výpočtového systému šírka prenosového pásma, pričom chybou nazýva neplatný stav systému, ktorý je v nesúlade z jeho špecifikáciou. Systém je špecifikovaný definovanými parametrami zaručujúcimi jeho bezchybnú funkčnosť.

Najčastejšími metódami používanými na zvýšenie odolnosti voči systémovým chybám sú techniky *checkpointingu* a *replikácie*.

3.4.1 Checkpointing

Princíp *checkpointingu* pozostáva z ukladania lokálnych stavov procesu do tzv. *checkpointov* (kontrolných bodov). Vo všeobecnosti môžeme definovať dva rôzne prístupy tvorby checkpointov. V prvom prístupe sú kontrolné body jednotlivých procesov nezávisle ukladané do stabilného úložiska. Procesy musia v prípade zlyhania systému nájsť v úložisku konzistentnú sadu kontrolných bodov. Výpočtový systém následne vykoná operáciu *rollback* (operácia, ktorá v prípade vzniku chyby systém vráti do posledného známeho konzistentného stavu [3]) a reštartuje sa z tejto sady kontrolných

bodov. Tento prístup možno nazvať aj *nezávislý checkpointing* a autori [28] ho vysvetľujú za pomoci obrázka 12, kde je zobrazená história určitého systému. V tomto systéme sa nachádzajú procesy p a q . Proces p vytvorí kontrolný bod v čase X a následne odošle správu procesu q . Ten po prijatí správy vytvorí kontrolný bod v čase Y . Hneď nato proces p zlyhá a reštartuje sa z kontrolného bodu, ktorý prijal v čase X , pričom globálny stav systému je v tomto momente nekonzistentný, pretože proces p ukazuje, že do procesu q neodoslal žiadnu správu, zatiaľ čo lokálny stav procesu q ukazuje, že správa od p bola prijatá. Ak by tieto procesy dohliadali na zákaznícky účet v dvoch rôznych bankách a odoslaná správa by reprezentovala prevod peňažných prostriedkov z p na q , zákazník by mal pri reštarte procesu p peniaze v oboch bankách. Tento nesúlad by pretrvával aj v prípade, ak by proces q vykonal rollback a reštartoval by sa z kontrolného bodu vytvoreného v čase Y .



Obrázok 12: Princíp nezávislého checkpointingu [28]

Ako už bolo naznačené, prístup nezávislého checkpointingu sa príliš nepoužíva, a to hlavne z dôvodu tzv. „*domino efektu*“, pri ktorom dochádza k tomu, že jednotlivé procesy vytvárajú kontrolné body v nezávislom slede. Dôsledkom toho správy medzi jednotlivými procesmi nezanechávajú žiadnu konzistentnú množinu bodov – okrem tých počiatočných. Preto ak jeden z procesov zlyhá, celý výpočet sa musí vrátiť na začiatok [28].

Druhý prístup kompenzuje tento nedostatok tým, že procesy koordinujú vytváranie svojich kontrolných bodov. Každý proces ukladá iba svoj najnovší kontrolný bod a medzi jednotlivými procesmi je zaistená synchronizácia správ a kontrolných bodov, čo zachováva konzistenciu. Tento prístup môžeme nazvať aj *synchronizovaný checkpointing* [3, 28].

3.5 Plánovacia a distribučná stratégia v prostredí gridu

Plánovanie a distribúcia procesov patria medzi základné úlohy gridového prostredia. Pri plánovaní sú prerozdeľované jednotlivé úlohy medzi výpočtové zdroje a určuje sa ich

výpočtový čas, pričom sa kladie dôraz na časové usporiadanie úloh. Výpočtové zdroje môžu byť reprezentované rôznymi výpočtovými technológiami [3]. Autor v [3] uvádza ako príklad výpočtového zdroja CPU (centrálnu procesorovú jednotku). Tá je chápaná ako základný prvok a jednotlivé úlohy jej v časových kvantách prideluje plánovač jadra operačného systému. Každá definovaná výpočtová jednotka má svoj plánovač úloh, pričom v prípade rozsiahlych gridových štruktúr môže byť touto jednotkou jedna vetva gridovej topológie. Tu sa stretávame s dôležitým pojmom, ktorým je *plánovač úloh*. Plánovač úloh umožňuje definovať a distribuovať úlohu a sledovať priebeh jej spracovania. Ak ide dlhodobý plánovač, jeho skladba pozostáva z troch nasledujúcich hlavných modulov:

- *Prioritný plánovač*. Zabezpečuje optimalizáciu úloh na základe vstupných parametrov, ktoré sú zadané používateľom. Vstupnými parametrami sú priority jednotlivých úloh. Tie udávajú čas aktivity úlohy vo výpočtovom systéme. To znamená, že so znižujúcou sa pridelenou prioritou úlohy sa znižuje jej aktivita v systéme, pričom aj pre úlohy s najnižšou prioritou je zaručený najkratší možný časový úsek pre aktivitu úlohy [3].
- *Precedenčný plánovač*. Zabezpečuje riadenie dátového toku a poradie spracovania v rámci jednotlivých úloh. Ďalej sa stará o checkpointing systému (kapitola 3.4.1), avšak dokáže riešiť len dočasné a opravitel'né chyby. V prípade vzniku permanentnej chyby dochádza vo väčšine prípadov k výpadku celého systému [3].
- *Optimalizačný plánovač*. Optimalizuje rozloženie výpočtovej záťaže tak, že ju prerozdeľuje medzi jednotlivé výpočtové uzly. Hlavnou prioritou takejto optimalizácie je v čo najväčšej možnej miere skrátiť výpočtový čas. Jeho ďalšou úlohou, na ktorej sa podieľa aj prioritný plánovač, je dynamické preplánovanie úloh. To nastáva v prípade, ak je do spusteného procesu pridaná ďalšia úloha alebo v prípade výpadku niektorého z výpočtových zdrojov [3].

Výpočtový zdroj musí spĺňať určité minimálne hardvérové požiadavky. Tie sa hodnotia pomocou metódy *benchmarkových testov* (hodnotí sa výkon CPU, veľkosť pamäte a vlastnosti sieťového pripojenia). Ich výsledky sú k dispozícii optimalizačnému plánovaču gridového prostredia, ktorý ich vyhodnocuje a následne podľa nich prideluje úlohy jednotlivým výpočtovým uzlom [3].

Plánovanie v gridovom prostredí je náročnou úlohou, keďže ide o rozsiahly a komplikovaný systém s odlišnou polohou jednotlivých výpočtových uzlov. Charakteristickou vlastnosťou takéhoto systému sú náhle zmeny, pričom môže ísť napríklad o výpadok výpočtového uzla z dôvodu zlyhania hardvéru alebo komunikačnej siete. V opačnom prípade môže ísť o pridanie nového výpočtového zariadenia. Plánovací algoritmus musí pri náhlej zmene systému preorganizovať jednotlivé procesy. Povedzme, že určitý výpočtový uzol náhle zlyhá: plánovací algoritmus musí v tomto momente presunúť naplánovanú úlohu na iný uzol. Ak ide o úlohu s viacerými čiastkovými podúlohami, plánovací algoritmus musí brať do úvahy aj časovú závislosť ich

vykonávania. Ďalší problém môže nastať pri nadmernej veľkosti vstupných dát úlohy. Plánovací algoritmus by mal byť navrhnutý tak, aby boli v takomto prípade výpočtové uzly geograficky čo najbližšie pri sebe a tým šetrili komunikačné náklady.

Úlohy plánovania procesov majú výpočtovú náročnosť *NP – úplných problémov*. Príčinou je prevod úlohy na úlohu diskkrétnej optimalizácie. Vysoká výpočtová náročnosť NP spočíva v tom, že na hľadanie optimálnych hodnôt úlohy nie je známy žiadny algoritmus. Na riešenie NP sa preto používajú tzv. *heuristické prístupy* fungujúce na základe dlhoročných skúseností alebo všeobecných postupov. Ich princíp spočíva v tom, že nezáleží na druhu použitej výpočtovej metódy, ale je nutné, aby poskytovala dobré výsledky. Použitie týchto metód je však obmedzené len na špecifickú škálu úloh. Do týchto metód patria napríklad tzv. fuzzy systémy, evolučné a genetické algoritmy, algoritmy využívajúce neurónové siete a strojové učenie [3].

3.6 Praktické aplikácie výpočtových gridov

Výpočtové gridy sa využívajú primárne vo vedeckých inštitúciách, avšak uplatnenie si nájdu aj v rôznych odvetviach priemyslu. Pojem *výpočtový grid* môže predstavovať tisíce výpočtových zariadení, ktoré pracujú na náročnej vedeckej úlohe, ale taktiež sa pod ním môže skrývať pár zariadení slúžiacich ako výpočtový systém v malom podniku. Nasadzovanie tohto výpočtového nástroja sa od začiatku tretieho tisícročia výrazne zvýšilo. Ako príklady ich aplikácií môžeme uviesť CERN Worldwide LHC Computing Grid, NorduGrid a World Community Grid.

3.6.1 CERN Worldwide LHC Computing Grid

Hlavnou úlohou *Worldwide LHC Computing Gridu* alebo *WLCG* je ukladať, spracovávať a analyzovať dáta generované veľkým hadrónovým urýchľovačom častíc alebo LHC (z angličtiny „Large Hadron Collider“). Jeho prevádzka spadá pod európsku organizáciu pre jadrový výskum – CERN. Súčasťou WLCG je k dnešnému dňu okolo 900 000 výpočtových jednotiek pochádzajúcich z viac ako 170 rozličných geografických lokácií v 42 štátoch, pričom okolo 20 % zdrojov poskytuje samotný CERN. Prenos dát medzi jednotlivými výpočtovými uzlami presahuje rýchlosť 60 GB/s a počet požiadaviek na spracovanie bežne prekračuje hranicu 2 miliónov [29].



