

MIGRACIJA WEB POSLUŽITELJA IZMEĐU VODEĆIH PLATFORMI RAČUNARSTVA U OBLAKU

Josić, Damir

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Algebra University College / Visoko učilište Algebra**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:225:855210>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-06**



Repository / Repozitorij:

[Algebra University - Repository of Algebra University](#)



VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

ZAVRŠNI RAD

**MIGRACIJA WEB POSLUŽITELJA IZMEĐU
VODEĆIH PLATFORMI RAČUNARSTVA U
OBLAKU**

Damir Josić

Zagreb, veljača 2023.

„Pod punom odgovornošću pismeno potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe materijale navedene u popisu literature, ali nisam kopirao niti jedan njihov dio, osim citata za koje sam naveo autora i izvor, te ih jasno označio znakovima navodnika. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključivo i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovoga rada“.

U Zagrebu, 27.2.2023.

Damir Josić

Predgovor

Ovim putem zahvaljujem se svim profesorima Visokog Učilišta Algebra na prenesenim tehničkim znanjima, a posebno mentoru i profesoru Silviju Papiću na mentorstvu, dijeljenju stručnih i osobnih iskustava i znanja te uloženom trudu. Također, zahvaljujem se svojoj obitelji i zaručnici Sari na pruženoj podršci tijekom studiranja.

Temeljem članka 8. Pravilnika o završnom radu i završnom ispitu na preddiplomskom studiju Visokog učilišta Algebra sačinjena je ova

Potvrda o dodjeli završnog rada

kojom se potvrđuje da student Damir Josić, JMBAG 0321012092, OIB 73452851906 u šk. godini 2021./2022., studij: Primijenjeno računarstvo - Preddiplomski studij, smjer: Systemsko inženjerstvo, od strane povjerenstva za provedbu završnog ispita, dana 23.02.2023. godine, ima odobrenu izradu završnog rada

s temom: **Migracija web poslužitelja između vodećih platformi računarstva u oblaku**

i sažetkom rada: U ovom radu bit će prikazana instalacija te migracija web poslužitelja između raznih pružatelja usluga računarstva u oblaku. Bit će obrađena instalacija web poslužitelja unutar svake od vodećih platformi te migracija istog na druge vodeće platforme. Za postupak migracije bit će korišteni alati pruženi od strane pružatelja usluge računarstva u oblaku, a usporedit će se trajanje migracija, jednostavnost samog postupka, brzina vraćanja poslužitelja u rad nakon migracije te kompatibilnost operativnog sustava u migraciji. Sama odluka za migraciju podataka između platformi računarstva u oblaku može biti financijske prirode, potrebe za implementacijom operativnih sustava koji možda nisu podržani od strane trenutnog pružatelja usluge, veća fleksibilnost ili usklađenost sa standardima industrije u kojoj se poduzeće nalazi (npr. farmaceutska industrija).

Mentor je: Silvio Papić.

Odobrenjem završnog rada studentu je omogućen upis kolegija "Izrada završnog projekta/Praksa" te je sukladno članku 8. Pravilnika o završnom radu i završnom ispitu dužan najkasnije do početka nastave ljetnog semestra u sljedećoj školskoj godini, uspješno obraniti završni rad uspješnim polaganjem završnog ispita.

U protivnom student može zatražiti novog mentora/icu i temu te ponovo upisati kolegij "Izrada završnog projekta/Praksa" budući da rad koji nije predan i obranjen na završnom ispitu u roku određenom Pravilnikom završnom radu i završnom ispitu prestaje vrijediti. Izrada novog završnog rada se izvodi sukladno rokovima određenima za školsku godinu u kojoj je studentu određen novi mentor/ica i dodijeljen novi završni rad.

Potpis studenta:

Potpis mentora:

Potpis predsjednika
povjerenstva:

Ova potvrda izdaje se u 4 (četiri) primjerka od kojih 3 (tri) idu kao prilog završnom radu.

Sažetak

Računarstvo u oblaku sve je popularniji odabir u organizacijama te gotovo 90% velikih organizacija smješta svoje infrastrukture u oblak ili koriste istovremeno više oblaka. Obzirom na brzo razvijanje tehnologija u oblaku i promjene u organizacijama, iste se mogu odlučiti na migraciju svojih poslovanja iz oblaka u oblak. Obzirom na navedeno, u radu je odrađena migracija web poslužitelja baziranih na Linux i Microsoft operativnim sustavima između vodećih platformi računarstva u oblaku.

Proces migracije sastojao se od pripreme, provedbe i analize migracije. Priprema je uključivala kreiranje računala u Microsoft Azure, AWS i GCP oblacima te postavljanje infrastrukture koja se primarno sastoji od dva virtualna računala dostupna putem javnih IP adresa te konfiguriranih web poslužitelja na istima. Nadalje, provedba se sastojala od pripreme izvorišnog i odredišnog oblaka, testne migracije nakon koje je uslijedila provjera funkcionalnosti virtualnog računala i web stranice, a na kraju i završne migracije. Za provedbu migracije korišteni su alati i usluge kreirani od strane pružatelja usluge računarstva u oblaku. Nakon provedenih migracija napravljena je analiza svake te su ustanovljene prednosti, mane, kompleksnost te dostupna dokumentacija za provedbu migracije.

Zaključeno je kako je migracija u AWS oblak financijski najisplativija, kvalitetno dokumentirana, a prilikom iste nije bilo poteškoća s migracijom virtualnih računala. Kod migracije u Microsoft Azure postojale su poteškoće s nekompatibilnosti operativnog sustava Linux, a dokumentacija je kvalitetno razrađena dok je trošak migracije veći od migracije u AWS zbog potrebe za korištenjem Microsoft Windows Server operativnog sustava. S druge strane, iako migracija u GCP nosi manje troškove od migracije u Microsoft Azure, priprema je kompleksnija, a dokumentacija zastarjela, sadrži netočne upute i nesistematizirana što otežava snalaženje i planiranje. Vodeći se najnižim troškovima migracije, kvalitetnom dokumentacijom, jednostavnošću pripreme i kompatibilnošću operativnih sustava s oblakom, zaključeno je da je migracija u AWS prvi izbor od tri navedene vodeće platforme računarstva u oblaku.

Ključne riječi: računarstvo u oblaku, migracija, web poslužitelj.

Abstract

Cloud computing is an increasingly popular choice in organizations, and almost 90% of large organizations place their infrastructures in the cloud or use multiple clouds at the same time. Considering the rapid development of cloud technologies and changes in organizations, they may decide to migrate their businesses from cloud to cloud. In view of the above, the migration of web servers based on Linux and Microsoft operating systems between the leading platforms of cloud computing was performed in the paper.

The migration process consisted of the preparation, implementation and analysis of the migration. The preparation included creating accounts in Microsoft Azure, AWS and GCP clouds and setting up the infrastructure, which primarily consists of two virtual computers accessible through public IP addresses and configured web servers on them. Furthermore, the implementation consisted of the preparation of the source and destination cloud, the test migration, followed by the verification of the functionality of the virtual computer and the website, and the final migration. To implement the migration, tools and services created by cloud computing service providers were used. After the migrations were carried out, an analysis was made of each and the advantages, disadvantages, complexity and available documentation for the implementation of the migration were established.

It was concluded that the migration to the AWS cloud is financially the most profitable, it is well documented, and there were no difficulties with the migration of virtual computers. When migrating to Microsoft Azure, there were problems with the incompatibility of the Linux operating system, and the documentation was well developed, while the cost of the migration is higher than the migration to AWS due to the need to use the Microsoft Windows Server operating system. On the other hand, although the migration to GCP costs less than the migration to Microsoft Azure, the preparation is more complex, and the documentation is outdated, contains incorrect instructions and is not systematized, which makes it difficult to navigate and plan. Based on the lowest migration costs, quality documentation, ease of preparation and compatibility of operating systems with the cloud, it was concluded that migration to AWS is the first choice of the three listed leading cloud computing platforms.

Keywords: cloud computing, migration, web server.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Računarstvo u oblaku	2
2.1. Vrste računarstva u oblaku	2
2.2. Primjena računarstva u oblaku	5
2.3. Vodeće platforme računarstva u oblaku	8
2.4. Izazovi računarstva u oblaku	10
2.5. Migracije između platformi računarstva u oblaku.....	11
2.5.1. Metode migracija.....	12
2.5.2. Problemi i izazovi kod migracija.....	13
3. Metodologija i proces migracije web poslužitelja.....	16
4. Migracija 1: Microsoft Azure i Amazon Web Services	18
4.1. Migracija s Microsoft Azure na AWS okruženje	18
4.2. Migracija s AWS na Microsoft Azure okruženje	22
4.3. Analiza migracije Microsoft Azure i Amazon Web Services	25
5. Migracija 2: Microsoft Azure i Google Cloud Platform	26
5.1. Migracija s Microsoft Azure na GCP okruženje	26
5.2. Migracija s GCP na Microsoft Azure okruženje	29
5.3. Analiza migracije Microsoft Azure i Google Cloud Platform	30
6. Migracija 3: Amazon Web Services i Google Cloud Platform	32
6.1. Migracija s AWS na GCP okruženje.....	32
6.2. Migracija s GCP na AWS okruženje.....	34
6.3. Analiza migracije Amazon Web Services i Google Cloud Platform	35
7. Analiza migracija.....	36
Zaključak	38

Popis kratica	40
Popis slika.....	41
Popis tablica.....	42
Literatura	43

1. Uvod

Cilj ovog rada je omogućiti sistematizirani prikaz procesa migracije web poslužitelja između vodećih platformi računarstva u oblaku. Također, svrha rada je olakšati planiranje migracije poslovanja u vodeće oblake na tržištu, omogućiti da rad služi kao vodič organizacijama i stručnjacima u budućim migracijama između vodećih oblaka. Računarstvo u oblaku jedan je od vodećih trendova u razvoju informacijskih sustava, a mnoge organizacije žele iskoristiti prednosti istog kako bi unaprijedili svoja poslovanja, umanjili troškove i povećali dostupnost svojih usluga. Mnoge organizacije koje svoje poslovanje temelje na oblaku, nailaze na razne izazove i prepreke te se odlučuju na migriranje svojeg poslovanja u drugi oblak. Neki od razloga migriranja infrastrukture ili dijela infrastrukture u drugi oblak mogu biti smanjenje troškova, spajanje tvrtki koje pohranjuju usluge u različitim oblacima, organizacijske promjene ili promjene elemenata oblaka nakon kojih organizacije gube na kvaliteti usluga. Isto tako, potrebe organizacije mogu biti i implementacija operativnih sustava koje ne podržava svaki oblak, što također može biti razlog za migraciju usluge u drugi oblak. U tom procesu poduzeća često nailaze na različite izazove obzirom da su sami procesi migracije vrlo kompleksni i zahtijevaju stručna znanja. U skladu s tim, kreiran je gore navedeni cilj ovog rada, a kroz ostvarivanje cilja i svrhe, u ovom će radu biti dostupan jasan i cjelovit prikaz postupaka migracije web poslužitelja između vodećih platformi računarstva u oblaku i može biti korišten kao svojevrsna uputa organizacijama koja se odlučuju na migraciju u oblak.

