



PROJEKT

Multitenantné operačné centrum kybernetickej bezpečnosti riešené
ako otvorená cloudová služba s prvkami strojového učenia

Previazané s balíkom KPB6 – Publikačné výstupy



Secure and effective cloud infrastructure

Ivana Bridova
Faculty of Management Science
and Informatics
University of Zilina
Zilina, Slovakia
ivana.bridova@fri.uniza.sk

Lubica Zidekova
Faculty of Management Science
and Informatics
University of Zilina
Zilina, Slovakia
lubica.zidekova@fri.uniza.sk

Marek Moravcik
Faculty of Management Science
and Informatics
University of Zilina
Zilina, Slovakia
marek.moravcik@fri.uniza.sk

Jana Uramova
Faculty of Management Science
and Informatics
University of Zilina
Zilina, Slovakia
jana.uramova@fri.uniza.sk

Abstract—The paper analyzes cloud service providers in order to determine the most suitable solution for KIS FRI UNIZA (Department of Information Networks, Faculty of Management science and Informatics, University of Žilina in Žilina). The theoretical part models the basic concepts of cloud, SaaS, PaaS and IaaS and compares services from AWS, Azure, Google Cloud, Alibaba Cloud and Open Telekom Cloud. The practical part brings a business analysis of the current use of the cloud for KIS, focusing on performance, security and administration. Based on the results, a provider is proposed that best meets the requirements. The findings include a comparison of costs, compliance with security standards and integration with existing systems. The work ends with specific recommendations.

Index Terms—Remote access, Virtual laboratory, Academic education,

I. INTRODUCTION

In an era of increasing digitalization, cloud computing (CC) is influencing the fundamental structures of research and education. Institutions around the world are integrating CC as both a tool and a subject of teaching. Approximately 60% of the members of KIS FRI UNIZA (Department of Information Networks, Faculty of Management and Informatics, University of Žilina in Žilina) use CC in teaching, influencing seven subjects in the ASI and IaST programs through the IaaS model.

The departmental cloud was created in 2014 as a response to the limitations of older tools (VirtualBox, XenServer), which were not sufficient for teaching needs. In an effort to improve conditions for students and research, OpenStack was deployed, which brought scalability and efficiency. Since then, the cloud infrastructure has been continuously developed and is also supported through final theses, which contribute to its further improvement [1].

The aim of the work is: to perform a comprehensive business analysis of the current use of CC KIS services at KIS FRI UNIZA and, based on this analysis, to propose an external cloud provider that best meets the specified criteria.

This includes evaluating potential providers for their ability to offer a more accessible and versatile platform for both teachers and students, addressing current limitations and supporting future plans for expansion and management automation.

II. THEORETICAL BACKGROUND

Cloud computing (CC) provides a wide range of computing services over the Internet, including servers, storage, networks, and software. It allows companies to access these resources without the need for their own infrastructure, saving costs and simplifying management. CC operates as an on-demand service, where the user only pays for the resources actually used.

A. Model of cloud services

The cloud can interact with a user or application in a variety of ways. Each service model offers a certain level of abstraction that simplifies the development of systems and software.

- **SaaS (Software as a Service)** - allows customers to use applications from the supplier that run on the cloud.
- **PaaS (Platform as a Service)** - It allows users to develop applications using available tools and languages without managing the infrastructure. They only control the application itself and some of the environment configuration.
- **IaaS (Infrastructure as a Service)** - It provides a virtual data center with access to computing resources, storage, and networking. The user can install their own operating system, databases, and run any software [2].

B. Types of deployment models

The deployment model determines how cloud services are delivered and managed. We distinguish four main types based on resource availability and target user group.

- **Public cloud** - The provider owns and manages the infrastructure located in data centers and offers scalable

services over the Internet. The public cloud is popular for web applications, data storage, and software development due to its low cost and ease of deployment [3].