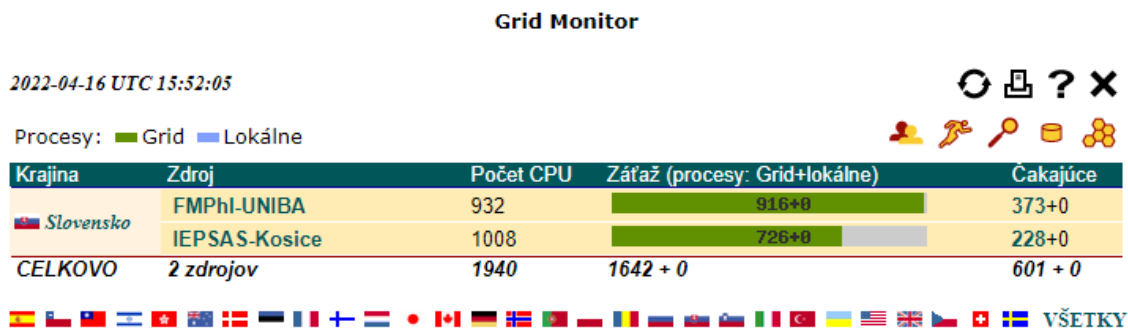
Obrázok 13: WLCG [29]

3.6.2 NorduGrid

NorduGrid vznikol na základe úspešného projektu s názvom „*The Nordic Testbed for Wide Area Computing and Data Handling*“ (v doslovnom preklade „Severské skúšobné zariadenie na diaľkové programovanie a riadenie dát“), ktorý bol spustený v máji roku 2001. Jeho hlavným cieľom bolo vybudovať gridovú infraštruktúru vhodnú na riešenie úloh na produkčnej úrovni. NorduGrid, založený v roku 2002 piatimi škandinávskymi univerzitami, úspešne nadväzuje na svojho predchodcu, pričom sa jeho účelom stal vývoj a podpora vysoko výkonného gridového free open source middleware s názvom „*Advance Resource Connector*“ alebo *ARC*. Momentálne kolaborácia NorduGrid zahŕňa aj množstvo iných partnerov a zahraničných vedeckých inštitúcií [30].

Medzi primárne zameranie NorduGridu patrí napríklad riešenie problémov astrofyziky, bioinformatiky alebo klimatických zmien.

Na stránkach Nordugrid (<https://www.nordugrid.org/>) je v hornej sekcii možný verejný prístup k monitorovaniu gridového prostredia. To je zobrazené aj na (nasledujúcom) obrázku 14. Tento monitorovací nástroj uvádza údaje o tom, či jednotlivé procesy prebiehajú lokálne, alebo na gride. Ďalej uvádza krajiny, z ktorých jednotlivé zdroje pochádzajú, počet CPU a rozloženie záťaže.



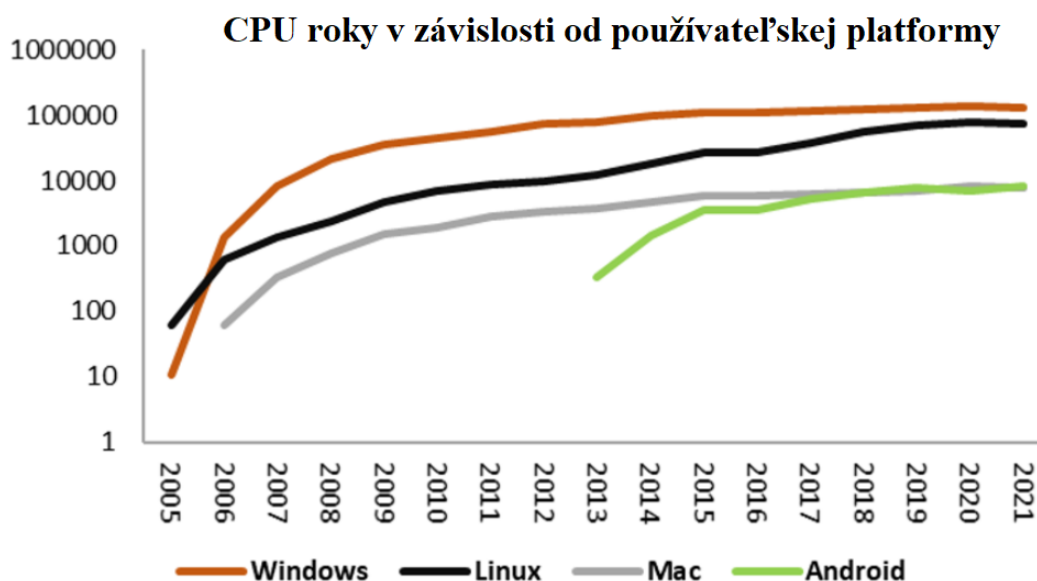
Obrázok 14: Monitorovací nástroj NorduGrid [31]

3.6.3 World Community Grid

Projekt *World Community Grid (WCG)* bol založený spoločnosťou IBM v roku 2004 s cieľom riešiť niektoré z najnaliehavejších sociálnych a environmentálnych problémov ľudstva. Tento projekt umožňuje každému s výpočtovým zariadením, či už ide o klasický stolový počítač, laptop, alebo smartfón, prispieť nevyužitou výpočtovou silou tohto zariadenia do výpočtového prostredia gridu, ktoré je využívané k napredovaniu výskumu v oblastiach týkajúcich sa ľudského zdravia, chudoby a životného prostredia [32].

K tomuto dátumu WCG podporuje 31 výskumných projektov zahŕňajúcich napríklad vývoj lacných systémov na filtráciu vody, vývoj nových materiálov na efektívnejšie zachytávanie solárnej energie, efektívnejšiu liečbu rakoviny alebo ochorenia COVID-19 [32].

Do projektu je momentálne zapojených okolo 806 000 dobrovoľníkov, pričom ich výpočtová kapacita dokopy poskytla viac ako 2,4 milióna CPU rokov. (Jeden CPU rok sa vníma ako množstvo výpočtovej práce pomocou zariadenia, ktoré urobí 1 miliardu operácií za sekundu v časovom úseku 8760 hodín.) Nasledujúci obrázok 15 zobrazuje počet CPU rokov v závislosti od používateľskej platformy v prostredí WCG [33].



Obrázok 15: WCG – CPU roky v závislosti od používateľskej platformy [33]

3.7 Bezpečnosť a riziká používania výpočtových gridov

Pri prechode na výpočtový grid sa stala bezpečnosť pre používateľov jedným z rozhodujúcich faktorov. Práve preto poskytovatelia virtuálneho výpočtového hardvéru ako aj rozličné organizácie riadiace gridové prostredia kladú na zabezpečenie vysoký dôraz a implementujú do svojich prostredí najnovšie bezpečnostné protokoly. Pre používateľa je dôležité, aby sa so zabezpečením konkrétnej organizácie vopred oboznámil, či už v prípade prenájmu výpočtového hardvéru, alebo aj v prípade, keď sa chce používateľ zapojiť do verejného gridového prostredia a poskytnúť nevyužitú výpočtovú kapacitu svojich zariadení.

Bezpečnostné protokoly sú implementované v niekoľkých vrstvách gridovej architektúry (viď kapitola 3.2), pričom gridové prostredie by malo spĺňať nasledujúce bezpečnostné požiadavky:

- *Autentifikácia.* Bezpečnostné požiadavky gridového prostredia by mali na vstupných bodoch obsahovať autentifikačné mechanizmy, ktoré môžu byť rozličné pre jednotlivé lokácie gridu. Preto je dôležité, aby bol na zvládnutie všetkých požiadaviek a poskytovanie bezproblémového používateľského rozhrania bezpečnostný protokol flexibilný a škálovateľný [34].
- *Sprístupnenie právomoci.* Niekedy je potrebné, aby služby vykonali určité operácie v mene používateľa, pričom prístup k databáze môže byť výpočtovou úlohou vyžadovaný opakovane. V takom prípade je nutné sprístupniť používateľovi oprávnenie na využívanie požadovanej služby. Pri sprístupňovaní oprávnení na využívanie je dôležité dbať na to, aby sa práva vzťahovali len na požadované akcie výpočtovej úlohy, a to v rámci obmedzeného času – a tým sa minimalizovalo zneužitie udelenej právomoci [34].
- *Jednotné prihlásenie.* Výpočtová úloha si v rámci gridu môže vyžadovať prístup k rozličným databázam a zdrojom, ktoré môžu byť zabezpečené rôznymi bezpečnostnými protokolmi. Preto je potrebné, aby bezpečnostné mechanizmy poskytli používateľovi po úspešnom prihlásení prístup ku všetkým sprístupneným zdrojom bez nutnosti opätovaného absolvovania prihlasovacieho procesu [34].
- *Bezúhonnosť.* Bezpečnostné mechanizmy by mali obsahovať integritu správ, čo znamená, že používateľ by mal byť schopný identifikovať akékoľvek neautorské zmeny v správach alebo dokumentoch [34].
- *Dôvernosť správ.* Dôvernosť základného komunikačného mechanizmu by mala byť chránená, tak ako aj správy a dokumenty, ktoré ním prechádzajú [34].
- *Autorizácia.* Prístup k jednotlivým gridovým službám by mal byť založený na autorizačných zásadách. Inými slovami, poskytovateľ by mal presne definovať, kto a za akých podmienok môže využívať gridové služby, čo sa javí ako komplikovaný problém hlavne v prostredí virtuálnych organizácií [22].

Zanedbaním niektorých z vyššie uvedených bezpečnostných princípov zo strany poskytovateľa je používateľ gridových služieb vystavený určitým bezpečnostným

rizikám. Tie vo všeobecnosti zahŕňajú riziká využívania služieb cloud computingu uvedené v kapitole 2.7, avšak v prípade výpočtových gridov sa k nim pridávajú aj ďalšie, ako napríklad dodávanie menšieho množstva výpočtových zdrojov, ako si používateľ zaplatil. Preto je veľmi dôležité, aby si používateľ pred prechodom na výpočtový grid overil bezpečnostné predpisy a požiadavky poskytovateľa. Taktiež je potrebné brať do úvahy fakt, že aj keď grid dokáže pracovať s heterogénnymi zdrojmi, tak s narastajúcim počtom zdrojov výrazne stúpajú aj investičné náklady, čo môže mať v konečnom dôsledku negatívny efekt na financie používateľa.