2. Računarstvo u oblaku

Računarstvo u oblaku je isporuka računalnih usluga poput poslužitelja, sustava pohrana, baza podataka, platformi za izradu aplikacija i sl. putem Interneta.¹ Organizacije sve više svoje tradicionalne IT infrastrukture zamjenjuju oblakom. Na taj način, organizacije svoj fokus mogu usmjeriti na poslovanje, dok brigu o infrastrukturi prepuštaju pružatelju usluge oblaka.² Prednosti oblaka za poslovanje organizacija nebrojene su. Računarstvo u oblaku pristupačnije je od lokalnih infrastrukture obzirom da je dostupno s bilo koje lokacije u svijetu. Također, računarstvo u oblaku nudi bolju fleksibilnost obzirom da omogućuje proširenje infrastrukture u bilo kojem trenutku ovisno o potrebama poslovanja. Osim navedenih prednosti, računarstvo u oblaku nudi fleksibilne modele plaćanja, poput *Pay as you go* modela koji omogućuje tvrtkama plaćanje samo resursa koje koriste. Uz navedene prednosti, oblak omogućuje brz oporavak od katastrofe i sigurnu pohranu sigurnosnih kopija. Tehnologije u računarstvu u oblaku omogućuju brz i pouzdan oporavak sustava za sve veličine poduzeća.³ U svijetu, preko 60% podataka korporacija smješteno je u oblaku, dok 90% velikih organizacija koriste infrastrukturu u oblaku ili više oblaka.⁴ U sljedećim će poglavljima detaljnije biti opisane vrste računarstva u oblaku, sama primjena te vodeće platforme istog.

2.1. Vrste računarstva u oblaku

Računarstvo u oblaku može se podijeliti ovisno o načinu implementacije i modelu usluga. Načini implementacije u oblaku su: privatni oblak, javni oblak i hibridni oblak. S druge strane, računarstvo u oblaku po modelu usluga dijeli se na IaaS (*Infrastructure as a service*), PaaS (*Platform as a service*) i SaaS (*Software as a service*) model.

Privatni oblak model je računarstva u oblaku u kojem organizacije koriste vlastite računalne resurse kako bi stvorile svoju infrastrukturu u oblaku. Dakle, takvo okruženje konfigurirano je i primjenjivo na jednu okolinu, a najčešće se isto nalazi iza korporativnih vatrozida ili u

¹ <https://azure.microsoft.com/en-in/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing>

² <https://www.setcor.com/blog/evo-sto-je-to-tocno-cloud-i-zasto-je-sigurniji-od-tradicionalnih-rjesenja/>

³ <https://cloud-office.hr/zasto-cloud>

⁴ <https://explodingtopics.com/blog/cloud-computing-stats>

korporativnoj mreži. Takvo okruženje potpuno je izolirano te služi kao potpora jednoj organizaciji. Privatni oblak može biti u vlasništvu organizacije ili se može iznajmiti od pružatelja usluge.⁵

Nadalje, javni oblak karakterizira pružanje pristupa računalnim resursima putem Interneta. Resursi u ovakvom oblaku dostupni su bilo kome tko ih želi koristiti. Najpoznatiji pružatelji usluga ovakve vrste računarstva u oblaku su Microsoft, Amazon te Google. Korisnici ovakvih oblaka plaćaju samo usluge koje odaberu koristiti, a infrastrukturu koja podržava takav oblak vodi pružatelj usluge.⁶ Sukladno tome, javni oblak dostupan je najširoj populaciji te je za korištenje istog potreban samo internetski pristup. Njegova fleksibilnost plaćanja po raznim modelima omogućuje organizacijama kontrolu troškova u pravom vremenu, a obzirom da infrastrukturu vodi pružatelj usluge, organizacije mogu svoje resurse usmjeriti u drugim smjerovima.

Hibridni oblak zapravo je kombinacija privatnog i javnog oblaka. U ovakvom okruženju korisnici mogu, ovisno o potrebama organizacije, prebacivati usluge između privatnog i javnog oblaka. Spajanjem „najboljeg iz oba svijeta“ može se osigurati infrastruktura u kojoj se najbitnije usluge koje zahtijevaju visoku dostupnost smještaju u javni oblak, dok korisnik i dalje osigurava da nijedna treća strana nema pristup podacima koji su smješteni u privatnom oblaku.⁶ Hibridni oblak izrazito je fleksibilno okruženje u kojem organizacije samostalno vode svoje resurse i smještaju ih u javni oblak ili ostavljaju u privatnom oblaku, ovisno o potrebama i željama, a istovremeno mogu osigurati sigurnost podataka smještajući ih u privatni oblak. Javni oblak organizacije mogu koristiti za poslovne aplikacije koje zahtijevaju veću procesorsku moć, a privatni oblak za pohranu osjetljivih podataka.

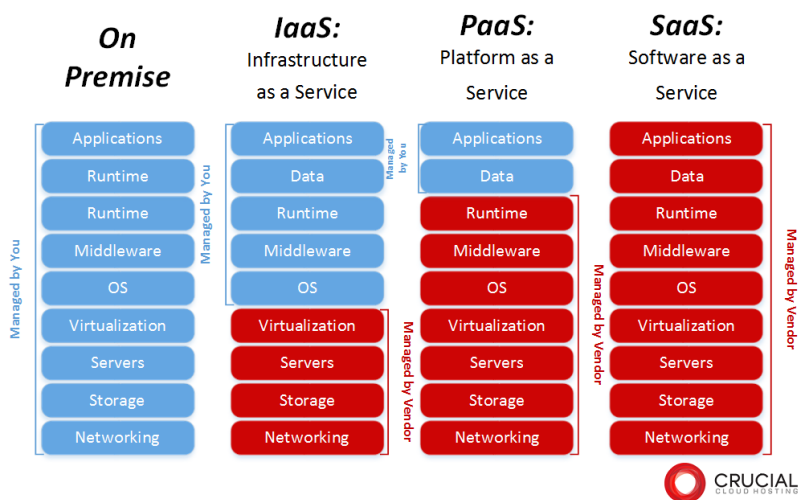
Infrastruktura kao usluga (IaaS) model je usluge u oblaku u kojem je pružatelj usluge odgovoran za mrežne povezivosti, podatkovni sloj, poslužitelje te virtualizaciju. U ovakvom modelu korisnici nemaju odgovornost za infrastrukturu, već je njihova zadaća iskoristiti pruženu infrastrukturu za uspostavljanje aplikacija, operativnih sustava, podatkovnih sustava i sličnih resursa.⁶ Ovaj model usluge omogućuje korisnicima veću kontrolu nad računalnim resursima te ga mnoge organizacije iz tog razloga koriste.

⁵ <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/public-cloud-vs-private-cloud-and-hybrid-cloud>

⁶ <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/>

Platforma kao usluga (PaaS) model je usluge u oblaku u kojem pružatelj usluge osigurava okruženje koje omogućuje korisniku razvijanje i pokretanje aplikacija bez kompleksnosti koju zahtijeva kreiranje i održavanje infrastrukture. U ovakvom modelu korisnicima su osigurani resursi za razvijanje aplikacija baziranih na oblaku.⁶ PaaS model organizacijama donosi spremnu infrastrukturu za razvijanje i testiranje aplikacija. Neke od pogodnosti koje PaaS model omogućuje organizacijama su skalabilnost, alati za razvoj, integracija s drugim uslugama u oblaku te istovremeni pristup platformi za više programera. Organizacije koje koriste PaaS model nemaju trošak postavljanja infrastrukture za razvijanje i testiranje aplikacija te kao takav značajno ubrzava razvijanje i testiranje aplikacija. Neki od primjera PaaS usluga koje nude vodeći pružatelji usluga u oblaku su Azure App Service, Azure SQL Database, AWS Elastic Beanstalk, AWS Lambda te Google App Engine i Google Cloud SQL.

Softver kao usluga (SaaS) model je usluge u oblaku koji omogućuje korisniku pristup aplikacijama u oblaku na osnovi pretplate, putem Interneta. U ovakvom okruženju korisnici ne trebaju preuzimati niti instalirati aplikacije na uređaje, već su aplikacije pohranjene na udaljenoj mreži te im se može izravno pristupiti putem Interneta ili API-ja.⁶ Organizacijama koje koriste SaaS model značajno je olakšano pristupanje aplikacijama. Takav model uklanja potrebu za instalacijom aplikacija na računalo već se aplikacijama pristupa putem Interneta. Također, kako među aplikacijama postoje međuovisnosti koje omogućavaju istima da funkcioniraju, kod SaaS modela ne postoje međuovisnosti o kojima organizacije trebaju voditi računa već je ta odgovornost na pružatelju usluge. Uz to, nadogradnje aplikacija odrađuje pružatelj usluge.



Slika 1 Klasični model IT infrastrukture i IaaS/PaaS/SaaS modeli u oblaku

Svi modeli usluga u oblaku, uključujući klasični model IT infrastrukture prikazani su na Slici 1. Grafički je prikazana razina infrastrukture koja se daje korisniku na korištenje, kao i razina infrastrukture koju u danom modelu, održava pružatelj usluge.