- **Private cloud** - A private (internal) cloud belongs to a single organization and is centrally managed. It provides a high level of control, security, and customization, making it ideal for businesses with strict data management and infrastructure requirements [2].
- **Hybrid cloud** - A hybrid cloud combines public and private clouds and allows for flexible data movement between them. It is suitable for organizations that want to combine the security benefits of a private cloud with the scalability and efficiency of a public cloud [4].
- **Community cloud** - A community cloud provides services to a group of organizations with common interests, security requirements, and policies. It can be hosted internally or externally and is used to collaborate on shared projects and goals [5].

C. Overview of cloud service providers

In the rapidly evolving CC environment, choosing the right cloud provider is crucial to exploiting the full potential of cloud services. For the purposes of this work, providers were selected based on their market share and the features they offer to educational and research institutions. These are: Amazon AWS, Microsoft Azure, Google Cloud, Alibaba Cloud and Open Telekom Cloud.

III. RELATED WORKS

Many authors compare cloud service providers in their works, whose services they subsequently use for educational or research purposes. Cloud services are used by the following providers: Amazon AWS [6], Microsoft Azure [7], Google Cloud [8], Alibaba Cloud [9], [10] and Open Telekom Cloud [11].

The higher education environment has brought many challenges and opportunities that have arisen as a result of the restrictions of the COVID 19 pandemic. With the need for distance learning arising, this area has become the subject of research by many researchers [12], [13], [14].

Many learning materials are available online [15], [16]. And despite the increasing quality of simulators, simulation is not the same as interacting with real devices [1].

IV. ANALÝZA SÚČASNÉHO STAVU

Katedra informačných sietí (KIS) Fakulty riadenia a informatiky Žilinskej univerzity v Žiline poskytuje vzdelávanie a výskum v oblasti informačných a komunikačných sietí s osobitným zameraním na počítačové komunikačné siete a ich bezpečnosť. So 14 zamestnancami, 6 doktorandmi a viac ako 260 študentmi zohráva KIS kľúčovú úlohu pri rozširovaní vedomostí a inovácií v oblasti sieťových technológií. Šesť učiteľov aktívne začleňuje CC KIS do svojej výučby, pričom využíva najmodernejšiu cloudovú infraštruktúru katedry. Cloudová implementácia podporuje tri modely nasadenia IaaS, vie poskytnúť buď priamo prístupné

virtuálne stroje, alebo privátnu sieť pozostávajúcu z niekoľkých virtuálnych strojov prístupných cez kontrolér a privátnu sieť pozostávajúcu z niekoľkých virtuálnych strojov prístupných cez virtuálny firewall pfSense. V rámci vzdelávacieho procesu sú služby KIS využívané v predmetoch:

- Integrácia informačno-komunikačných systémov v inžinierskom programe ASI.
- Projektovanie sietí 1, Projektovanie sietí 2 v inžinierskom programe ASI.
- Sieťové operačné systémy v inžinierskom programe ASI.
- Počítačové siete 3 v bakalárskom programe IaST.
- Riešenie bezpečnostných incidentov v bakalárskom programe IaST.

A. Identifikácia zainteresovaných strán

Pochopenie kľúčových zainteresovaných strán zapojených do CC na KIS FRI UNIZA je nevyhnutné pre biznis analýzu. Tieto zainteresované strany zohrávajú rôzne úlohy pri efektívnom využívaní a správe cloudových služieb.

- **Zamestnanci KIS FRI UNIZA** - Primárni používatelia cloudovej infraštruktúry sú učители a zamestnanci. Ich zapojenie do cloudovej platformy zaisťuje poskytovanie najnovších a inovatívnych vzdelávacích metód, čím sa zlepšuje kvalita vyučovania aj vzdelávania.
- **Študenti** - Koncoví používatelia využívajú cloud na vyučovanie, projekty a výskum. Získavajú prístup k nástrojom a zdrojom, ktoré podporujú flexibilné a inovatívne vzdelávanie nezávislé od miesta.
- **Správcovia IT** - IT administrátori zodpovedajú za správu a údržbu cloudovej infraštruktúry. Zabezpečujú spoľahlivosť systému, technické integrácie, riešenie problémov, bezpečnosť a optimalizáciu výkonu.
- **Vedúci katedry** - Vedúci oddelenia zabezpečuje, aby cloudová infraštruktúra podporovala strategické vzdelávacie ciele, dohliada na integráciu do výučby, rozpočtové rozhodnutia a implementáciu nových technológií.