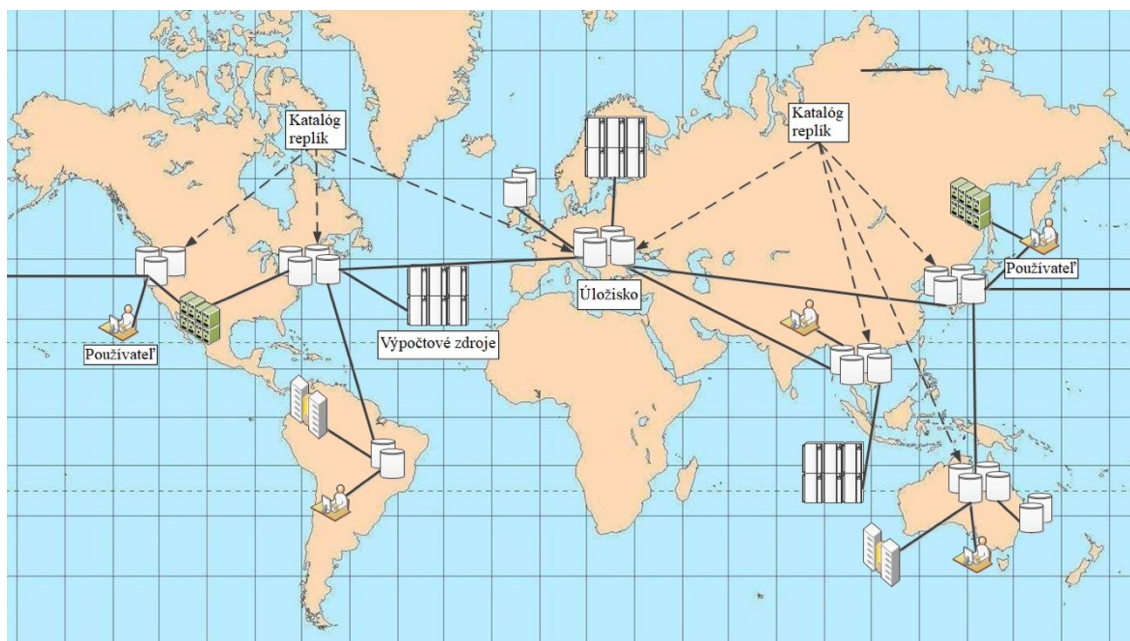
4 DÁTOVÝ GRID

Nová generácia vedeckých problémov so sebou prináša obrovské množstvo dát. Vedecké komunity preto prišli s riešením, ktoré im umožňuje zdieľanie, transport a spracovanie masívnych zbierok údajov distribuovaných po celom svete. Ide o implementáciu gridových technológií, kombinujúcu výkonné výpočtové zdroje s vysokorýchlostnou tvorbou siete a veľkokapacitnými úložiskami. Kombinácia týchto technológií sa označuje aj ako *dátový grid* [35]. Okrem využitia na vedecké účely si dátové gridy postupne našli cestu aj na firemný trh. O to sa postarali rozličné distribučné spoločnosti, ktoré zastrešujú tak nasadzovanie, ako aj údržbu gridových technológií v jednotlivých spoločnostiach. Vo všeobecnosti sa však tieto komerčné gridové služby začali nazývať *cloudové služby*.

Dátový grid môžeme definovať ako architektúru poskytujúcu prístup k nespočetnému množstvu geograficky distribuovaných dát, ich úprave, spracovaniu a transportu. Používateľovi je vo väčšine prípadov taktiež umožnené vytvárať a upravovať lokálne kópie alebo repliky *súborov údajov*, a to hlavne z dôvodu zníženia časovej odozvy spôsobenej širokoplošným transferom dát. Súborový údaj sa nachádzajú vo veľkokapacitných úložných systémoch nazývaných aj ako *úložiská*. Ide napríklad o diskové polia alebo páskové knižnice. Jednotlivé repliky môžu byť úplnou alebo čiastočnou kópiou pôvodného súboru údajov. Na spravovanie replík slúži takzvaný *mechanizmus replikácie údajov*, ktorý umožňuje používateľom vytvárať a spravovať repliky a taktiež aktualizovať už vytvorené repliky v prípade, ak bol pôvodný súbor údajov modifikovaný [35].

Ďalším dôležitým nástrojom slúžiacim na poskytovanie informácií o dátach sú *metadáta*, inak nazývané aj ako „*dáta o dátach*“. Tie okrem zobrazovania základných informácií, ako sú názov súboru, čas vytvorenia, veľkosť súboru alebo čas poslednej úpravy, môžu poskytovať aj niektoré špeciálne informácie, ako sú napríklad detaily o procese, ktorým boli dáta vytvorené [35].

Informácie o metadátach, súboroch údajov a na nich naviazaných replík, sa nachádzajú v takzvanom *katalógu replík*. Pomocou neho môžu používatelia vykonávať základné operácie, ako je napríklad lokalizovanie najbližšej repliky konkrétneho súboru údajov [35].



Obrázok 16: Pohľad na dátový grid [35]

4.1 Technika replikácie v dátových gridoch

Technika replikácie je jednou z metód slúžiacich na ochranu proti systémovým chybám. Ide o proces kopírovania a spravovania súborov údajov z viacerých databázových centier, ktoré sa nachádzajú v gridovom prostredí. Zmeny aplikované na jednom mieste sú zachytené a uložené lokálne predtým, ako sú odoslané a aplikované v ostatných vzdialených lokáciách. Hlavné dôvody využívania techniky replikácie sú nasledujúce:

- *Dostupnosť v prípade poruchy.* Ak dôjde k výpadku siete alebo poruchy servera, používateľ má stále prístup k dátam, ktoré boli lokálne replikované.
- *Väčšia efektívnosť.* V niektorých prípadoch môže používateľ vyžadovať rozličné údaje, nachádzajúce sa v rôznych vzdialených lokáciách. Vytvorenie lokálnych replík minimalizuje časovú odozvu. Výsledkom je zvýšenie efektivity práce s jednotlivými dátami.
- *Ochrana integrity.* Vytváraním lokálnych kópií dát používateľ chráni ich integritu. Replikačné nástroje by mali byť volené na základe podporovaného typu replikácie. Inými slovami, jednotlivé typy replikácií sú navzájom odlišné, preto je dôležité zvoliť vhodný typ replikácie pre konkrétne gridové prostredie.

Vo všeobecnosti rozlišujeme metódy na šírenie aktualizácií a metódy na dosah aktualizácií [36]. Metódy na šírenie aktualizácií sú nasledujúce:

- *Synchrónna replikácia.* Funguje na princípe riadiacej databázy a databáz pod jej kontrolou. Šírenie aktualizácií pomocou tejto metódy prebieha tak, že pri aktualizovaní riadiacej databázy sa systém napojí na všetky prístupné databázy pod jej kontrolou, uzamkne ich a následne ich súčasne aktualizuje. Ak niektorá z databáz pod kontrolou nie je v čase aktualizácie k dispozícii, jej dáta

ostanú neaktualizované. Výhodou tejto metódy je zachovanie konzistencie dát, avšak všetky databázy pod kontrolou musia byť v čase aktualizácie prístupné [36].

- *Asynchrónna replikácia.* Existujú dva varianty asynchrónnej replikácie, a to *periodický* a *neperiodický*. V periodickej replikácii sú dáta aktualizované v špecifikovaných intervaloch, zatiaľ čo v neperiodickej len v nevyhnutnom prípade (zvyčajne sú dáta aktualizované spustením určitej udalosti v plánovači). Konzistentnosť kópií v čase je nastaviteľný parameter, závisiaci od danej aplikácie [36].

Metódy na dosah aktualizácií môžeme rozdeliť do dvoch skupín, a to na:

- *Aktualizácia kdekoľvek.* Šírenie aktualizácií môže byť spustené akoukoľvek stranou, pričom si všetky strany môžu aktualizovať svoje kópie [36].
- *Hlavná kópia.* V tejto metóde existuje jedna hlavná kópia, ktorú je možné aktualizovať. Ostatné kópie sú aktualizované na základe zmien v hlavnej kópii [36].

Voľba replikačnej stratégie závisí od používateľských požiadaviek a konkrétneho gridového prostredia. Niektoré z používaných stratégií sú:

- *Snapshot replikácia.* V tejto stratégii je vytvorená kópia dát, ktorá je následne presunutá z jedného serveru na druhý alebo z jednej databázy na druhú v rámci toho istého serveru. Po počiatočnej synchronizácii sú dáta pravidelne obnovované a zverejňované v tabuľkách. Ide o jednu z najjednoduchších foriem replikácií, avšak jej hlavnou nevýhodou je kopírovanie všetkých údajov po každom obnovení tabuľky [36].
- *Transakčná replikácia.* Táto stratégia je založená na monitorovaní jednotlivých serverov replikačným agentom, ktorý zaznamenáva zmeny a tie následne odosiela do záložných serverov. Odosielanie môže po každej zmene prebiehať buď automaticky, alebo môže fungovať na periodickej báze [36].
- *Zlúčovacia replikácia.* Stratégia dovoľujúca nezávislé fungovanie jednotlivých replík, pričom dva subjekty dokážu navzájom fungovať v offline režime. Pri ich nasledovnom prepojení replikačný agent posúdi zmeny v oboch súboroch údajov a podľa toho upraví každú databázu. O konzistentnosť súborov dát sa stará preddefinovaný algoritmus. Táto replikačná stratégia sa využíva hlavne v bezdrôtových prostrediach [36].