2.2. Primjena računarstva u oblaku

Računarstvo u oblaku sve je konkurentniji odabir u organizacijama zbog mogućnosti uštede troškova, optimalnog korištenja resursa te fleksibilnosti i elastičnosti koju pruža. Organizacije najčešće koriste računarstvo u oblaku za sljedeće primjene:

1. IaaS/PaaS
2. SaaS
3. Hibridni oblak i multioblak
4. Testiranje i razvijanje
5. Analiziranje velike količine podataka
6. Pohrana u oblaku
7. Sigurnosna pohrana i oporavak sustava⁷

IaaS dostavlja računalne resurse, mrežu i resurse za pohranu podataka na zahtjev korisnika, putem Interneta i kroz model *Pay as you go*. Ovaj način omogućuje organizacijama uštedu sa strane nabave i upravljanja IT infrastrukturom. Također, ovaj model računarstva zapravo omogućuje korisnicima skalabilnost jer korisnici mogu upravljati svojim resursima sukladno vlastitim potrebama, što omogućuje smanjenje troškova. Druge prednosti IaaS-a uključuju visoku razinu sigurnosti, pouzdanost te jednostavnost upravljanja infrastrukturom kroz sučelje. PaaS pruža kompletnu platformu za razvijanje, pokretanje i upravljanje aplikacijama. Organizacije se okreću ovom modelu zbog spremne platforme koja omogućuje brže razvijanje aplikacija. U ovom modelu, pružatelj usluge, osim što pruža spremnu platformu za razvijanje i testiranje aplikacija, osigurava i infrastrukturu koja podržava aplikacije. Pružena infrastruktura uključuje sve alate potrebne za razvoj aplikacija, baze podataka i web sučelja.^{7 8}

⁷ <https://www.ibm.com/cloud/blog/top-7-most-common-uses-of-cloud-computing>

⁸ <https://digitalcloud.training/9-common-uses-of-cloud-computing/>

SaaS omogućuje korisnicima korištenje aplikacije putem Interneta, bazirano na modelu pretplate. Organizacije se okreću ovom modelu zbog mnogih prednosti koje on nudi, poput pristupa za koji je potreban samo pristup Internetu. Također, organizacije ne moraju voditi računa o preuzimanju i instalaciji aplikacije na računala.^{7 8} SaaS model odabiru manja i srednja poduzeća bez resursa za uspostavljanje i održavanje infrastrukture, ali i veća poduzeća koja žele uštedu. Isto tako, popularan je izbor kod organizacija koje žele brz i jednostavan pristup aplikacijama.

Hibridni oblak organizacije koriste za spajanje privatnog oblaka s javnim oblakom u jednu fleksibilnu infrastrukturu. Organizacije u ovom modelu mogu analizirati te odlučiti gdje smjestiti resurse organizacije. Privatni oblak najčešće se koristi za poslovne aplikacije koje zahtijevaju veću razinu sigurnosti i kontrolu, dok se javni oblak koristi za manje osjetljive aplikacije i podatke. Ovakav način implementacije omogućuje odabir optimalnog oblaka ovisno o potrebama organizacije, a najčešće ga koriste velike organizacije sa složenim infrastrukturama. Multioblak je zapravo koncept korištenja dva ili više oblaka od različitih pružatelja usluga. Implementacijom multioblaka organizacije mogu povećati razinu sigurnosti. U slučaju kibernetičkih napada ili sličnih sigurnosnih incidenata, moguće je prebaciti podatke i poslovanje u drugi oblak. Osim sigurnosnog aspekta, organizacije mogu iskoristiti prednosti različitih oblaka i time unaprijediti svoje poslovanje. Isto tako, korištenje više oblaka istovremeno povećava pouzdanost i dostupnost infrastrukture. Ukoliko jedan oblak postane nedostupan, organizacija može koristiti drugi oblak za neometan nastavak svojeg poslovanja. Osim navedenog, organizacije koristeći multioblak izbjegavaju „*vendor lock-in*“, situaciju u kojoj ovise isključivo o jednom pružatelju usluge u oblaku.⁷ Iako organizacijama multioblak pruža mnoge prednosti, isto tako predstavlja i izazov u upravljanju.

Računarstvo u oblaku značajno ubrzava proces razvijanja i testiranja aplikacija, a iz tog razloga organizacije prebacuju te procese u oblak. Jednako tako, oblak omogućuje brzo postavljanje infrastrukture za razvijanje i testiranje aplikacija sukladno potrebama organizacije. Usporedbe radi, kod klasičnog okruženja za razvijanje i testiranje aplikacija, potrebno je osigurati i fizičku infrastrukturu, odraditi instalacije i konfiguracije platformi za razvijanje aplikacija. Također, od svih prednosti računarstva u oblaku, bitno je istaknuti kako olakšava DevOps procese, CI/CD (*Continuous integration and continuous delivery*) tokove te tehnologije izvorne oblaku poput mikrousluga, kontejnerizacije ili tehnologije bez

poslužitelja (engl. *serverless*).⁷ Računarstvo u oblaku dakle, donosi mnoge prednosti organizacijama koje se odluče migrirati svoja poslovanja u oblak. Značajno ubrzanje razvijanja i testiranja aplikacija kompatibilnih s oblakom te korištenje tehnologija izvornih oblaku pridonose digitalizaciji poslovanja te omogućuju olakšano kontinuirano razvijanje aplikacija i automatizaciju poslovanja.

Prednosti računarstva u oblaku nebrojene su, a njihova primjena vidljiva je i u gospodarskim sektorima. Organizacije koriste snagu računarstva u oblaku za analiziranje velike količine podataka koje prikupljaju s krajnjih točaka, aplikacija u oblaku i korisnicima koji stupaju u interakciju s istima. Trgovci obrađuju podatke te izvlače informacije o obrascima potrošača i kupaca te ciljaju marketinške kampanje na određene skupine ljudi. To je jedan od načina na koji računarstvo u oblaku omogućuje organizacijama analizu i obradu velike količine podataka.^{7 8} Organizacije na ove načine postižu svoje ciljeve te brže i ekonomičnije posluju u svojim sektorima.

Pohrana u oblaku organizacijama omogućuje visoku dostupnost datoteka, pregled verzija kroz povijest, brz pristup i prijenos te dijeljenje datoteka, skalabilnost i sigurnost. Datotekama se može pristupiti s bilo kojeg uređaja koji ima aktivnu vezu s Internetom. Usluge za pohranu u oblaku omogućuju napredne sigurnosne opcije poput kriptiranja podataka. Korištenjem pohrane u oblaku, organizacije plaćaju samo onoliko koliki kapacitet koriste i uvelike umanjuju troškove koje bi imali kod održavanja vlastitog podatkovnog sustava.^{7 8} Usluge za pohranu u oblaku omogućuju kolaboraciju. Moguće je dijeliti datoteke te konfigurirati dozvole uređivanja za grupe ili pojedine korisnike. Osim navedenog, usluge za pohranu u oblaku omogućuju sigurnosno kopiranje i povratak datoteka te mogu služiti kao repozitorij za sigurnosne kopije.

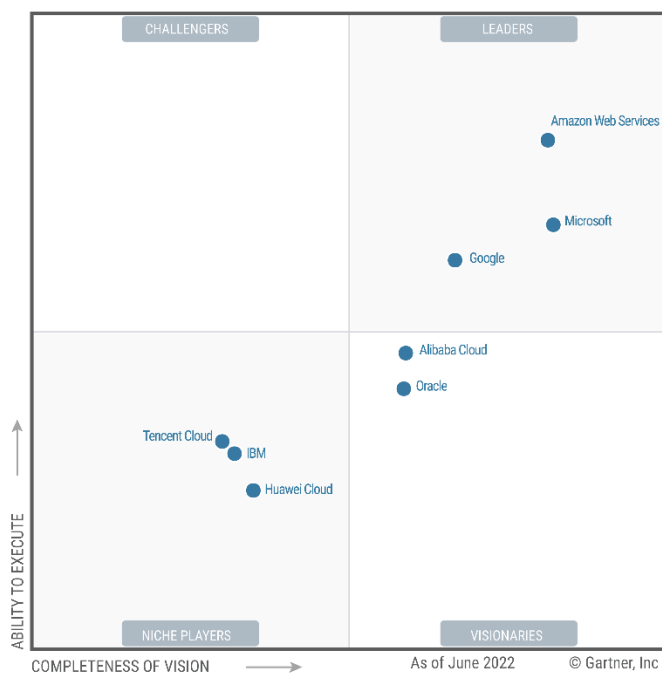
Osim gore navedenih prednosti računarstva u oblaku, a primjenjivih za široku lepezu organizacija i poduzeća, bitan faktor u istima čini sigurnosna pohrana i oporavak sustava. Sigurnosne kopije i brz oporavak sustava iznimno su bitne komponente u sustavima organizacija, a pohrana i osiguravanje kopija u oblaku omogućuju brži oporavak uz manje troškove. U pohrani u oblaku, organizacije mogu kontinuirano replicirati svoje produkcijske okoline te na taj način imati posljednja stanja svojih okolina dostupna za oporavak. U takvom okruženju, organizacije nemaju trošak osiguravanja fizičke okoline za oporavak sustava niti za održavanje podatkovnog sustava. Također, sigurnosna pohrana u oblaku osigurava visoku

razinu skalabilnosti i elastičnosti te se kapaciteti mogu lako proširiti ukoliko je to potreba organizacije.^{7 8}

2.3. Vodeće platforme računarstva u oblaku

Računarstvo u oblaku donijelo je značajan razvoj tržištu IT infrastruktura na globalnoj razini.⁹ Posljednjih par godina, računarstvo u oblaku umnogostručilo je svoj udio u IT infrastrukturama te organizacije u sve većoj mjeri migriraju usluge u oblak. Kako je vidljivo na Slici 2., na Gartnerovom magičnom kvadrantu iz lipnja 2022. godine, Amazon Web Services vodeći je pružatelj usluge računarstva u oblaku, nakon kojeg slijedi Microsoft, a na trećem mjestu nalazi se Google.¹⁰

Figure 1: Magic Quadrant for Cloud Infrastructure and Platform Services



Slika 2 Gartnerov magični kvadrant – Vodeći pružatelji usluga računarstva u oblaku

Amazon Web Services je platforma za računarstvo u oblaku koju nudi tvrtka Amazon. Ova platforma pruža preko 200 računalnih usluga, a prostire se kroz 26 regija i 84 zone dostupnosti. Regije i zone locirane su kroz SAD, Središnju i Južnu Ameriku, Europu, Aziju,

⁹ <https://dgtlinfra.com/top-10-cloud-service-providers-2022/>

¹⁰ <https://www.c-sharpcorner.com/article/top-10-cloud-service-providers/>

Bliski Istok i Afriku.⁹ Također, u Sjedinjenim Američkim Državama nalazi se i AWS GovCloud, izolirana regija AWS oblaka dizajnirana po striktnim regulativama koje postavlja Vlada SAD-a.¹¹ AWS nudi široku paletu usluga poput virtualnih računala, mrežnih usluga, umjetne inteligencije, sustava za pohranu podataka, platformi za razvoj aplikacija i drugih sličnih usluga. Isto tako, platforma nudi i PaaS usluge, a neke od njih su AWS Elastic Beanstalk, AWS Lambda i Amazon Elastic Kubernetes Service.