B. Technická špecifikácia

- **Riadenie CC** - Riadiaci uzol v dátovom centre spravuje cloudovú infraštruktúru. Koordinuje sieťové operácie, pridelovanie zdrojov, monitoruje výkon, zabezpečuje prístup a škálovateľnosť, čím zaisťuje efektívne fungovanie systému. Technické špecifikácie uzlov riadenia sú uvedené v tabuľke č. 1.
- **Výpočtové jednotky** Výpočtový uzol slúži na spúšťanie virtuálnych strojov a spracovanie úloh. Zodpovedá za ich výkon, správu životného cyklu a efektívne pridelovanie zdrojov. Technické špecifikácie výpočtových uzlov sú podrobne uvedené v tabuľke č. 2.
- **Softvérové vybavenie** Softvérové komponenty uľahčujú správu a nasadenie virtuálnych strojov pomocou intuitívnych rozhraní a automatizácie. Znižujú zložitosť a umožňujú efektívnu, škálovateľnú správu cloudu.

TABLE I
RIADIACE JEDNOTKY

Počet	Názov	Procesor	Počet jadier	Operačná pamäť	Úložisko
1	Cisco UCS C220M3	2xXeon E5-2667v2	2*8 (16)	128 GB	300GB + 2x256GB SSD + 600GB
2	Cisco UCS C220M3	2xXeon E5-2630v2	2*6 (12)	128 GB	300GB + 2x600GB

TABLE II
VÝPOČTOVÉ JEDNOTKY

Počet	Názov	Procesor	Počet jadier	Operačná pamäť	Úložisko
4x	IBMX3650 M5	2x Xeon E5-2699v3	18*2 (36)	512 GB	300GB + 4x1,2TB
2x	Lenovo x3650 M5	2x Xeon E5-2680v4	14*2 (28)	512 GB	300GB + 4x1,2TB
2x	HP DL380G9	2x Xeon E5-2650v3	10*2 (20)	256 GB	300GB + 1,8TB + 2TB SSD
1x	HP DL380G9	2x Xeon E5-2620v4	8*2 (16)	256 GB	300GB + 1,8TB + 2TB SSD
1x	Dell R720	2x Xeon E5-2665	8*2 (16)	384 GB	300GB + 1,8TB + 2TB SSD
1x	IBM x3650 M3	2x Xeon x5650	6*2 (12)	256 GB	300GB + 1,8TB + 2TB SSD

Webové rozhranie Horizon je webové rozhranie Open-Stacku, ktoré umožňuje jednoduchú správu virtuálnych strojov, sietí a úložísk cez prehliadač. Uľahčuje prácu správcovi aj používateľom bez potreby príkazového riadka.

OpenStack je kľúčová platforma na správu cloudovej infraštruktúry na KIS FRI UNIZA. Poskytuje služby pre výpočty, úložisko a sieť a vďaka modulárnej architektúre ponúka flexibilitu, škálovateľnosť a integráciu komponentov ako Nova, Swift či Neutron.

MAAS (Metal as a Service) zjednodušuje správu fyzických serverov tým, že ich automaticky premieňa na cloudové inštancie. Umožňuje rýchle nasadenie a správu veľkých klastrov, čím šetrí čas a znižuje náročnosť údržby [17].

Juju je nástroj na orchestráciu, ktorý zjednodušuje nasadenie a správu aplikácií v cloude. Pomocou charms umožňuje automatizovať celý životný cyklus aplikácií, vrátane škálovania a integrácie, čím zvyšuje efektivitu a agilnosť správy [18].

V. HODNOTENIE CLOUDOVÝCH POSKYTOVATEĽOV

Analýzu cenových modelov bola urobená pomocou cenových kalkulačiek každého poskytovateľa cloudu a technických špecifikácií CC KIS čím boli odhadnuté cenové náklady u každého poskytovateľa cloudových služieb pre jednotlivé vyučované predmety.