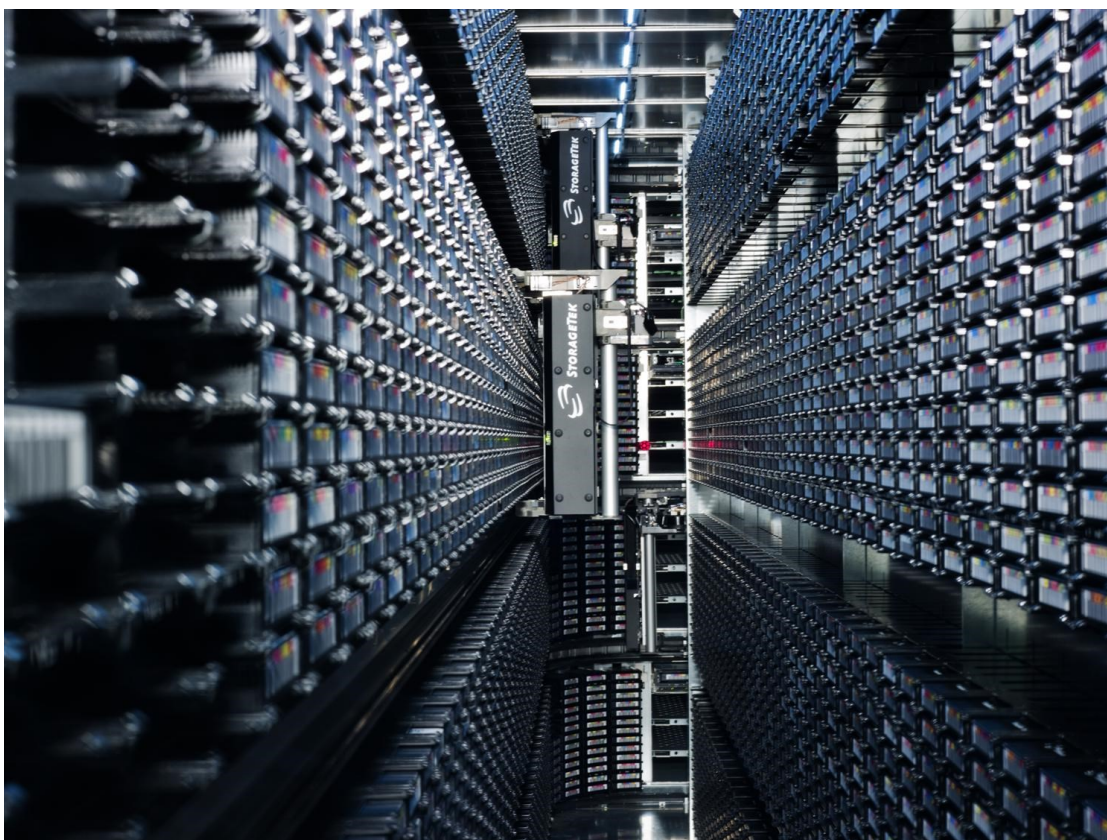
Na implementáciu replikačných nástrojov sú využívané rôzne open source prostredia, ako napríklad Postgres-R alebo Slony-I, ktoré sú bližšie analyzované autormi v [36].

4.2 Výhody a nevýhody dátových gridov

Je zrejmé, že dátové gridy si našli svoje uplatnenie hlavne na vedeckej a akademickej pôde. Podobne ako v prípade výpočtových gridov sú do väčšiny projektov dátových

gridov zapojené viaceré vedecko vzdelávacie inštitúcie. Gridové prostredie im poskytuje efektívny nástroj na zdieľanie a ukladanie informácií, čo značne urýchľuje výskumnú činnosť. Jednou z hlavných výhod dátových gridov je práve možnosť archivovať obrovské množstvo dát. Ako príklad môžeme uviesť CERN Worldwide LHC Computing Grid (kapitola 3.6.1), ktorý okrem výpočtovej činnosti vyprodukuje ročne okolo 90 miliónov gigabajtov dát [37]. Tie sú následne ukladané na magnetické pásky, ktoré sa používajú ako hlavné dlhodobé úložisko, pričom archivované dáta sa neustále presúvajú na novšie pásky s väčšou hustotou. Magnetické pásky sa využívajú hlavne z dôvodu nižšej ceny na jeden uložený megabajt alebo gigabajt oproti iným pamäťovým médiám. Ďalšou výhodou, ako už bolo spomenuté, je jednoduchý prístup k dátam a vytváranie ich lokálnych kópií.

Dátové gridy sú momentálne tou najefektívnejšou možnosťou na zdieľanie a ukladanie dát určených na vedeckú činnosť. Prinášajú však so sebou jednu podstatnú nevýhodu: finančné náklady na ich vybudovanie a prevádzku. Okrem masívneho množstva hardvérových položiek, ktoré treba pravidelne aktualizovať, je potrebné zabezpečiť všetky softvérové položky vrátane zabezpečenia.



Obrázok 17: Automatizované úložisko s magnetickými páskami v CERNE [38]

4.3 Bezpečnosť a riziká používania dátových gridov

Dátové gridy vo všeobecnosti podliehajú rovnakým bezpečnostným predpisom ako výpočtové gridy. Cieľom zabezpečenia dátových gridov je povoliť prístup k súborom

údajov len kompetentným osobám a zamedziť úniku citlivých dát, čo sa javí ako hlavné bezpečnostné riziko. Na dosiahnutie tohto cieľa sa využívajú rozličné bezpečnostné protokoly, ako sú napríklad procesy uvedené v kapitole 3.7, a to autentifikácia a autorizácia. Okrem týchto procesov je dôležité spomenúť aj šifrovanie dát. To môže byť do prostredia gridu implementované rôznymi spôsobmi. Vo všeobecnosti sa využíva hlavne takzvané *koncové šifrovanie* alebo *E2EE* (z angličtiny „end-to-end encryption“) fungujúce na princípe zašifrovania dát počas ich celého životného cyklu. Inými slovami, dáta sú zašifrované tak v úložisku, ako aj počas transferu medzi jednotlivými servermi a databázami [39].

5 POSKYTOVATELIA CLOUDOVÝCH SLUŽIEB

Komerčný trh s cloudovými službami zažíva v posledných rokoch obrovský rozmach. Pôvodný zámer cloud computingu, ktorým bolo poskytovanie nevyužitého úložného priestoru datacenter veľkých spoločností, sa postupne doplnilo o nespočetné množstvo ďalších služieb, ako sú napríklad simulovanie vlastných robotov prostredníctvom služby RoboMaker alebo analyzovanie fotiek a obrázkov prostredníctvom služby Rekognition. Okrem nárastu poskytovaných služieb však výrazne narástol aj počet poskytovateľov. Cloudové a gridové služby sú ponúkané rozličnými organizáciami, od malých spoločností s niekoľkými zamestnancami až po nadnárodných gigantov, akými sú Amazon, Google, Microsoft, Oracle alebo IBM.

Zákazník má v dnešnej dobe na výber zo širokej palety cloudových služieb, pričom niektoré z nich sú ponúkané rozličnými poskytovateľmi. Ako príklad môžeme uviesť jednu z komerčne najvyužívanejších služieb: službu cloudového úložiska. Tú poskytuje väčšina cloudových spoločností a väčšinou funguje na báze predplatného na určenú časovú dobu. Niektoré spoločnosti však ponúkajú určitú veľkosť cloudového úložného priestoru aj bez dodatočných poplatkov. Napríklad americký Google ponúka zadarmo až 15 gigabajtov úložného priestoru prostredníctvom cloudovej služby Google Disk, pričom jedinou požiadavkou je registrácia a overenie požadovaných osobných údajov. Podobné je to aj v prípade spoločnosti Microsoft, ktorá pri splnení podobných požiadaviek takto ponúka 5 gigabajtov cloudového úložiska služby OneDrive.

Poskytovatelia ponúkajú jednotlivé cloudové služby v rozličných balíčkoch, a to tak pre jednotlivcov, ako aj pre spoločnosti. Tarify služieb závisia od veľkosti balíčka, pričom vo väčšine prípadov je možné, aby si zákazník odoberanú službu kedykoľvek preškaloval podľa potreby.

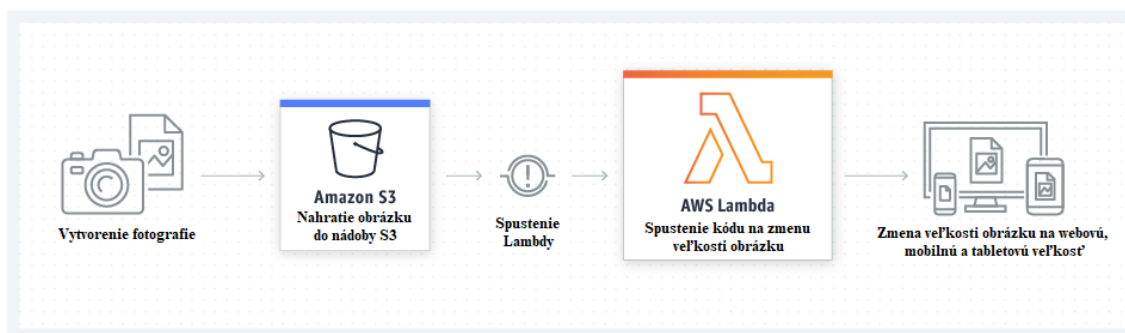
5.1 Amazon

Americká spoločnosť Amazon sa stala prvou spoločnosťou, ktorá začala poskytovať zákazníkom nevyužité miesto svojich datacenter a tým položila základy cloud computingu, ako ho poznáme dnes. Spoločnosť však postupne rozširovala svoje ponúkané portfólio a stala sa najväčším poskytovateľom cloudových a gridových služieb na svete.