Microsoft Azure platforma je tvrtke Microsoft i trenutno je druga najpopularnija platforma za računarstvo u oblaku. Infrastruktura za platformu prostire kroz 60 regija u 116 zona dostupnosti. Najveći broj regija distribuiran je kroz Sjedinjene Američke Države, Središnju i Južnu Ameriku, Europu, Aziju te Bliski Istok i Afriku. Microsoft Azure podijeljen je na preko 200 fizičkih podatkovnih centara od kojih svaki ima neovisni izvor struje, hlađenja i mrežnu opremu za sve poslužitelje smještene u njima.⁹ Microsoft Azure nudi velik broj usluga poput virtualnih računala, sustava za pohranu podataka, mrežne usluge, baze podataka, sigurnost, internet stvari, umjetnu inteligenciju i druge usluge. Također, platforma nudi i PaaS usluge Azure App Service, Azure Functions i Azure Kubernetes Service. Navedene usluge organizacijama omogućavaju brzo i kontinuirano razvijanje, testiranje i upravljanje aplikacijama.

Google Cloud Platform treća je najpopularnija platforma računarstva u oblaku, a vlasništvo je Googleove očinske tvrtke Alphabet Inc. Platforma je raspodijeljena kroz 34 regije i 103 zone dostupnosti. Regije i zone pozicionirane su u Ujedinjenim Američkim Državama, Središnjoj i Južnoj Americi, Europi i Aziji.⁹ Google Cloud Platform nudi infrastrukturu kao uslugu kroz usluge poput virtualnih računala, baza podataka, sustavima za pohranu podataka i sličnih usluga. Također, GCP nudi usluge strojnog učenja, analitike i poslovne inteligencije, umjetne inteligencije, razne sigurnosne usluge te još mnogo drugih usluga.

Statistički, Amazon Web Services predvodi tržište infrastruktura u oblaku s 34%. Odmah nakon slijedi Microsoft Azure s 21% udjela u tržištu infrastruktura u oblaku. Treći po redu, slijedi Google Cloud s 11% udjela.¹²

¹¹ <https://www.techtarget.com/searchaws/definition/AWS-GovCloud-Amazon-Web-Services-GovCloud#:~:text=AWS%20GovCloud%20is%20an%20isolated,defined%20by%20the%20U.S.%20Government.>

¹² <https://explodingtopics.com/blog/cloud-computing-stats>

2.4. Izazovi računarstva u oblaku

Računarstvo u oblaku kao revolucionarna tehnologija koja transformira poduzeća i ubrzava digitalnu transformaciju se također susreće s mnogobrojnim izazovima. Mnogi izvori navode razne izazove i probleme s kojima se računarstvo u oblaku susreće, a neki od njih su: Sigurnost i privatnost podataka, manjak ekspertize, upravljanje troškovima, visoka ovisnost o mrežnoj povezivosti, performanse te pouzdanost i dostupnost.¹³

Sigurnost i privatnost podataka jedno su od najvećih briga i izazova organizacijama u okruženjima u oblaku. Izvor problema nalazi se u tom da korisnici moraju preuzeti odgovornost za svoje podatke jer pružatelji usluga računarstva u oblaku ne mogu osigurati stopostotnu privatnost podataka.¹³ Zadatak je korisnika konfigurirati autentifikacije i autorizacije, upravljanje identitetima, osigurati kontrolu pristupa te enkripciju podataka.¹⁴ Ipak, glavne brige oko kibernetičke sigurnosti uključuju kompromitirane vjerodajnice, greške korisnika, hakirane račune i masovne povrede osjetljivih podataka.¹⁵

Manjak ekspertize također je izazov s kojim se susreću organizacije koje pokušavaju zaposliti stručnjake s iskustvom s računarstvom u oblaku. Generalno u industriji, postoji manjak profesionalaca s traženim kvalifikacijama, dok s druge strane, broj alata i tehnologija koje se razvijaju u oblaku samo raste.¹³ Iz tog razloga dolazi do nesrazmjera potrebnih kvalifikacija stručnjaka i zahtjeva na tržištu.

Upravljanje troškovima izazov je s kojim se susreću organizacije koje svoje aplikacije i usluge pohranjuju u oblaku. Iako računarstvo u oblaku može biti povoljniji odabir od klasične infrastrukture, ukoliko organizacije ne vode računa o uporabi i troškovima, oblak itekako može biti skuplji odabir. Organizacije mogu biti neugodno iznenađene generiranim troškovima oblaka, stoga je od velike važnosti ažurno pratiti i voditi evidenciju uporabe i troškova.¹³ Stoga, poduzeća mogu naići na neočekivane troškove te biti na financijskom gubitku pri adaptaciji u oblaku. Podaci o potrošnji pojedinih resursa ili grupa resursa vidljivi su kroz portal platformi. Troškove je također moguće filtrirati po vremenskim intervalima i resursima ili grupama resursa.

¹³ <https://www.knowledgehut.com/blog/cloud-computing/cloud-computing-challenges>

¹⁴ <https://www.geeksforgeeks.org/7-most-common-cloud-computing-challenges/>

¹⁵ <https://www.datapine.com/blog/cloud-computing-risks-and-challenges/>

Ovisnost o mrežnoj povezivosti također je izazov s kojim se susreću organizacije, a najčešće je izražen kod prebacivanja velike količine podataka u oblak ili pri preuzimanju podataka s oblaka.¹³ Iako organizacije korištenjem oblaka umanjuju svoje troškove IT infrastrukture, bitno je osigurati visoku internetsku propusnost i redundantnost kako ne bi dolazilo do ispada mrežne infrastrukture, a samim time i do poslovnih gubitaka.¹⁴

Performanse su iznimno bitan faktor kod odabira rješenja baziranih na oblaku. Ukoliko brzina nije zadovoljavajuća, korisnici mogu iz nezadovoljstva odustati od rješenja u oblaku što će im zapravo stvoriti poslovne gubitke.¹⁴ Također, u ovakvim situacijama organizacije ovise o pružatelju usluge, što znači da ukoliko pružatelj usluge ima poteškoće u radu, imat će ih i organizacija.¹⁵

Pouzdanost i visoka dostupnost također je izazov s kojim se organizacije susreću kod migracije kritičnih poslovnih aplikacija u oblak. Obzirom da velik broj organizacija migrira poslovno kritične aplikacije u oblak, sustavi u oblaku moraju biti robusni i visoko dostupni kako organizacije ne bi doživjele poslovne gubitke.¹⁶ Velika potreba za visokom dostupnošću i pouzdanošću predstavljaju izazov računarstvu u oblaku. Iako pružatelji usluge oblaka ulažu i unaprjeđuju infrastrukture, i dalje dolazi do prekida rada. Iz tog je razloga potrebno kontinuirano pratiti performanse i dostupnost usluga u oblaku pomoću alata neovisnih o oblaku. Na taj način organizacije mogu imati uvid u dostupnost usluga u oblaku.

2.5. Migracije između platformi računarstva u oblaku

Organizacije i poduzeća često odlučuju ovisno o svojim potrebama migrirati cijelu infrastrukturu ili dio iste u okruženje u oblaku. No, postoje i druge vrste migracije poput migracija iz oblaka u oblak u kojoj organizacija želi prebaciti svoju postojeću infrastrukturu ili dio iste u oblaku u okruženje kod drugog pružatelja usluge računarstva u oblaku. Postoje mnogi razlozi zbog kojih se organizacije odlučuju na migraciju iz oblaka u oblak. Jedan od primjera je da se organizacija kroz godine rada mijenjala i oblak u kojem se trenutna infrastruktura nalazi više nije dostatna obzirom da su se mnogi faktori, a na temelju kojih se prethodni oblak odabrao, promijenili. Stoga, nakon toliko bitnih promjena u organizaciji, može doći do situacije u kojoj se drugi oblak čini smisleniji za potrebe organizacije. Između

¹⁶ <https://u-next.com/blogs/cloud-computing/challenges-of-cloud-computing/>

ostaloga, kako se mijenjaju potrebe i prioritete organizacije, tako se mijenjaju i elementi platformi, a za organizacije je bitno da ostanu agilne i fleksibilne odgovoriti na promjene.¹⁷

¹⁸ Isto tako, organizacije mogu migrirati infrastrukture iz jednog oblaka u drugi radi smanjenja troškova, ukoliko drugi pružatelj usluge oblaka nudi fleksibilnije cijene ili popuste. Također, razlog migracije mogu biti jedinstvene mogućnosti dostupne u drugom oblaku. Razlog migracije iz oblaka u oblak može biti i spajanje dvije tvrtke u jednu. Iako migracija iz oblaka u oblak može biti kompleksan i dugotrajan proces, organizacijama se, kad se uzmu u obzir ranije navedene prednosti, može pokazati kao isplativ potez.