A. Celkové náklady CC služieb

Pri hodnotení nákladovej efektívnosti cloudových služieb boli zohľadnené celkové náklady na nonstop prevádzku pre poskytované predmety počas zimného a letného semestra. V zimnom semestri boli analyzované predmety Počítačové siete 3, Riešenie bezpečnostných incidentov a Sieťové operačné systémy. Počas letného semestra to boli predmety Projektovanie sietí 1, Projektovanie sietí 2 a Integrácia informačno-komunikačných systémov. Výsledky analýzy na celý rok sú uvedené v tabuľke č. III.

Z analýzy vyplýva, že Google Cloud a Alibaba Cloud ponúkajú nákladovo najefektívnejšie riešenia pre KIS FRI UNIZA. Alibaba Cloud má najnižšie celkové náklady na celý akademický rok aj na oba semestre, čo ho robí najvýhodnejšou voľbou z hľadiska ceny.

TABLE III
CENY VYPOČÍTANÉ PRE OBDIVA SEMESTRE

Poskytovateľ	Cena (Eur)
Amazon AWS	63378,21
Microsoft Azure	69874,05
Google Cloud	46005,50
Alibaba Cloud	41062,61
Open Telecom Cloud	57916,12

B. Porovnanie konfigurácií

V táto časť sa zameriava na porovnanie cien jednotlivých konfigurácií u vybraných poskytovateľov cloudových služieb. Poskytovatelia ponúkajú rôzne ceny pre konfigurácie s 2 CPU a 4 GB RAM, 4 CPU a 16 GB RAM, 8 CPU a 32 GB RAM, a 16 CPU a 128 GB RAM. Tabuľka č. IV.) poskytuje podrobné porovnanie týchto konfigurácií medzi poskytovateľmi Alibaba Cloud, Google Cloud, Microsoft Azure, Amazon AWS a Open Telekom Cloud.

Výber cenového modelu a poskytovateľa výrazne ovplyvňuje celkové náklady na cloudové služby. Zatiaľ čo model priebežného platenia ponúka flexibilitu a je vhodný pre variabilné pracovné zaťaženie, rezervované inštancie poskytujú úsporu nákladov pre stabilné a dlhodobé používanie. Z porovnávacej analýzy vyplýva, že Alibaba Cloud a Google Cloud ponúkajú pre dané konfigurácie cenovo najefektívnejšie riešenia.

C. Počet zón dostupnosti

Poskytovatelia cloudu využívajú koncepty regiónov a zón dostupnosti na štruktúrovanie svojej globálnej infraštruktúry. Táto rozsiahla sieť umožňuje redundanciu údajov, odolnosť voči chybám a pripojenia s nízkou latenciou. Obrázok nižšie znázorňuje porovnanie počtu regiónov a zón dostupnosti (tabuľka V.)

D. Bezpečnostné opatrenia

Pri výbere poskytovateľa cloudových služieb je dôležité zohľadniť bezpečnostné opatrenia, ktoré zabezpečia ochranu citlivých údajov a dodržiavanie globálnych bezpečnostných

TABLE IV
POROVNANIE KONFIGURÁCIÍ

Poskytovateľ	2cpu 4 GB RAM	4 cpu 16 GB RAM	8 cpu 32 GB RAM	16 cpu 128 GB RAM
Alibaba Cloud	51,36 EUR	132,49 EUR	256,08 EUR	578,12 EUR
Google Cloud	63,17 Eur	141,55 EUR	282,28 EUR	701,84 EUR
Microsoft Azure	36,20 Eur	144,68 EUR	289,36 EUR	900,39 EUR0
Amazon AWS	37,31 Eur	149,20 EUR	357,48 EUR	944,71 EUR
Open Telecom Cloud	79,25 Eur	167,25 EUR	333,84 EUR	971,10 EUR

TABLE V
ZÓNY DOSTUPNOSTI

Poskytovateľ	Regiony	
Microsoft Azure	60	160
Google Cloud	40	121
Amazon AWS	330	105
Alibaba Cloud	30	89
Open Telecom Cloud	3	9

štandardov. Každý poskytovateľ ponúka rôzne úrovne zabezpečenia, čo môže významne ovplyvniť dôveru a spoľahlivosť ich služieb. Porovnanie bezpečnostných štandardov poskytovateľov cloudových služieb udáva obrazok 1.