Divízia Amazonu zabezpečujúca cloudové služby sa v skratke nazýva AWS (z angličtiny „Amazon Web Services“). Táto divízia odštartovala v roku 2006 s tromi základnými produktami. Boli nimi úložiskové, výpočtové a komunikačné balíky. K dnešnému dňu AWS ponúka viac ako 200 služieb, pričom je pomerne mátauce, že veľa z nich sa javí ako „rovnaká“ služba. Niektoré služby sú menej populárne a určené na špecifické využitie, ako napríklad služba Braket, ktorá je určená na testovanie nových algoritmov na kvantových počítačoch. Okrem toho však AWS ponúka aj veľa

oblíbených služieb rozšírených medzi používateľmi po celom svete. Medzi tieto služby patria napríklad:

- *EC2*. Celým názvom Elastic Compute Cloud. Služba ponúka virtuálny výpočtový hardvér v prostredí AWS Cloudu. EC2 umožňuje používateľovi prenájom akéhokoľvek počtu virtuálnych serverov a konfiguráciu zabezpečenia a úložiska. Ako je zjavné, najväčšou výhodou tejto služby je možnosť takmer neobmedzeného škálovania podľa aktuálnej potreby používateľa [40]. V prípade prechodu na túto službu má zákazník niekoľko možností platby; napríklad platbu na požiadanie, keď zákazník platí len za čas, konkrétne sekundy, resp. hodiny, kedy jednotlivé inštancie služby využíva. Ďalšou z možností sú takzvané plány sporenia. Ide o model, ktorý ponúka nízke flexibilné ceny výmenou za záväznosť používania služieb EC2 na 1 alebo 3 roky [41].
- *Lambda*. Výpočtová služba AWS Lambda umožňuje používateľom spustiť kód bez poskytovania alebo spravovania serverov. Kód je spúšťaný na vysoko dostupnej výpočtovej infraštruktúre, pričom služba Lambda vykonáva všetku správu výpočtových zdrojov, a to vrátane údržby servera a operačného systému, poskytovania kapacity, automatického škálovania, protokolovania a monitorovania kódu. Lambdu je možné spustiť pre takmer akýkoľvek typ aplikácie, avšak len v podporovanom jazyku. Tými sú napríklad Node.js, Python alebo Java [42]. Cena tejto služby závisí od architektúry procesoru (x86 alebo Arm), trvania služby a počtu požiadaviek. Trvanie závisí od množstva pamäte, ktorá je pridelená funkcii, pričom používateľ môže funkcii prideliť pamäť v rozmedzí od 128 po 10 240 megabajtov [43].



Obrázok 18: Príklad fungovania služby AWS Lambda [44]

- *S3*. Celým názvom Simple Storage Service. Táto služba bola jednou zo základných služieb pri štarte AWS v roku 2006. Služba ponúka rozhranie, ktoré je možné použiť na ukladanie a získavanie akéhokoľvek objemu dát, a to kedykoľvek a odkiaľkoľvek prostredníctvom webu. S3 funguje na princípe dátových objektov, pričom každý z nich môže obsahovať dáta vo veľkosti od 1 bajtu až po 5 gigabajtov a po vytvorení mu je vývojárom pridelený jedinečný kľúč. Počet vytvorených objektov je pritom neobmedzený. Objekty môžu byť vytvárané

súkromne alebo verejne a sú prístupné na základe práv priradených tvorcom objektu. Objekty sú organizované v takzvaných „nádobách“, pričom každá nádoba má jedného majiteľa, ktorým je jeden AWS účet. Služba S3 je navrhnutá tak, aby bola spoľahlivá, rýchla, lacná a jednoduchá, preto sa stala jednou z najvyužívanejších cloudových služieb na svete [2]. S3 funguje na báze predplatného, pričom platba prebieha každý mesiac. Ceny sa odvíjajú od zvoleného balíčka, regiónu a počtu uložených gigabajtov – ako udáva nasledujúca tabuľka 2 pre zvolený región – Európa (Frankfurt).

Tabuľka 2: Cenové tarify S3 – Európa (Frankfurt) [45]

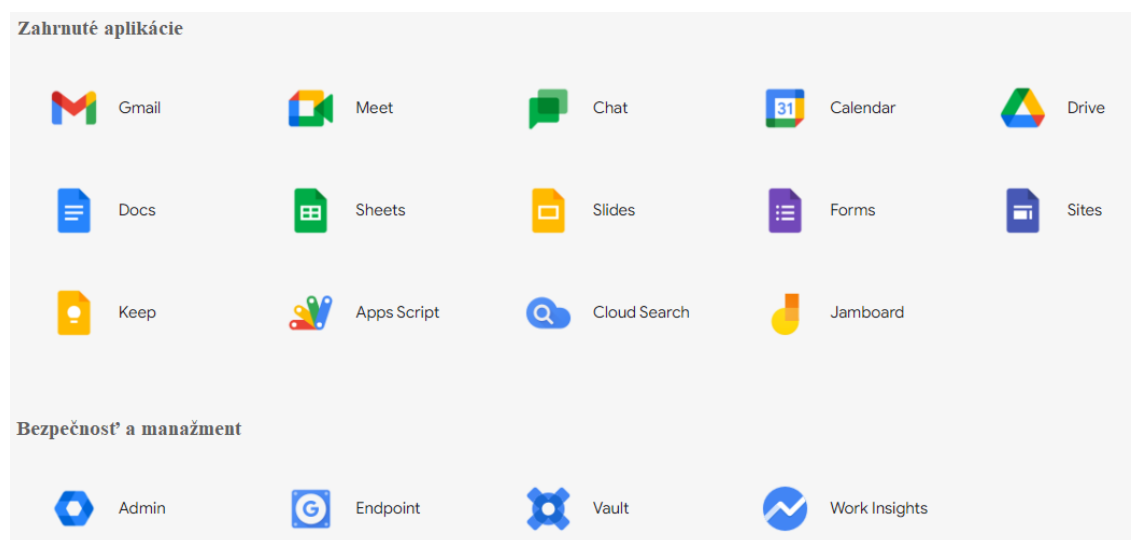
Balíček	Popis balíčka	Cena	
Standard	Univerzálne úložisko pre akýkoľvek typ údajov	Prvých 50 TB / Mesiac Ďalších 450 TB / Mesiac Nad 500 TB / Mesiac	0,023 € za GB 0,022 € za GB 0,021 € za GB
Intelligent – Tiering	Automatické šetrenie nákladov na dátach s neznámymi alebo meniacimi sa prístupovými vzormi	Častý prístup: Prvých 50 TB / Mesiac Ďalších 450 TB / Mesiac Nad 500 TB / Mesiac Zriedkavý prístup: Celé úložisko / Mesiac Doplnkové služby: Okamžitá archivácia / Mesiac Monitorovanie / Mesiac	0,023 € za GB 0,022 € za GB 0,021 € za GB 0,013 € za GB 0,0047 € za GB 0,0024 € za 1000 objektov
Intelligent – Tiering	Voliteľné úrovne asynchrónneho prístupu k archívu	Okamžitá archivácia / Mesiac Hlboký prístup k archívu / Mesiac	0,0038 € za GB 0,0017 € za GB
Standard – Infrequent Access	Pre zriedkavo prístupné dlhodobé dáta s okamžitým získaním v priebehu milisekúnd	Celé úložisko / Mesiac	0,013 € za GB
One Zone – Infrequent Access	Pre zriedkavo prístupné obnoviteľné dáta s okamžitým získaním v priebehu milisekúnd	Celé úložisko / Mesiac	0,01 € za GB
Glacier Instant Retrieval	Pre dlhodobé archívne údaje prístupné raz štvrťročne s okamžitým získaním v priebehu milisekúnd	Celé úložisko / Mesiac	0,0047 € za GB
Glacier Flexible Retrieval	Pre dlhodobé zálohovanie a archívy s možnosťou obnovy od 1 minúty do 12 hodín	Celé úložisko / Mesiac	0,0038 € za GB
Glacier Deep Archive	Pre dlhodobú archiváciu dát prístupnú raz alebo dvakrát ročne s možnosťou obnovy do 12 hodín	Celé úložisko / Mesiac	0,0017 € za GB

5.2 Google

Americká spoločnosť Google sa radí medzi najväčších hráčov na cloudovom trhu. V ich portfóliu sa nachádza obrovské množstvo cloudových služieb, a to od obľúbenej osobnej emailovej schránky Gmail až po služby, akou je Text-to-Speech [46], ktorá slúži na prevádzanie textu do podoby prirodzene znejúcej reči za pomoci metód umelej inteligencie.

Jedny z najobľúbenejších osobných cloudových služieb sú takzvané Google Apps, kde patrí napríklad:

- *Gmail*. Schránka slúžiaca primárne na prijímanie, ukladanie a odosielanie emailových správ. Po vytvorení a aktivácii účtu je používateľovi pridelená emailová adresa v tvare meno@gmail.com. Služba Gmail však umožňuje pre rozličné organizácie aj vytvorenie vlastnej emailovej adresy. Napríklad emailová adresa študentov a zamestnancov univerzity Vysoké učení technické v Brně má tvar VUTčíslo@vutbr.cz.
- *Google Kalendár*. Aplikácia slúžiaca na zdieľanie eventov, rozličných pripomenutí a akcií medzi používateľov nachádzajúcich sa v zdieľanom prostredí kalendára.
- *Google Meet*. Aplikácia určená na organizovanie a spravovanie videomítingov.
- *Google Dokumenty*. Aplikácia umožňujúca prácu s dokumentami, ich úpravu a ukladanie prostredníctvom zdieľaného prostredia.
- *Google disk*. Aplikácia slúžiaca ako cloudové úložisko s možnosťou zdieľania prístupu k jednotlivým súborom.



Obrázok 19: Google Apps [47]

Ku každému vytvorenému účtu je automaticky pridelené cloudové úložisko s kapacitou 15 gigabajtov, ktoré je bez dodatočných poplatkov. Túto kapacitu je v prípade potreby možné navýšiť, no už za určitú cenu podľa zodpovedajúceho balíčka, pričom

platby fungujú na báze predplatného. Do tohto úložiska spadajú všetky súbory nachádzajúce sa v Google Apps (napríklad archivované emaily z Gmailu alebo súbory z Google Disku). Táto služba nesie názov *Google One*. Jednotlivé tarify služby Google One sú zobrazené v tabuľke 3.