2.5.1. Metode migracija

Ovisno o potrebama organizacije, migracijama u oblak može se pristupiti koristeći više metoda, a tri najpopularnije su *Lift and Shift*, *Replatforming* i *Refactoring*.

Lift and Shift metoda znana i kao *Rehosting*, najjednostavniji je pristup migracije usluge u oblak. Ova vrsta migracije migrira aplikaciju ili virtualno računalo uz minimalne promjene. Navedena metoda može biti najjednostavnija i najbrža opcija za migriranje usluge u oblak, no ne mora nužno biti najučinkovitija. Ukoliko je migrirana aplikacija, a nije prilagođena za oblak, možda neće moći iskoristiti sve prednosti i mogućnosti oblaka. Također, aplikacije koje nisu prilagođene u vidu arhitekture oblaka, možda neće biti kompatibilne s uslugama u oblaku. Unatoč navedenim nedostacima, ova metoda može biti kvalitetan izbor za organizacije kojima je bitno brzo preseljenje u oblak ili im nije poslovno opravdano redizajnirati aplikacije. Ovakva metoda propisuje odabir aplikacija ili virtualne mašine u obliku preslike koja se pomoću migracijskih alata može uvesti na drugu platformu.^{19 20 21}

Replatforming metoda uključuje određene promjene na strani aplikacije s ciljem optimizacije iste za oblak. Ova metoda zahtijeva minimalne promjene arhitektura postojećih aplikacija kako bi se postigla kompatibilnost s oblakom i kako bi se mogao iskoristiti puni potencijal oblaka. U ovakvoj migraciji, promjene na aplikaciji rade se nakon *Lift and Shift*

¹⁷ <https://dryviq.com/cloud-to-cloud-migration/>

¹⁸ <https://bluexp.netapp.com/blog/cloud-migration-strategy-challenges-and-steps>

¹⁹ <https://blog.nextpathway.com/three-cloud-migration-approaches#:~:text=These%20three%20approaches%20are%20lift,their%20purpose%20and%20migration%20process.>

²⁰ <https://triangu.com/blog/types-of-cloud-migration/>

²¹ https://www.linkedin.com/pulse/cloud-migration-strategies-3-approaches-pros-cons-sa%C3%A2d-faouzi/?trk=articles_directory

migracije u oblak. Iako ova metoda može biti kompleksniji i dugotrajniji te skuplji proces od *Lift and Shift metode*, aplikacija je nakon prilagodbe za oblak kompatibilna s okruženjem u oblaku. Organizacije na ovaj način mogu osigurati bolju iskorištenost resursa u oblaku što može rezultirati smanjenjem troškova i povećanom pouzdanosti aplikacije.^{19 20}

Refactoring metoda predstavlja potpuno suprotnu ideju od metode *Lift and Shift*. Ova metoda zahtijeva rekreiranje logike aplikacije te razvijanje verzije kompatibilne s oblakom. Kod ovakvih migracija, organizacije najčešće razdvajaju monolitne aplikacije na manje mikrousluge. Mikrousluge su manje komponente izvorne oblaku koje su međuovisne te zajedno čine aplikaciju. Organizacijama ovakav pristup može donijeti smanjenje troškova i poboljšane performanse aplikacija pohranjenih u oblaku. Iako ovakav pristup sa sobom nosi mnogo pozitivnih strana, treba uzeti u obzir da je zbog kompleksnosti ovakve migracije potreban veći broj resursa.^{19 20 21}

Navedene metode migracija organizacije biraju ovisno o svojim potrebama, a svaka od navedenih ima svoje prednosti i mane. Metoda *Lift and Shift* sa sobom nosi najmanje popratnih troškova kod migracije, ali je ograničena fleksibilnost adaptacije resursa koji se migrira. Odabirom te metode ne iskorištavaju se sve prednosti oblaka. Metoda *Replatforming* najbolja je za organizacije i poduzeća koja žele optimizirati aplikacije za oblak te postići bolje performanse i smanjenje troškova. Također, potrebno je više resursa nego za *Lift and Shift* metodu, ali sa sobom donosi mnoge koristi organizacijama koje su spremne investirati. S druge strane, metoda *Refactoring* inicijalno donosi najviše troškova i planiranja zbog potrebnih resursa, ali je jedina koja ima potencijal potpuno iskoristiti prednosti oblaka nakon uspješne promjene arhitekture aplikacije. Ova metoda može pomoći organizacijama dugoročnim smanjenjem troškova s obzirom na to da omogućuje korištenje usluga izvornih oblaku poput mikrousluga i kontejnera koje značajno doprinose performansama i skalabilnosti infrastrukture pohranjene u oblaku.

2.5.2. Problemi i izazovi kod migracija

Mnogi izvori navode razne izazove i probleme s kojima se organizacije susreću kod migracija u oblak. Neki od najčešćih izazova su:

1. Nedostatak jasne strategije ovisno o ciljevima organizacije
2. Kompleksne postojeće infrastrukture
3. Dugotrajnost procesa migracije

4. Visoki troškovi oblaka^{22 23}

Kako organizacije migriraju svoje IT infrastrukture u oblak s ciljem povećanja dostupnosti usluga, skalabilnosti ili s ciljem poboljšanja infrastrukture u bilo kojem smislu u kojem oblak dominira nad tradicionalnim modelom infrastrukture, često kreću u proces bez adekvatne pripreme i strategije. Kako bi se u potpunosti iskoristile prednosti oblaka, potrebno je pažljivo dizajniranje i planiranje kako bi se osigurao kvalitetan izbor oblaka za potrebe organizacije. Svaka vrsta oblaka ima svoje prednosti i mane te je svaki oblak optimalan za različite potrebe.²² Također, uspješna migracija u oblak zahtijeva temeljito planiranje obzirom da svaka aplikacija može imati različite preduvjete za ostvarenje maksimalnog potencijala te samim time može zahtijevati različit pristup.²³

Kompleksne postojeće infrastrukture također predstavljaju velike izazove organizacijama, obzirom da migracija u oblak zahtijeva prebacivanje velike količine podataka i aplikacija. Određeni sustavi mogu biti kompleksno dizajnirani te zahtijevati specifične međuovisnosti s drugim aplikacijama ili sustavima što značajno otežava stvaranje strategije za migraciju infrastrukture.²²

Migracija u oblak dugotrajan je i kompleksan proces koji se izvodi kroz različite faze, između kojih se provodi temeljito testiranje i validacija. Brzina i kvaliteta procesa migracije u oblak najviše ovise o detaljima pripremljene strategije za migraciju u oblak. Kod nejasnih ili nedovoljno detaljno osmišljenih strategija može se postići dodatan trošak te usporiti proces migracije u oblak. Usputno osmišljavanje procesa dovodi do ponavljanja zadataka za migraciju što rezultira značajnim usporenjem cjelokupnog procesa te stvara trošak obzirom da organizacija snosi trošak i postojeće infrastrukture.^{22 23}

Iako je optimizacija troškova jedna od izraženih prednosti oblaka, usluge u oblaku mogu itekako biti skupe. Organizacije koje ciljaju migrirati svoje infrastrukture u oblak s ciljem smanjenja troškova, mogu se dovesti u situaciju u kojoj će ih infrastruktura u oblaku koštati više od fizičke infrastrukture. Bez detaljno razrađenog planiranja i uz nedovoljno vremena uloženog u istraživanje, organizacije će lako premašiti budžet za infrastrukturu. Potrebno je jasno razumijevanje infrastrukture organizacije, njenih informacijskih rješenja i zahtjeva

²² <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/cloud-security/what-is-cloud-migration/top-5-cloud-migration-challenges/>

²³ <https://tenesys.io/en/5-most-common-challenges-of-cloud-migration/>

kako bi se mogla predvidjeti potrošnja u oblaku.^{22 23} Također, svaki pružatelj usluge računarstva u oblaku ima svoja pravila za naplatu resursa i usluga u oblaku, stoga nepoznavanje istih može rezultirati neočekivanim troškovima.

3. Metodologija i proces migracije web poslužitelja

1. Kao dio pripreme za rad, kreirani su računali u tri oblaka, AWS, GCP i Microsoft Azure. U svakom od oblaka kreirane su infrastrukture koje simuliraju produkcijsku okolinu koja se sastoji od dva web poslužitelja. Resursi kreirani u oblacima uključuju virtualne mreže, virtualna računala s operativnim sustavima kojima su dodijeljene javne IP adrese te mrežne sigurnosne grupe za administriranje prava pristupa. Kreiranje virtualnih računala podrazumijeva automatsko kreiranje resursa poput mrežnih kartica, diskova. Kao predmet migracija u ovom završnom radu odabran je web poslužitelj koji je konfiguriran u dva različita operativna sustava. Za operativne sustave, odabrani su Linux, distribucija Ubuntu 20.04 LTS s web poslužiteljem Apache i Windows Server 2019 Datacenter s web poslužiteljem IIS (*Internet Information Services*). Razlog odabira ova dva operativna sustava je popularnost te zastupljenost među web poslužiteljima. Otprilike 80% svih web poslužitelja nalazi se na varijacijama Linux operativnog sustava, dok se 20% nalazi na Windows operativnim sustavima.²⁴ Realizacija migracije uključuje sljedeće faze: Priprema izvorišnog oblaka – kreiranje virtualnih mreža, kreiranje virtualnih računala sa specificiranim operativnim sustavima, konfiguracija mrežnih sigurnosnih grupa i web poslužitelja te dodjela javnih IP adresa virtualnim računalima. Ova faza uključuje i testiranje pristupa putem javnih IP adresa.
2. Priprema odredišnog oblaka – ova faza uključuje pripremu odredišnog oblaka kroz kreiranje virtualnih mreža i podešavanje mrežnog pristupa putem sigurnosnih grupa za web poslužitelje koji će biti migrirani. Također, ova faza uključuje kreiranje resursnih grupa u migracijama u Microsoft Azure.
3. Konfiguracija alata za migriranje – U ovoj fazi odrađena je konfiguracija alata koje omogućuju pružatelji usluge u odredišnom oblaku. Osim konfiguracije alata, odrađena je i konfiguracija mrežne povezivosti, koja je, ovisno o smjeru migracije, uključivala VPN ili pristup putem javnih IP adresa.