	SOC 1, SOC 2, SOC 3	FISMA, DIACAP a FedRAMP	PCI DSS	ISO 9001, ISO 27001, ISO 27017, ISO 27018
Amazon AWS				
Microsoft Azure		iba FedRAMP		
Google Cloud		iba FedRAMP		iba ISO 9001
Alibaba cloud				
Open Telekom Cloud				iba ISO 9001

Fig. 1. Porovnanie bezpečnostných štandardov

Z obrázku vyplýva, že u poskytovateľov je rôzna úroveň bezpečnosti. Amazon AWS je lídrom v oblasti bezpečnosti, keďže je v súlade so všetkými vybranými normami ako sú SOC 1, SOC 2, SOC 3, FISMA, DIACAP, FedRAMP, PCI DSS, ISO 9001, ISO 27001, ISO 27017 a ISO 27018. Microsoft Azure a Google Cloud tiež poskytujú silnú úroveň bezpečnosti s certifikáciami SOC 1, SOC 2, SOC 3, PCI DSS, ISO 9001, ISO 27001, ISO 27017 a ISO 27018, avšak nespĺňajú normy FISMA a DIACAP. Alibaba Cloud ponúka solídnu bezpečnosť, no chýbajú mu certifikácie podľa FedRAMP, FISMA a DIACAP. Open Telekom Cloud má najobmedzenejšiu škálu certifikácií, keďže je v súlade iba s normou ISO 9001 a SOC 1, SOC 2, SOC 3. Celkovo AWS poskytuje najkomplexnejšiu bezpečnostnú ochranu, Azure a Google Cloud ponúkajú robustné bezpečnostné opatrenia, Alibaba Cloud má primerané zabezpečenie s niektorými obmedzeniami a Open Telekom Cloud zaostáva za ostatnými poskytovateľmi v súlade s globálnymi bezpečnostnými štandardmi.

E. Kompatibilita so systémami používanými na KIS FRI UNIZA

Kompatibilita cloudových služieb so systémami používanými na KIS FRI UNIZA je kľúčovým faktorom pri výbere vhodného poskytovateľa. Pre efektívne vzdelávanie je dôležité, aby cloudové platformy podporovali širokú škálu softvéru a služieb, ktoré sú nevyhnutné pre rôzne kurzy a projekty.

VI. VYHODNOTENIE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKOV

Hodnotenie poskytovateľov cloudových služieb na základe nákladovej efektívnosti, zón dostupnosti, bezpečnostných opatrení a kompatibility s predmetmi vyučovanými na KIS FRI UNIZA. V tabuľke č. VI za každú kategóriu najlepší poskytovateľ získal 4 body, druhý najlepší dostal o bod menej atď. a najhorší získal 0 bodov.

Z našej analýzy vyplýva, že Google Cloud je najlepšou celkovou voľbou vďaka svojej rovnováhe medzi nákladmi, dostupnosťou, bezpečnosťou a kompatibilitou, pričom Microsoft Azure a Amazon AWS sú tiež silnými konkurentmi v závislosti od konkrétnych priorít, ako sú zóny dostupnosti, bezpečnostné opatrenia a počtu vymožeností.

VII. DISCUSION AND CONCLUSION

Na základe výsledkov z analýzy poskytovateľov cloudových služieb musí rozhodovať KIS FRI UNIZA pri výbere najvhodnejšieho poskytovateľa cloudových služieb niekoľko kľúčových faktorov. Hodnotenie sa zameralo na nákladovú efektívnosť, zóny dostupnosti, bezpečnostné opatrenia a kompatibilitu s existujúcimi kurzami na KIS FRI UNIZA.