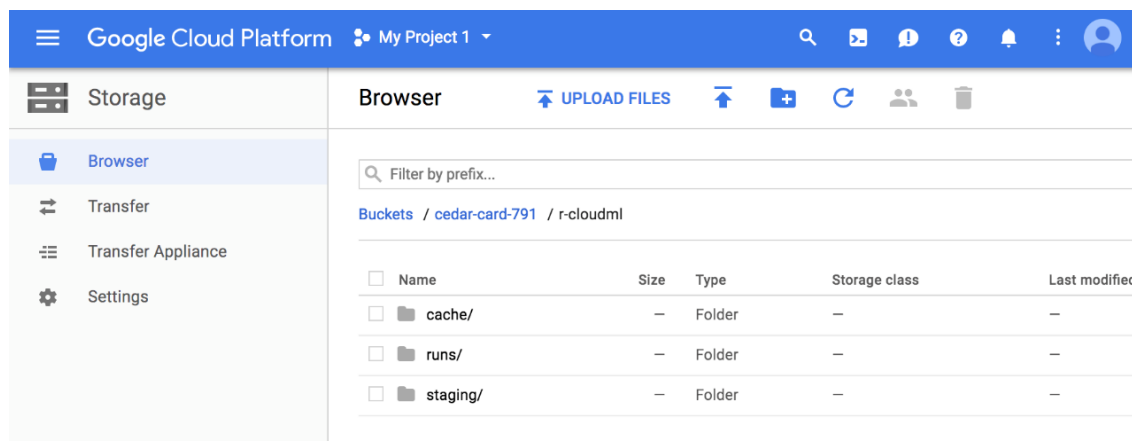
Tabuľka 3: Cenové tarify Google One [48]

Kapacita úložiska	Mesačná tarifa	Ročná tarifa
100 GB	1,99 € / Mesiac	19,99 € / Rok
200 GB	2,99 € / Mesiac	29,99 € / Rok
2 TB	9,99 € / Mesiac	99,99 € / Rok
5 TB	24,99 € / Mesiac	249,99 € / Rok
10 TB	49,99 € / Mesiac	-
20 TB	99,99 € / Mesiac	-
30 TB	149,99 € / Mesiac	-

Okrem Google Apps navyše spoločnosť Google ponúka viac ako 100 cloudových služieb, a to prostredníctvom platformy *Google Cloud*. Táto platforma zahŕňa produkty určené na výpočtovú činnosť, metódy umelej inteligencie a strojového učenia, dátovú analýzu, médiá a hračku sféru, nástroje zabezpečenia, úložisko a mnoho ďalších. Medzi najpoužívanjšie Google Cloud služby patria:

- *Compute Engine*. Výpočtová služba slúžiaca na tvorbu a chod virtuálnych strojov v infraštruktúre Googlu. Používateľské prostredie tejto služby ponúka niekoľko kľúčových výhod, ktorými sú napríklad šifrovanie citlivých dát alebo automatická optimalizácia využitia zdrojov. Služba taktiež ponúka používateľovi rozličné typy virtuálnych strojov, pričom niektoré sú priamo preddefinované pre rýchlejší a pohodlnejší výber. Jednotlivé typy virtuálnych strojov ponúkajú rozličné výhody a sú určené pre rôznych používateľov. Stroje pre škálovateľné pracovné zaťaženie ponúkajú najlepší pomer ceny a výkonu, pričom podporujú maximálne 60 virtuálnych CPU a 4 gigabajty pamäte na jeden virtuálny stroj. Stroje na bežné pracovné zaťaženie ponúkajú taktiež dobrý pomer ceny a výkonu a oproti predošlému typu podporujú až 224 virtuálnych CPU a 896 gigabajtov pamäte na jeden výpočtový stroj. Pamäťovo optimalizované stroje ponúkajú najväčšiu konfiguráciu pamäte, a to až do 12 terabajtov. Stroje optimalizované pre výpočty ponúkajú najväčší výkon na jedno jadro a sú určené hlavne na riešenie problémov vyžadujúce vysoký výpočtový výkon. Na podobný účel sú určené aj stroje optimalizované na akceleráciu. Tie sú založené na najnovšej grafickej architektúre od spoločnosti nVidia [49]. Ceny sú stanovené podľa typu virtuálnych strojov, ktoré používateľ využíva, pričom je možné platiť len za dobu používania alebo pri niektorých vysokovýkonných strojoch je možnosť viazanosti na 1 alebo 3 roky s výrazne výhodnejšou cenou prenájmu. Ceny sa taktiež odvíjajú od zvoleného regiónu [50].

- *Cloud Storage*. Cloudové úložisko určené primárne pre spoločnosti. Podobne ako v prípade služby S3 od spoločnosti Amazon, Cloud Storage ukladá dáta v jednotlivých objektoch a tie sú následne zhromažďované v nádobách. Medzi jeho kľúčové vlastnosti patrí možnosť replikácie dát medzi regiónmi, a to do 15 minút, alebo manažment životného cyklu objektov. Ten je definovaný pre konkrétnu nádobu, pričom pomocou neho sú definované pravidlá aplikované na aktuálne aj budúce objekty. Príkladom takýchto pravidiel je odstraňovanie objektov vytvorených pred určitým dátumom alebo ponechanie len niekoľkých najaktuálnejších verzií daného objektu [51]. Zákazník si môže vybrať zo 4 typov úložiska podľa požadovaného pracovného zaťaženia. Prvým typom je štandardné úložisko. To je najvýhodnejšie v prípade, keď chce mať používateľ pravidelný prístup k dátam, ktoré nevyžadujú dlhé časové „uskladnenie“. Ďalším typom je takzvané nearline úložisko ponúkajúce vysokú odolnosť a nízke ceny pre dáta s nepravidelným prístupom, pričom minimálna doba uskladnenia dát je 30 dní. Coldline úložisko ponúka ešte nižšie ceny ako nearline a je lepšou možnosťou v prípade, ak nie je problémom nižšia dostupnosť dát. Minimálna doba uskladnenia dát je 90 dní. Posledným typom je archivačné úložisko slúžiace na archiváciu, online backup a obnovu po havárii s minimálnou dobou uskladnenia dát 365 dní. Tento typ úložiska ponúka najnižšiu cenu, avšak taktiež aj najmenšiu dátovú dostupnosť. Ceny sa okrem typu úložiska odvíjajú aj od zvoleného regiónu, pričom fungujú na princípe mesačnej platby za 1 gigabajt uskladnených dát [52].



Obrázok 20: Rozhranie Cloud Storage [53]

5.3 Microsoft

Americký gigant Microsoft ponúka svojim zákazníkom niekoľko cloudových služieb, od balíčkov Microsoft 365 alebo Office 365 určených pre jednotlivcov alebo spoločnosti až po divíziu Microsoft Azure zastrešujúcu profesionálne služby cloud computingu.

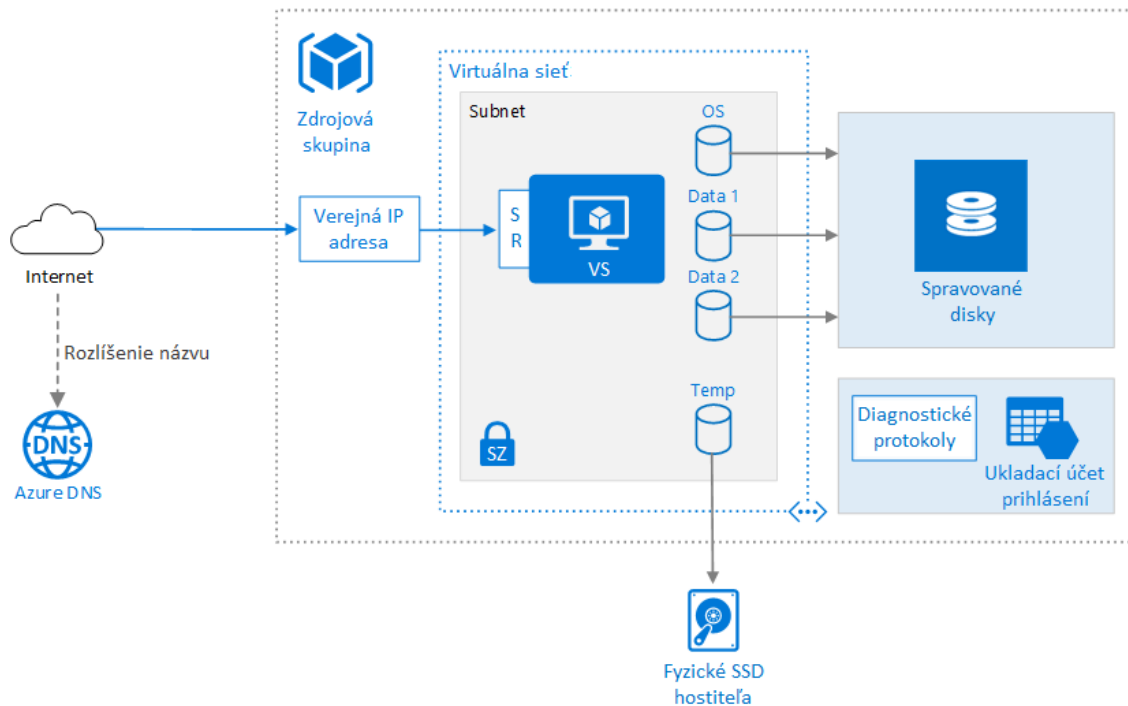
Microsoft 365 ponúka zákazníkovi balík obľúbených aplikácií Office 365, medzi ktoré patrí textový editor Microsoft Word, nástroj na tvorbu prezentácií Microsoft Powerpoint, nástroj na tvorbu tabuľkových hárkov a správu údajov Microsoft Excel, komunikačný nástroj Microsoft Teams, emailová schránka Outlook, osobné cloudové úložisko OneDrive a ďalšie. Používateľ si môže vybrať zo 4 rôznych plánov Microsoft 365:

- *Plán pre jednotlivca a rodiny.* Tento plán ponúka všetky vyššie uvedené aplikácie spolu s jedným terabajtom cloudového úložného priestoru v službe OneDrive pre každého používateľa. Počet používateľov sa môže pohybovať v rozmedzí od 1 do 6, pričom čím väčší počet používateľov, tým je produkt finančne výhodnejší. Platby za tento balíček fungujú na báze mesačného predplatného alebo ročného predplatného za zvýhodnenú cenu [54].
- *Plán biznis.* Plán určený pre menšie spoločnosti a podniky, ktorý ponúka viacero konfigurácií od základných – len so spomenutými základnými službami Microsoft 365 – až po prémiové, ktoré zahŕňajú profesionálne nástroje a zabezpečenie. Pri výbere tohto plánu platí podnik mesačne určitú sumu za každého používateľa konkrétneho balíčka [55].
- *Plán podnik.* Plán určený výhradne pre spoločnosti. Na rozdiel od *plánu biznis* tento plán ponúka viacero profesionálnych nástrojov na spracovanie pracovných úloh, analýzu dát a taktiež rozšírené možnosti zabezpečenia, ako sú protokoly overenia identity alebo rozšírená ochrana informácií [55].
- *Plán vzdelanie.* Tento plán je určený pre univerzity a ich študentov a ponúka širokú škálu možností zostavenia jednotlivých balíčkov služieb podľa potreby danej univerzity [56]. Microsoft navyše umožňuje študentom počas štúdia na univerzite prístup k základnému balíčku Office 365. Jedinou podmienkou je overenie identity pomocou univerzitnej emailovej adresy na webových stránkach Microsoftu (<https://www.microsoft.com/en-us/education/products/office>).