²⁴ <https://phoenixnap.com/kb/server-operating-system>

4. Pokretanje testne migracije – Faza u kojoj se putem konfiguriranog alata nakon stopostotne replikacije izvorišnih računala, pokreće testna migracija te provodi testiranje funkcionalnosti web poslužitelja.
5. Pokretanje završne migracije – faza identična pokretanju testne migracije, no nakon nje, ukoliko ne postoji potreba za zadržavanjem izvorišnog virtualnog računala, provodi se brisanje istog.

Metoda migracije koja je prikazana u ovom radu je *Lift and Shift*, dok su za ostvarivanje migracije korišteni alati pruženi od strane pružatelja usluge odredišnog oblaka, a uključuju Azure Migrate, Velostrata te AWS Application Migration Service. Željeni ishod migracije bio je osigurati minimalnu nedostupnost usluge, a ista je provedena u tri smjera: Microsoft Azure i GCP na AWS, zatim Microsoft Azure i AWS na GCP te u konačnici AWS i GCP na Microsoft Azure. Cjeloviti postupci migracija, rezultati istih i poteškoće koje su se pojavile pri realizaciji svake od navedenih migracija, prikazani su u zasebnim poglavljima.

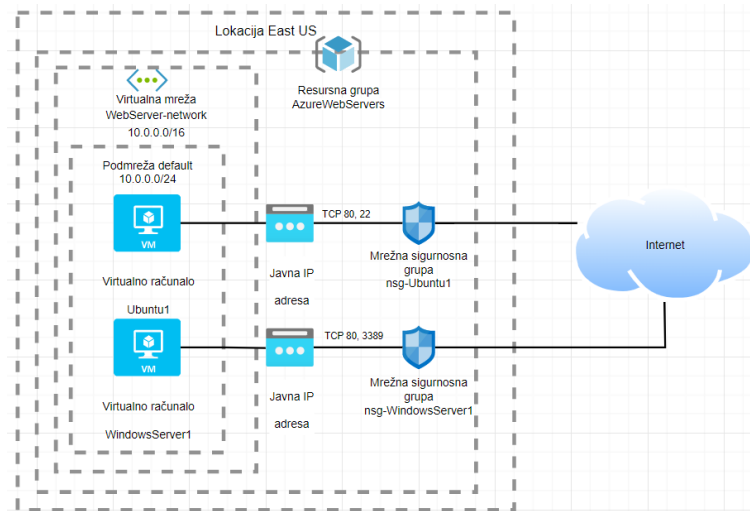
4. Migracija 1: Microsoft Azure i Amazon Web Services

Microsoft Azure i Amazon Web Services dva su najpopularnija oblaka na tržištu. Organizacije se mogu odlučiti na migriranje svojih poslovnih aplikacija ili sustava iz jednog oblaka u drugi, a u sljedeća će dva poglavlja biti prikazane i objašnjene migracije virtualnih računala u oba smjera. Također, bit će opisani izazovi te prednosti i nedostaci odabranih alata za migraciju virtualnih računala.

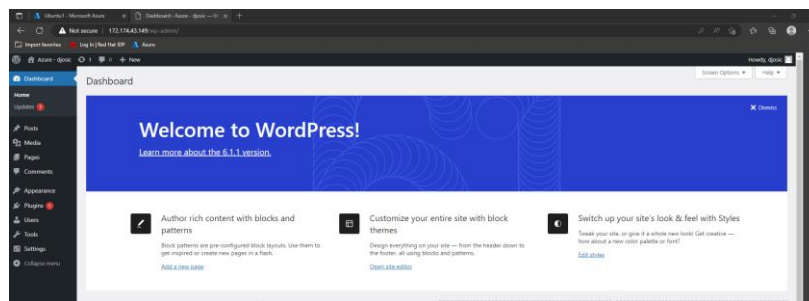
4.1. Migracija s Microsoft Azure na AWS okruženje

Kao preduvjet za izvorišni oblak, kreirana je resursna grupa AzureWebServers unutar regije East US. Ova regija je odabrana zbog nižih troškova po satu rada virtualnog računala koji iznosi u prosjeku 1.34 dolara. Nadalje, kreirana je virtualna mreža naziva WebServer-network s adresnim prostorom 10.0.0.0/16. Unutar navedene virtualne mreže dodana je podmreža 10.0.0.0/24 naziva default. Kreirana su virtualna računala naziva Ubuntu1 i WindowsServer1 s operativnim sustavima Ubuntu 20.04 LTS i Windows Server 2019 Datacenter. Odabrane veličine virtualnih računala su *Standard_B2s* koji uključuje dva virtualna procesora te četiri gigabajta radne memorije.

Navedena virtualna računala smještena su u resursnu grupu AzureWebServers i u podmrežu default. Oba virtualna računala dodijeljene su javne IP adresa kako bi se moglo pristupiti web sadržaju putem istih. Za pristup Ubuntu1 osigurani su SSH ključevi, dok se WindowsServer1 može pristupiti putem RDP protokola. Oba virtualna računala smještena su iza vlastitih mrežnih sigurnosnih grupa (engl. *Network Security Group*) koje su konfigurirane na način da je prema Ubuntu1 dozvoljen pristup SSH protokolom s javne IP adrese autora i HTTP pristup s bilo koje adrese, dok je mrežna sigurnosna grupa WindowsServer1 konfigurirana na način da je dozvoljeno spajanje RDP protokolom s javne IP adrese autora i HTTP pristup s bilo koje adrese. Također, na obje sigurnosne grupe propušten je ulazni promet po TCP portovima 443, 9443 i 1500. Ova konfiguracija omogućuje agentima na izvorišnim poslužiteljima da uspješno komuniciraju s AWS Application Migration Service EC2 instancama i repliciraju kriptirane podatke. Opisana infrastruktura nalazi se na Slici 3.



Slika 3 Infrastruktura kreirana u Microsoft Azure oblaku. Nakon potpune konfiguracije virtualnih računala unutar platforme, konfigurirani su Apache i IIS web poslužitelji na Ubuntu1, odnosno WindowsServer1 virtualnom računalu. Migraciji se može pristupiti na više načina u kontekstu stvaranja povezivosti između dva navedena oblaka. Najsmislenije rješenje za organizacije i velike količine poslužitelja koje je potrebno migrirati je VPN tunel između oba oblaka. U ovom slučaju, nije implementiran VPN tunel, već su poslužitelji javno dostupni te će kao izvor i odredište biti korištene javne IP adrese. Na Slikama 4 i 5. vidljivi su konfigurirani web poslužitelji Ubuntu1, odnosno WindowsServer1.



Slika 4 Web stranica na Ubuntu1



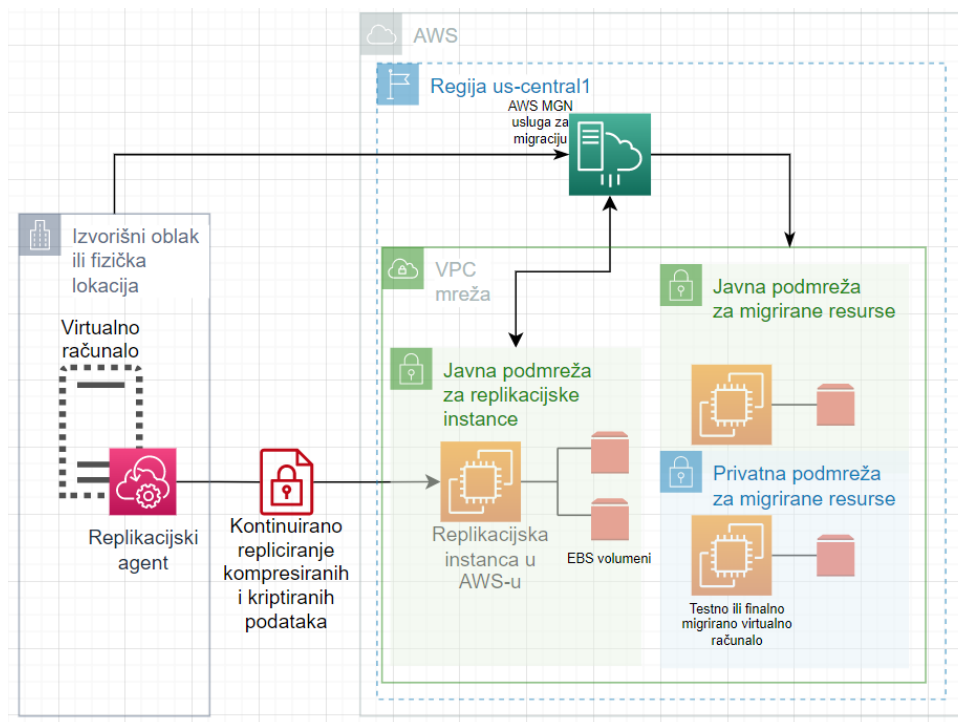
Slika 5 Web stranica na WindowsServer1. Konfiguracija AWS-a kao odredišnog oblaka započeta je kroz kreiranje Virtual Private Clouda. VPC u načelu predstavlja virtualnu mrežu.

Kako bi migrirani poslužitelji u javnoj pod mreži mogli pristupiti na Internet, kreirana je komponenta za pristup Internetu i spojena s VPC-om. Nakon uspješnog povezivanja komponente za pristup Internetu s VPC-om, u usmjerničkoj tablici VPC-a dodana je zadana putanja prema novokreiranoj komponenti. Posljednja komponenta mrežnog okruženja u AWS-u koja je konfigurirana je sigurnosna grupa (engl. *Security group*). Unutar sigurnosne grupe dozvoljena je komunikacija s javnih IP adresa poslužitelja u izvorišnom oblaku, a propušteni su portovi TCP 443, 9443 i 1500. Ovime je završeno postavljanje AWS oblaka s mrežne strane.