Nákladová efektívnosť Google Cloud a Alibaba Cloud ponúkajú cenovo najefektívnejšie riešenia, za požadovanú konfiguráciu. Napriek zľave 30 percent Open Telekom Cloud stále cenovo zaostáva za Google Cloud a Alibaba Cloud. Vzhľadom na rozpočtové obmedzenia a potrebu efektívneho riadenia nákladov KIS FRI UNIZA by mala zvážiť týchto dvoch poskytovateľov pre ich nákladové výhody.

Zóny dostupnosti Microsoft Azure vedie v zónach dostupnosti, zaisťuje vysokú redundanciu, odolnosť voči výpadkom a pripojenia s nízkou latenciou so 160 zónami v 60 regiónoch. Google Cloud tiež ponúka robustnú dostupnosť so 121 zónami v 40 regiónoch. Pre aplikácie a služby, ktoré vyžadujú vysokú dostupnosť a nízku latenciu, sú preferovanou voľbou Microsoft Azure a Google Cloud. KIS FRI UNIZA by mala uprednostniť týchto poskytovateľov pre kritické aplikácie vyžadujúce vysokú dostupnosť a geografickú redundanciu.

TABLE VI
BODOVÉ VYHODNOTENIE

Poskytovateľ	Zóny dostupnosti	ceny inšancií	Bezpečnosť	Cena predmetov	Virtualizácia zariadení	Súčet
Amazon AWS	2	1	4	1	4	12
Microsoft Azure	4	2	3	0	3	12
Google Cloud	3	3	2	3	3	14
Alibaba Cloud	1	4	1	4	1	11
Open Telecom Cloud	0	0	0	2	0	2

Bezpečnostné opatrenia Amazon AWS vyniká v bezpečnostných opatreniach, spĺňa najširšiu škálu globálnych bezpečnostných štandardov vrátane SOC 1, SOC 2, SOC 3, FISMA, DIACAP, FedRAMP, PCI DSS, ISO 9001, ISO 27001, ISO 27017 a ISO 27018. Po AWS ponúkajú Microsoft Azure a Alibaba Cloud vysokú úroveň zabezpečenia. Google Cloud si tiež zachováva značné bezpečnostné opatrenia, ale mierne zaostáva v celkových certifikáciách. Pre aplikácie, ktoré pracujú s citlivými údajmi a vyžadujú robustné zabezpečenie, je AWS najlepšou voľbou. KIS FRI UNIZA by mala zvážiť AWS pre služby, ktoré zahŕňajú manipuláciu s citlivými informáciami a vyžadujú prísne bezpečnostné opatrenia.

Kompatibilita s existujúcimi kurzami AWS Marketplace poskytuje rozsiahlu podporu virtualizácie pre zariadenia Cisco, Fortinet, Juniper a MikroTik, vďaka čomu je vysoko všestranný pre potreby KIS FRI UNIZA. Microsoft Azure a Google Cloud tiež ponúkajú podporu pre zariadenia Cisco, Fortinet a Juniper. Alibaba Cloud však zaostáva v podpore Juniper, MikroTik a Open Telekom Cloud nemá marketplace, vyžaduje si vlastné inštalácie. Vzhľadom na rôznorodé potreby virtualizácie zariadení v súčasných predmetoch je AWS najkompatibilnejšou voľbou, po ktorej nasleduje Microsoft Azure a Google Cloud. KIS FRI UNIZA by mala uprednostňovať AWS pre svoje pohodlné možnosti virtualizácie.

Na základe uskutočnenej analýzy vyniká Google Cloud ako najlepšia celková voľba pre KIS FRI UNIZA vďaka vyváženému výkonu vo všetkých hodnotených kritériách, ako sa odráža v tabuľke č. VI. Google Cloud dosiahol najvyššie celkové skóre 14 bodov, vyniká cenovou efektívnosťou, zónami dostupnosti a kompatibilitou s existujúcimi predmetmi vyučovanými na KIS FRI UNIZA. To z neho robí vysoko spoľahlivú a cenovo dostupnú možnosť pre potreby univerzity. Nasleduje Microsoft Azure s 12 bodmi, ponúka najvyšší počet zón dostupnosti, 160 v 60 regiónoch, čo zaisťuje vynikajúcu redundanciu, odolnosť a pripojenie s nízkou latenciou. Vďaka tejto rozsiahlej infraštruktúre je Azure ideálnou voľbou pre aplikácie vyžadujúce vysokú dostupnosť a minimálne prerušenia služieb. Robustné bezpečnostné opatrenia Azure, súlad s mnohými globálnymi bezpečnostnými štandardmi, ďalej zvyšujú jeho vhodnosť na spracovanie citlivých údajov a zabezpečenie ochrany údajov. Amazon AWS s celkovým skóre 12 bodov je ďalším silným poskytovateľom, ktorý je známy najmä svojimi komplexnými bezpečnostnými opatreniami. AWS je v súlade so širokou škálou globálnych bezpečnostných štandardov, čo z neho robí najbezpečnejšiu