Obrázok 21: Základné aplikácie Microsoft 365 [57]

Profesionálne služby cloud computingu zastrešuje v Microsofte divízia Microsoft Azure. Tá ponúka viac ako 200 rozličných služieb, od prenájmu virtuálnych strojov až po rozsiahle cloudové úložiská. Služby sú určené pre rozsiahle množstvo priemyselných a vedeckých odvetví, ako sú napríklad zdravotníctvo, finančníctvo alebo výroba. Nasledujúci obrázok 22 zobrazuje princíp fungovania virtuálnych strojov na platforme Azure.



Obrázok 22: Princíp fungovania virtuálnych strojov na platforme Azure [58]

Jednotlivé súčasti služby Azure Virtual Machines sú:

- *Zdrojová skupina*. Logická nádoba, v ktorej sa nachádzajú všetky príslušné zdroje Azure. Vo všeobecnosti zoskupuje zdroje na základe ich životnosti a toho, kto ich bude spravovať [58].
- *Virtuálny stroj (VS)*. Azure ponúka rozsiahle portfólio virtuálnych strojov. Tie si môže používateľ nakombinovať podľa požadovaného pracovného zaťaženia z hľadiska výpočtového výkonu, pamäte a operácií vstupu/výstupu disku za sekundu [58].
- *Disky*. OS disk je virtuálny pevný disk uložený v úložisku Azure, takže pretrváva, aj keď je hostiteľský počítač vypnutý. Dátové disky sú pretrvávajúce virtuálne disky slúžiace ako úložisko aplikácií. Dočasný disk (Temp) je disk vytvorený vo fyzickom disku hostiteľa. Jeho obsah nie je uložený v úložisku Azure, takže počas reštartov a iných eventov môžu byť údaje z tohto disku odstránené [58].
- *Sieť*. Každý virtuálny stroj je nasadený do virtuálnej siete, ktorá môže byť rozdelená na niekoľko podsietí (subnets). Sieťové rozhranie (SR) umožňuje komunikáciu medzi virtuálnym strojom a virtuálnou sieťou. Na komunikáciu

s virtuálnym strojom je taktiež potrebná verejná IP adresa. Sieťové zabezpečenie povoľuje alebo zamietá prevádzku virtuálnych strojov, pričom môže byť napojené priamo na podsieť alebo na jednotlivé inštancie virtuálneho stroja [58].

Platba za túto službu prebieha podobne ako v prípade Google Compute Engine. Používateľ môže využiť možnosť platby len za čas, keď túto službu využíva, alebo môže využiť niektorý z balíčkov s časovou viazanosťou.

Ďalšími službami, ktoré divízia Microsoft Azure poskytuje, sú napríklad:

- *Azure DevOps*. Služby poskytujúce nástroje na vývoj, hodnotenie a nasadenie aplikácií. DevOps umožňuje spoluprácu medzi rôznymi tímami, ktorá zahŕňa plánovanie, monitorovanie a možnosti komunikácie [59].
- *Azure Active Directory*. Služba slúžiaca ako platforma na univerzálne spravovanie identity a jej ochranu. Ide o službu poskytujúcu viacfaktorovú autentifikáciu, ako aj jednotné prihlásenie na ochranu používateľov voči väčšine kybernetických hrozieb [59].
- *Azure Backup*. Nástroj na ochranu údajov proti ransomvéru (druhu škodlivého softvéru, ktorý po úspešnom útoku vyžaduje od majiteľa infikovaného zariadenia zaplatenie výkupného [60]) a chybám zapríčineným ľudským pričinením. Ide o lacné zálohovacie riešenie vyžadujúce iba jedno kliknutie. Službu je možné použiť aj na zálohovanie virtuálnych strojov Azure [59].
- *Azure Site Recovery*. Služba ponúkajúca vstavané riešenie na obnovu po havárii s funkciami pre flexibilitu a jednoduchosť [59].

6 ZÁVER

Cieľom bakalárskej práce bolo vytvoriť rešerš problematiky cloudov a gridov, popísať ich využitie v praxi, výhody, nevýhody a prípadné bezpečnostné obmedzenia a riziká, ktoré so sebou prinášajú.

Úvodná kapitola práce popisuje technológie cloud computingu. Sú tu rozobrané jednotlivé komponenty cloudov, konkrétne ide o klient, datacentrum, distribuované servery a klastre. V ďalšej časti práce je popísaná infraštruktúra cloudov a s ňou priamo súvisiaci proces virtualizácie, deliaci sa na úplnú virtualizáciu a paravirtualizáciu – podľa počtu systémov, ktoré dokážu súčasne fungovať na jednom hardvérovom zariadení. Následne je čitateľ oboznámený s distribučnými modelmi a modelmi nasadenia cloud computingu. Základným konceptom distribúcie je takzvaný model „ako služba“. Ten sa v závislosti od poskytovanej služby delí na softvér ako službu, infraštruktúru ako službu a platformu ako službu, pričom sme sa na tieto jednotlivé modely „ako služba“ v práci pozreli bližšie. Modely nasadenia sú vo všeobecnosti rozdelené na verejný, súkromný, hybridný a komunitný cloud. Ďalšia časť popisuje výhody a nevýhody cloudových služieb. Medzi najväčšie výhody môžeme zaradiť prístupnosť služieb a ich škálovateľnosť, naopak za najväčšiu nevýhodu môžeme považovať obavy o súkromie a bezpečnosť, ktoré sú čitateľovi priblížené v poslednej časti úvodnej kapitoly.

Nasledujúce kapitoly sa venujú technológiám grid computingu. V úvode tretej kapitoly sú popísané výpočtové gridy a dôvody na ich budovanie. Následne sú definované jednotlivé vrstvy architektúry gridov a charakterizované rozličné výpočtové systémy, z ktorých sa v práci zameriavame hlavne na paralelný a distribuovaný výpočtový systém. Hneď nato sú priblížené metódy na toleranciu chýb výpočtových gridov, pričom osobitná časť je venovaná metóde checkpointingu. V ďalšej časti je čitateľ oboznámený s plánovaním a distribučnou stratégiou v gridovom prostredí a s praktickými aplikáciami demonštrovanými na konkrétnych príkladoch, ktorými sú CERN Worldwide LHC Computing Grid, NorduGrid a World Community Grid. Posledná časť tretej kapitoly pojednáva o bezpečnostných protokoloch a rizikách grid computingu.

Štvrtá kapitola sa venuje dátovým gridom. Sú tu chronologicky definované dôležité pojmy ako úložisko alebo metadáta. Následne je priblížená technika replikácie ako jedna z metód tolerancie chýb. V poslednej časti tejto kapitoly sú uvedené niektoré výhody a nevýhody dátových gridov a taktiež ich bezpečnostné predpisy.

Posledná kapitola približuje situáciu na cloudovom komerčnom trhu a sú tu popísané niektoré služby dodávané obrovskými cloudovými gigantmi, ktorých reprezentujú Amazon, Microsoft a Google.

7 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] HURWITZ, Judith, Robin BLOOR, Marcia KAUFMAN a Fern HALPER. *Cloud Computing For Dummies*. Indianapolis: Wiley Publishing, c2010. ISBN 978-0-470-48470-8.
- [2] VELTE, Anthony T., Toby J. VELTE a Robert C. ELSENPETER. *Cloud computing: a practical approach*. New York: McGraw-Hill, c2010. ISBN 978-0-07-162694-1.
- [3] Lukašík, P.: Využití paralelních výpočtů a technologie Gridu pro rozsáhlé vědeckotechnické výpočty. Disertační práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2016.
- [4] Xiaomi Mi TV Stick EU. *Xiaomi.cz* [online]. c2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.xiaomi.cz/xiaomi-mi-tv-stick-eu/>
- [5] What is a virtual server?. *Google Cloud* [online]. 2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/learn/what-is-a-virtual-server>
- [6] LÓPEZ, Pedro a Elvira BAYDAL. On a course on computer cluster configuration and administration. *Journal of parallel and distributed computing* [online]. Elsevier, 2017, **105**, 127-137 [cit. 2022-03-15]. ISSN 0743-7315. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2017.01.009>
- [7] MCMAHON, Mary. What Is a Computer Cluster?. In: *EasyTechJunkie* [online]. Conjecture Corporation, c2003-2022 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.easytechjunkie.com/what-is-a-computer-cluster.htm>
- [8] VENNAM, Sai. Cloud computing. *IBM* [online]. 2020 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/cz-en/cloud/learn/cloud-computing>
- [9] CRM 101: What is CRM?. *Salesforce* [online]. c2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.salesforce.com/crm/what-is-crm/>
- [10] BUYYA, Rajkumar, Christian VECCHIOLA a S. SELVI. *Mastering Cloud Computing: Foundations and Applications Programming*. Waltham: Elsevier, c2013. ISBN 978-0-12-411454-8.
- [11] Advantages and disadvantages of IaaS. *HiTechNectar* [online]. [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://www.hitechnectar.com/blogs/advantages-disadvantages-of-iaas-explained/>
- [12] What are the Pros and Cons of IaaS?. *Avatara* [online]. c2021 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://avatacloud.com/what-are-the-pros-and-cons-of-iaas/>
- [13] Public Cloud vs Private Cloud vs Hybrid Cloud: What Is the Difference. In: *Alibaba Cloud* [online]. Alibaba Cloud, c2009-2022, 18 Marec 2021 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: https://www.alibabacloud.com/blog/public-cloud-vs-private-cloud-vs-hybrid-cloud-what-is-the-difference_597486
- [14] Co je veřejný cloud?. *Microsoft Azure* [online]. c2022 [cit. 2022-03-14]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-a-public-cloud/>