Migracija prema AWS oblaku odvija se instalacijom softverskih agenata na virtualna računala koje je potrebno migrirati. Verzije agenata AWS je unificirao te razdvojio na svega dvije – jedna za Microsoft Windows operativne sustave, a druga za Linux operativne sustave. Agente se može preuzeti i instalirati koristeći upute dostupne u AWS Application Migration Service konzoli koja je dostupna pretragom usluga unutar AWS oblaka. Nakon uspješne instalacije agenata na poslužitelje, u Application Migration Service konzoli prikazuju se poslužitelji te njihov status. Iz navedene konzole može se upravljati izvorišnim virtualnim računalima te pokretati testne migracije i završne migracije. Isto tako, iz iste konzole moguće je ukloniti izvorišna virtualna računala. Kod instalacije agenata na poslužitelje u izvorišnom oblaku, unutar AWS platforme automatski se kreira AWS Application Migration Service EC2 instanca predefinirane veličine, koja odrađuje svu komunikaciju s poslužiteljima za migraciju. Iz tog su razloga konfigurirana mrežna propuštanja kako bi se komunikacija s agentima uspješno uspostavila, a posljedično i uspješno migriralo poslužitelje. Pomoću agenata, kontinuirano se radi replikacija kriptiranih podataka na razini blokova u Staging Area Subnet. Staging Area Subnet je mrežno izoliran segment koji je prethodno kreiran te konfiguriran kroz Application Migration Service konzolu, a u koji je moguće migrirati u potpunosti virtualno računalo ili samo testirati migraciju, odnosno pokrenuti testnu instancu. Nakon uspješne instalacije agenata na poslužitelje u izvorišnom oblaku, automatski započinje inicijalna replikacija odabranih diskova, a ista se može pratiti kroz konzolu. Agenti će povremeno odraditi *snapshot* poslužitelja, ali i u trenutku u kojem se pokrene testna ili završna migracija kako bi se osigurala migracija poslužitelja u najvažnijem stanju.

Slika 6. prikazuje primjer arhitekture AWS migracije. Sukladno migraciji u ovom radu, u izvorišnom oblaku ili fizičkoj lokaciji nalazi se virtualno računalo. Vidljiva je instalacija agenta na računalo te njegovo kriptirano repliciranje prema EC2 replikacijskoj instanci u

AWS-u. Spomenuta EC2 instanca u AWS-u zapravo prikazuje automatski kreiranu replikacijsku instancu opisanu u prethodnom poglavlju. Replikacijska instanca smještena je u *Staging Area Subnet*, mrežni segment rezerviran za replikacijske instance. Navedeni mrežni segment dio je AWS MGN usluge koja se koristi za upravljanje migracijom te iniciranje testne ili završne migracije. Pokretanjem migracije replicirana računala smještena su u javnu ili privatnu podmrežu, ovisno o odabranim postavkama unutar MGN usluge. EBS volumeni fleksibilni su volumeni koje računala mogu koristiti kao diskove.



Slika 6 Arhitektura AWS migracije

Migracija je od pokretanja kroz MGN konzolu do završetka trajala 20-ak minuta u prosjeku. Virtualna računala iz izvorišnjog oblaka uspješno su kreirana kao EC2 instance u *c5.large* veličini. Dodatna akcija odrađena na AWS oblaku kako bi web poslužitelji bili u potpunosti funkcionalni je dodavanje javne IP adrese. Nakon dodavanja javne IP adrese poslužiteljima, web stranice oba poslužitelja odgovaraju na HTTP zahtjeve, a isto tako i oba poslužitelja dostupna su putem SSH i RDP protokola udaljenim pristupom. Ovime je završena migracija web poslužitelja s platforme Microsoft Azure na platformu Amazon Web Services.

4.2. Migracija s AWS na Microsoft Azure okruženje

Konfiguracija AWS oblaka kao izvorišnog započeta je kreiranjem EC2 instanci naziva `aws-wsserver1` i `aws-ubuntu1` s operativnim sustavima Windows Server 2019 Base i Ubuntu 20.04 LTS. Instanca `aws-ubuntu1` kreirana je u veličini *t2.micro*, što osigurava jedan virtualni procesor te jedan gigabajt radne memorije, dok je instanca `aws-wsserver1` kreirana u veličini *t2.medium* koja osigurava dva virtualna procesora te četiri gigabajta radne memorije. Navedene instance smještene su u podmrežu naziva `migrationSubnet` koja ima adresni prostor `10.0.0.0/24` te se nalazi u VPC-u `migration-from-azure-vpc`. Instancama je osiguran pristup na Internet kreiranjem i dodavanjem komponente za pristup Internetu na VPC te kreiranjem zadane putanje unutar tablice putanja za spomenutu mrežu. Kao što je to slučaj bio i u konfiguraciji poslužitelja u prethodnoj migraciji, instalirani su i konfigurirani Apache i IIS web poslužitelji.

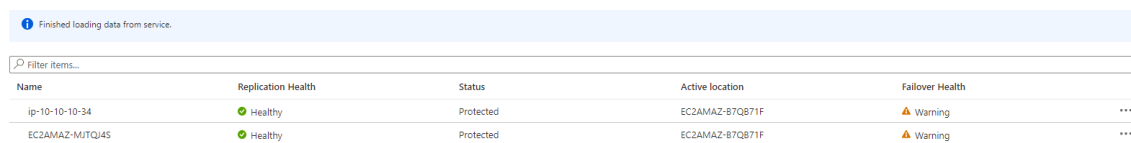
U Microsoft Azure kao odredišnom oblaku, kreirana je posebna virtualna mreža naziva `aws-to-azure`. Kreiranjem Azure Migrate projekta, odabirom odgovarajućih postavki unutar čarobnjaka i postavljanjem mreže za migraciju virtualnih računala započinje postavljanje okoline za migraciju. Azure Migrate usluga je dostupna unutar oblaka Microsoft Azure, a omogućuje jednostavnu migraciju virtualnih računala iz raznih okruženja u Microsoft Azure. Azure Migrate može se usporediti s AWS Application Migration Service uslugom obzirom na sličan princip rada. Azure Migrate koristi virtualno računalo za replikaciju koji je potrebno instalirati i konfigurirati u mreži odredišnog oblaka. Ovo virtualno računalo mora biti Windows Server 2012 R2 ili Windows Server 2016 operativni sustav te mora zadovoljavati hardverske, softverske i mrežne zahtjeve. U ovom radu korištena je verzija operativnog sustava Windows Server 2016. Osigurana je mrežna vidljivost između virtualnih računala u AWS-u koji su predmet migracije i virtualnog računala koje će služiti za migraciju tih računala kroz mrežna propuštanja po portovima TCP 443 i 9443.

Koristeći Azure Migrate uslugu, registrirana je replikacijska instanca kreirana u AWS-u te su konfigurirane opcije za migriranje virtualnih računala. Konfigurirane opcije unutar Azure Migrate usluge uključuju:

1. Izvorišnu okolinu – potrebno je definirati jesu li računala koja se migriraju virtualizirana na platformi VMware, Hyper-V ili su to fizička računala
2. Regiju u koju će virtualna računala biti migrirana korištenjem usluge Azure Migrate

3. Odabrati konfiguracijski poslužitelj – na popisu poslužitelja pojavljuje se replikacijska instanca nakon registracije s Azure Migrate projektom unutar izvorišnog okruženja

Na replikacijskoj instanci je instaliran i konfiguriran softver Microsoft Azure Site Recovery Unified Setup koji služi za spajanje na odgovarajući Azure Migrate projekt. Unutar istog potrebno je unijeti registracijski ključ dostupan na sučelju u Azure Migrate projektu. Agente koje je potrebno instalirati na poslužiteljima koji su predmet migracije nalaze se na replikacijskoj instanci na lokaciji „%ProgramData%\ASR\home\svsystems\pushinstallsvc\repository“. Za svaki podržani operativni sustav od strane Azure Migrate usluge na toj lokaciji nalazi se instalacija agenta. Instalacija agenata radi se kroz naredbeni redak po uputama dostupnima na web stranicama Microsofta za uslugu Azure Migrate.²⁵ Kroz kratak period, nakon instalacije agenata, virtualna računala vidljiva su na Azure Migrate usluzi te ih je moguće u bilo kojem trenutku odabrati i pokrenuti testnu ili završnu migraciju. Prikaz računala s instaliranim agentom vidljiv je na Slici 7.



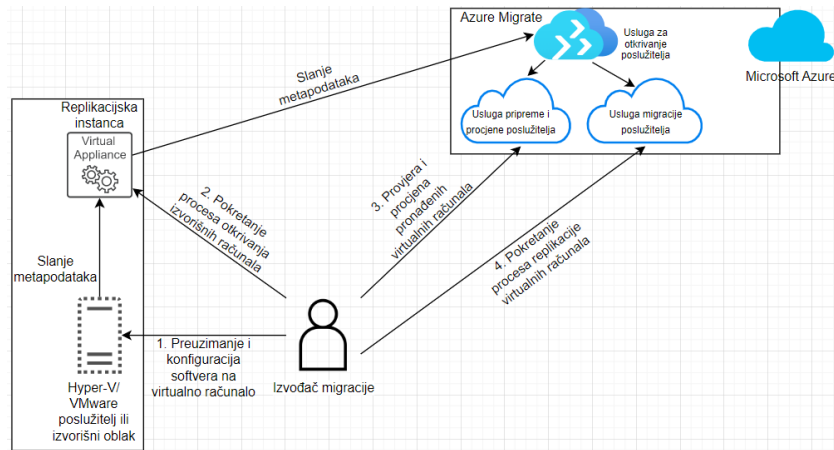
Name	Replication Health	Status	Active location	Failover Health
ip-10-10-10-34	Healthy	Protected	EC2AMAZ-87QB71F	Warning
EC2AMAZ-MJTQJ45	Healthy	Protected	EC2AMAZ-87QB71F	Warning

Slika 7 Azure Migrate – prikaz računala iz AWS oblaka

U ovoj migraciji poslužitelj s Windows Server operativnim sustavom uspješno je migriran te je web stranica operativna i odgovara na HTTP zahtjeve. S druge strane, migracija Linux poslužitelja zapela je na instalaciji agenta. Obzirom da su sva virtualna računala kreirana u oblaku prilagođena istome, pa tako i u AWS-u, verzija jezgre u Linux virtualnom računalu nije kompatibilna s Microsoft Azure platformom. Kako bi agent bio uspješno instaliran, a posljedično i poslužitelj migriran, instalirana je *generic* verzija jezgre te postavljena kao zadana pri pokretanju operativnog sustava. Nakon promjene verzije jezgre, agent je uspješno instaliran te je poslužitelj migriran. Pad performansi nakon migracije nije primijećen, već je web stranica uredno odgovarala na HTTP zahtjeve po završetku procesa migracije. Također,

²⁵ <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/migrate/tutorial-migrate-aws-virtual-machines>

nedostatak Azure Migrate usluge je što ne postoji agent za CentOS operativne sustave. Kako agent za navedeni operativni sustav ne postoji, takve poslužitelje nije moguće migrirati. Kao alternativni način napravljen je pokušaj instalacije RHEL agenta, no isti nije uspješno izvršen.