možnosť spomedzi hodnotených poskytovateľov. AWS Marketplace vyniká aj v možnostiach virtualizácie, podporuje najširšiu škálu zariadení ako sú Cisco, Fortinet, Juniper a MikroTik, čo je potrebné pre zachovanie kompatibility s predmetmi vyučovanými na KIS FRI UNIZA. Alibaba Cloud, hoci ponúka cenovo najefektívnejšie riešenia, celkovo získal 11 bodov. Poskytuje primeranú odolnosť s 89 zónami dostupnosti v 30 regiónoch a silnými bezpečnostnými opatreniami. Jeho kompatibilita s existujúcimi potrebami virtualizácie je však v porovnaní s AWS, Azure a Google Cloud trochu obmedzená, čo z neho robí menej vhodnú možnosť pre KIS FRI UNIZA. Open Telekom Cloud napriek konkurenčným cenám po zľave z programu OCRE zaostáva s celkovým skóre 2 body. Ponúka najmenší počet zón dostupnosti a obmedzenejšie bezpečnostné opatrenia. Neexistencia riešenia marketplace a závislosť na vlastných inštaláciách pri virtualizácii zariadení tiež predstavujú ďalšie zložitosti. Vzhľadom na rôznorodé potreby KIS FRI UNIZA sa odporúča uprednostniť Google Cloud pre jeho celkovú vyváženosť a silný výkon v kľúčových oblastiach. Microsoft Azure a Amazon AWS by sa však mali zvážiť aj v prípade špecifických prípadov použitia, kde sú potrebné ich konkrétne silné stránky v zónach dostupnosti, bezpečnostného opatrenia a výhod virtualizácie s AWS marketplace. Implementácia multi-cloudovej stratégie by mohla využiť silné stránky každého poskytovateľa, optimalizovať náklady, dostupnosť, bezpečnosť a kompatibilitu pre rôzne aplikácie a služby. Tento prístup zabezpečuje, že KIS FRI UNIZA môže udržiavať robustnú, bezpečnú a nákladovo efektívnu cloudovú infraštruktúru prispôbenú jej vzdelávacím a výskumným aktivitám.

Okrem toho, hoci sa práca primárne zameriavala na vzdelávacie využitie cloudových služieb, je dôležité zvážiť aj potenciálne prínosy pre výskumné aktivity zamestnancov. Výskumné projekty často vyžadujú vysokovýkonné výpočtové zdroje a veľké úložné kapacity, ktoré môžu cloudové služby efektívne zabezpečiť. Tento aspekt, aj keď nebol primárnym predmetom práce, by sa mal zohľadniť pri rezervácii cloudových služieb, aby sa maximalizovala užitočnosť a nákladová efektívnosť zvoleného riešenia. Táto práca úspešne riešila požiadavky na zlepšenie prevádzkových cloudových služieb na KIS FRI UNIZA. Všetky špecifikované úlohy a požiadavky boli splnené a poskytli jasné odporúčania pre výber poskytovateľov cloudových služieb na základe podrobnej analýzy a porovnania. Práca tak vytvára základ pre budúce vylepšenia a integráciu cloudových služieb do vzdelávacích a výskumných aktivít na KIS FRI UNIZA.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is supported by project KEGA 051ŽU-4/2021 "Technologies of private cloud environments in university education" and in part by the Slovak Scientific Grant Agency (VEGA) Grant Agency through the Research of Effective Localization and Communication Solutions in Heterogenous Wireless Networks 1/0580/25. We also thank Peter Benko, who helped create this paper.