- [15] AVRAM, M.G. Advantages and Challenges of Adopting Cloud Computing from an Enterprise Perspective. *Procedia technology* [online]. Elsevier, 2014, **12**, 529-534 [cit. 2022-03-15]. ISSN 2212-0173. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.525>
- [16] What is ERP and why do you need it?. *Microsoft Dynamics 365* [online]. c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://dynamics.microsoft.com/cs-cz/erp/what-is-erp/>
- [17] ALANI, Mohammed M. *Elements of Cloud Computing Security*. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN 3319414100.
- [18] Denial-of-service attack. *Wikipedia* [online]. 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Denial-of-service_attack
- [19] FOSTER, Ian. The Grid: A New Infrastructure for 21st Century Science. *Physics today* [online]. New York: American Institute of Physics, 2002, **55**(2), 42-47 [cit. 2022-04-09]. ISSN 0031-9228. Dostupné z: <https://doi:10.1063/1.1461327>
- [20] FOSTER, Ian, Carl KESSELMAN a Steven TUECKE. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. *The international journal of high performance computing applications* [online]. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2001, **15**(3), 200-222 [cit. 2022-04-09]. ISSN 1094-3420. Dostupné z: <https://doi:10.1177/109434200101500302>
- [21] STANOEVSKA-SLABEVA, Katarina, Thomas WOZNIAC a Santi RISTOL, ed. *Grid and Cloud Computing: A Business Perspective on Technology and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2010. ISBN 978-3-642-05192-0.
- [22] IAN, Foster a Kesselman CARL, ed. *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*. 2nd ed. San Francisco: Elsevier, c2004. ISBN 1-55860-933-4.
- [23] KUMAR MISHRA, Manoj, Yashwant SINGH PATEL, Yajnaseni ROUT a G.B. MUND. A Survey on Scheduling Heuristics in Grid Computing Environment. *International journal of modern education and computer science* [online]. Hong Kong: Modern Education and Computer Science Press, 2014, **6**(10), 57-83 [cit. 2022-04-10]. ISSN 2075-0161. Dostupné z: <https://doi:10.5815/ijmecs.2014.10.08>
- [24] *OpenMP* [online]. OpenMP, c2019 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.openmp.org/>
- [25] *Open MPI: Open Source High Performance Computing* [online]. The Open MPI Project, c2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.open-mpi.org/>
- [26] CUDA Zone. *NVIDIA Developer* [online]. NVIDIA Corporation, c2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>
- [27] Správa dávkových úloh. *IBM* [online]. IBM Corporation, c2014 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/docs/cs/i/7.2?topic=jobs-manage-batch>
- [28] KOO, Richard a Sam TOUEGT. *Checkpointing and Rollback-Recovery for Distributed Systems: Department of Computer Science*. New York: Cornell University Ithaca, 1986.
- [29] *CERN: The Worldwide LHC Computing Grid (WLCG)* [online]. c2022 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://home.cern/science/computing/grid>

- [30] *NorduGrid: The NorduGrid Collaboration* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://www.nordugrid.org/about.html>
- [31] Grid Monitoring. *NorduGrid* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <http://www.nordugrid.org/monitor/loadmon.php?display=vo=Slovakia>
- [32] About us. *World Comunnity Grid* [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.worldcommunitygrid.org/about/about>
- [33] WCG in numbers - platforms, volunteers and teams. *World Comunnity Grid* [online]. [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.worldcommunitygrid.org/news/0406>
- [34] CHAKRABARTI, Anirban. *Grid Computing Security*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. ISBN 9783540444923. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-44493-0
- [35] VENUGOPAL, Srikumar, Rajkumar BUYYA a Kotagiri RAMAMOHANARAO. A taxonomy of Data Grids for distributed data sharing, management, and processing. *ACM computing surveys* [online]. NEW YORK: ACM, 2006, **38**(1), 3-es [cit. 2022-05-03]. ISSN 0360-0300. Dostupné z: <https://doi:10.1145/1132952.1132955>
- [36] SALMAN, Abdul Moiz, P. SAILAJA, G. VENKATASWAMY a Pal SUPRIYA. *Database Replication:: A Survey of Open Source and Commercial Tools* [online]. 2010, 8 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://doi:10.5120/1788-2469>
- [37] Storage. *CERN Accelerating science* [online]. CERN, c2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://home.cern/science/computing/storage>
- [38] An automated magnetic tape vault at CERN computer center. *CERN Document Server* [online]. CERN: CERN, c2008-2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://cds.cern.ch/record/1138232>
- [39] What is End-to-End Encryption?. *Thales* [online]. Thales, c2022 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://cpl.thalesgroup.com/faq/encryption/what-end-end-encryption>
- [40] What is Amazon EC2?. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/concepts.html>
- [41] Amazon EC2 pricing. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/ec2/pricing/>
- [42] What is AWS Lambda?. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://docs.aws.amazon.com/lambda/latest/dg/welcome.html>
- [43] AWS Lambda Pricing. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/lambda/pricing/>
- [44] AWS Lambda. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/lambda/>
- [45] Amazon S3 pricing. *AWS* [online]. Amazon Web Services, c2022 [cit. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://aws.amazon.com/s3/pricing/>
- [46] Text-to-Speech. *Google Cloud* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/text-to-speech>

- [47] Do your best work, all in one place. *Google Workspace* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://workspace.google.com/features/>
- [48] Zlepšite si tarifu na takú, ktorá vám bude vyhovovať. *Google One* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://one.google.com/about/plans?hl=sk>
- [49] Compute Engine. *Google Cloud* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/compute>
- [50] Compute Engine pricing. *Google Cloud* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/compute/all-pricing>
- [51] Object Lifecycle Management. *Google Cloud* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/storage/docs/lifecycle>
- [52] Storage classes. *Google Cloud* [online]. Google, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cloud.google.com/storage/docs/storage-classes>
- [53] *Google Cloud Storage* [online]. [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://cloud.r-project.org/web/packages/cloudml/vignettes/storage.html>
- [54] Overené riešenia pre váš rušný život. *Microsoft* [online]. Microsoft, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/sk-sk/microsoft-365/buy/compare-all-microsoft-365-products>
- [55] Transformujte svoj podnik so službou Microsoft 365. *Microsoft* [online]. Microsoft, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/sk-sk/microsoft-365/compare-microsoft-365-enterprise-plans>
- [56] Microsoft 365 Education for Schools. *Microsoft* [online]. Microsoft, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/education/products/microsoft-365>
- [57] Six Awesome Microsoft 365 Features for Your Business. *P1 Technology* [online]. P1 Technology, c2022 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://www.p1technology.com.au/our-news/six-awesome-microsoft-365-features-for-your-business-117s113>
- [58] Run a Windows VM on Azure. *Microsoft: Docs* [online]. Microsoft, c2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/architecture/reference-architectures/n-tier/windows-vm>
- [59] List of Top 10 Most Popular Azure Services. *Rlogical Techsoft Pvt. Ltd.* [online]. India: Rlogical Techsoft Pvt., c2010-2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.rlogical.com/blog/list-of-top-10-most-popular-azure-services/>
- [60] Ransomware. *Eset* [online]. ESET, c1992 – 2022 [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: <https://www.eset.com/sk/ransomware/>

8 ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Fungovanie cloud computingu.....	17
Obrázok 2: Xiaomi Mi TV Stick [4].....	18
Obrázok 3: Počítačový klaster [7]	19
Obrázok 4: Model úplnej virtualizácie	20
Obrázok 5: Model paravirtualizácie	20
Obrázok 6: Rozdiel medzi verejným, súkromným a hybridným cloudom [13].....	26
Obrázok 7: Anatomia DDoS útoku [18].....	32
Obrázok 8: Zjednodušená schéma virtuálnej organizácie	35
Obrázok 9: Gridová architektúra [20].....	36
Obrázok 10: Schéma architektúry middleware [23].....	38
Obrázok 11: Topológia systémov pre paralelné a distribuované výpočty [3]	38
Obrázok 12: Princíp nezávislého checkpointingu [28].....	41
Obrázok 13: WLCG [29]	44
Obrázok 14: Monitorovací nástroj NorduGrid [31].....	45
Obrázok 15: WCG – CPU roky v závislosti od používateľskej platformy [33].....	45
Obrázok 16: Pohľad na dátový grid [35]	50
Obrázok 17: Automatizované úložisko s magnetickými páskami v CERNE [38].....	52
Obrázok 18: Príklad fungovania služby AWS Lambda [44].....	56
Obrázok 19: Google Apps [47].....	58
Obrázok 20: Rozhranie Cloud Storage [53]	60
Obrázok 21: Základné aplikácie Microsoft 365 [57].....	61
Obrázok 22: Princíp fungovania virtuálnych strojov na platforme Azure [58].....	62

8.2 Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Spravovanie položiek v jednotlivých distribučných modeloch [8].....	21
Tabuľka 2: Cenové tarify S3 – Európa (Frankfurt) [45].....	57
Tabuľka 3: Cenové tarify Google One [48].....	59