REFERENCES

- [1] M. Moravcik, I. Bridova and P. Segec, "Usage of clouds in the education process," 2022 ELEKTRO (ELEKTRO), Krakow, Poland, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ELEKTRO53996.2022.9803575.
- [2] B.H. Patel, "Cloud Computing Deployment Models: A Comparative Study", 3/2021, International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology 9(2), DOI:10.21276/ijircst.2021.9.2.8
- [3] N. Kapavarapu, "The Impact of Cloud Technology and Integration Solutions on Public Sector Regulatory Systems", 1/2025, International Journal of Scientific Research in Computer Science Engineering and Information Technology 11(1):432-441 DOI:10.32628/CSEIT25111242
- [4] S. Gawande, "Hybrid Cloud Architectures: Balancing the Benefits of Public and Private Clouds", October 2024 International Journal of Research in Engineering Technology 9(10):11-14 DOI:10.2139/ssrn.4991717
- [5] T.M.Jinasera, "Blockchain-Based Secure Distributed File Storage for Community Cloud Computing.", Journal of Desk Research Review and Analysis. 1. 121-133. 10.4038/jdr.v1i2.22.
- [6] P. Dubey, A. Tiwari, R. Raja. (2023). Introduction To Cloud Computing and AWS. 10.2174/9789815165821123010002.
- [7] P. Borra. (2024). Comparison and analysis of leading cloud service providers (AWS, AZURE AND GCP). International journal of advanced research in engineering and technology. 15. 266-278. 10.17605/OSF.IO/T2DHW.
- [8] T. Riabukha, T. Hurova, L. Kulykova. (2021). Google cloud service for education in the practice of blended foreign language teaching in higher education. Humanities science current issues. 3. 175-182. 10.24919/2308-4863/39-3-28.
- [9] T. Li. (2022). Management in Management: Utilization of the Digital Key for Alibaba Cloud. BCP Business and Management. 34. 649-656. 10.54691/bcpbm.v34i.3079.
- [10] K. Sharma, N. Patel. (2021). Investigation of Alibaba Cloud Data Set for Resource Management in Cloud Computing. 10.1007/978-3-030-76776-1-15.
- [11] M. Shyshkina. (2024). The Methodology for Using the Cloud-Based Open Science Systems in Higher Education Institutions. 10.1007/978-3-031-51979-6-30.
- [12] K. Kanchan. (2024). "Technology integration in education: online and digital education". In book: National education policy 2020: Transforming Education in India (pp.172-189) Publisher: Redshine Publications DOI: 10.25215/9141001117.
- [13] A. Bayan, M. Alshraideh, I. Aldajani. (2024). Influence for Online Education on Higher Education Institutions Using Netnography. 10.1007/978-3-031-47839-0-11.
- [14] CH. Mohiyeddini. (2024). Cross-Cultural Online Education: Benefits, Challenges, and Solutions. Online Learning In Educational Research (OLER). 4. 157-166. 10.58524/oler.v4i2.456.
- [15] Z. Fan, J. Qian, Z. Wan, CH. Yao. (2024). The Relationship Between Interaction and Student Achievement on Online Education Platforms. Science and Technology of Engineering, Chemistry and Environmental Protection. 1. 10.61173/1n0h5663.
- [16] D. Mu. (2025). Online Physical Education Teaching Resources Integration Method Based on Multi-Objective Optimization Algorithm. International Journal of High Speed Electronics and Systems. 10.1142/S0129156425402785.
- [17] A. Vichare, Z. Gomes, N. Fernandes, F. Cardoza. (2015). Cloud computing using OSCP and virtual machines for dynamic allocation of resources. Proceedings - International Conference on Technologies for Sustainable Development, ICTSD 2015. 10.1109/ICTSD.2015.7095898.
- [18] D. Morais, J.P. de Sousa. (2021). Orchestration of Cloud-Based Services and Infrastructure: An Exploratory Analysis of Juju, Kubernetes, and Terraform.