Slika 8 Prikaz arhitekture usluge Azure Migrate

Na Slici 8. vidljiv je primjer arhitekture migracije koristeći Azure Migrate uslugu. Kao izvorišna lokacija na topologiji prikazana je fizička lokacija ili izvorišni oblak te usluga Azure Migrate i komponente koje sudjeluju u procesu migracije. Prikazani su i koraci koje izvođač migracije i kojim redoslijedom izvodi:

1. Preuzimanje i instalacija replikacijske instance - poveznicu na preuzimanje softvera koji se instalira na replikacijsku instancu moguće je pronaći na sučelju Azure Migrate usluge. Konfiguracija replikacijske instance detaljnije je opisana na stranicama usluge Azure Migrate.
2. Pokrenut proces pronalaska virtualnih računala u izvorišnom oblaku te se šalju metapodaci prema Azure Migrate usluzi
3. Provjera i procjena virtualnih računala vidljivih u Azure Migrate konzoli
4. Pokrenut proces replikacije kroz Azure Migrate konzolu

Sam proces od pokretanja migracije kroz Azure Migrate uslugu trajao je sedam minuta za aws-ubuntu1 te 13 minuta za aws-wserver1. Dodatan korak koji je bilo potrebno odraditi po završetku migracije je dodjela javne IP adrese migriranim računalima. Nedostatak migracije Azure Migrate uslugom je nemogućnost dodjele javne IP adrese virtualnom računalu pri migraciji kako bi se minimiziralo vrijeme nedostupnosti usluge. Isto tako, moguće je

migriranje računala samo u virtualnu mrežu i podmrežu u kojoj se nalazi Azure Migrate projekt. Za migraciju u druge virtualne mreže i podmreže, potrebno je kreirati novi Azure Migrate projekt.

4.3. Analiza migracije Microsoft Azure i Amazon Web Services

Migracija virtualnih računala između platformi Microsoft Azure i Amazon Web Services oblaka u oba smjera zamišljena je instalacijom agenata kompatibilnih s operativnim sustavom poslužitelja koji se migriraju. Obje platforme nude usluge čija svrha je migrirati virtualna računala *Lift and Shift* metodom. Microsoft Azure nudi uslugu Azure Migrate, dok Amazon Web Services nudi uslugu AWS Application Migration Service. Iako su ove dvije usluge infrastrukturno vrlo slične, razlikuju se po replikacijskoj instanci koju je pri migraciji u Microsoft Azure potrebno smjestiti u izvorišni oblak, dok je kod migracije u AWS instancu potrebno smjestiti u odredišni oblak. Obzirom na minimalne hardverske i softverske uvjete koje replikacijska instanca mora zadovoljiti, za migraciju u Microsoft Azure instanca generira veći trošak od replikacijske instance za migraciju u AWS. Replikacijska instanca za migraciju u AWS bazira se na operativnom sustavu Linux, dok se instanca za migraciju u Microsoft Azure bazira na Microsoft Windows Server operativnom sustavu.

Migracije virtualnih računala u oba smjera protekle su u vrlo kratkom vremenskom roku, dok je u oba slučaja po završetku migracije računalima bilo potrebno dodijeliti javne IP adrese. Iako je kod migracije virtualnih računala u Microsoft Azure postojala poteškoća s instalacijom agenta na Linux poslužitelj, ista je uspješno otklonjena instalacijom generičke verzije jezgre na poslužitelja. Ovo nije utjecalo na performanse poslužitelja nakon migracije, no ne može se potvrditi kako ne bi bilo negativnih posljedica u nekom drugom slučaju.

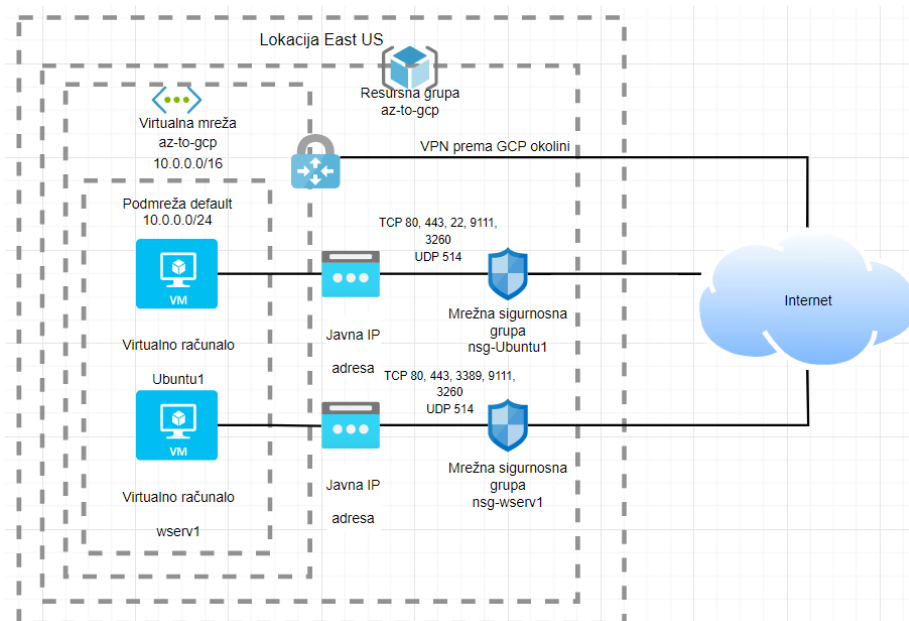
5. Migracija 2: Microsoft Azure i Google Cloud Platform

Google Cloud i Microsoft Azure jedni su od najpopularnijih odabira organizacija za smještanje svojih poslovanja ili dijelova poslovanja u oblak. Google Cloud stoji na trećem mjestu popularnosti i dijela na tržištu računarstva u oblaku s 11%, dok je Microsoft Azure na drugom mjestu s 21% dijela na tržištu.¹² Kako je oblak popularan odabir među mnogim organizacijama za smještanje svog poslovanja, stvaraju se potrebe za migracije poslovanja iz oblaka u oblak. Razne promjene organizacija mogu utjecati na optimalnost trenutnog odabira oblaka, a kao što je ranije opisano, iz mnogih razloga organizacije prebacuju svoje poslovanje iz jednog oblaka u drugi. U nastavku će biti opisano prebacivanje virtualnih računala u oba smjera, izazovi s kojima se autor susreo te će cjelokupno biti objašnjen proces migracije.

5.1. Migracija s Microsoft Azure na GCP okruženje

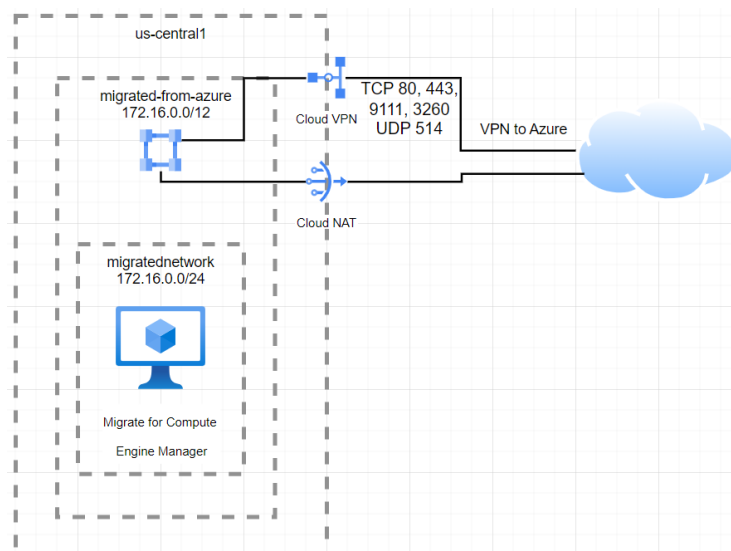
U ovoj migraciji, izvorišni oblak konfiguriran je kroz resursnu grupu `az-to-gcp` unutar regije East US. Kreirana je i virtualna mreža naziva `az-to-gcp-network` s adresnim prostorom 10.0.0.0/16, a unutar koje je dodana podmreža 10.0.0.0/24 naziva `default`. U navedenoj mreži i resursnoj grupi instalirana su virtualna računala naziva `Ubuntu1` i `wserv1` s operativnim sustavima Ubuntu 20.04 LTS i Windows Server 2019 Datacenter. Virtualna računala kreirana su u veličini `Standard_B2s` koja uključuje dva virtualna procesora te četiri gigabajta radne memorije. Virtualnim računalima dodijeljene su javne IP adrese radi testiranja funkcionalnosti i mogućnosti pristupa na web stranicu. Za pristup `Ubuntu1` osigurani su SSH ključevi, a za `wserv1` omogućen je udaljen pristup putem RDP protokola. Mrežne sigurnosne grupe konfigurirane su da propuštaju mrežni promet SSH i RDP protokola s javne IP adrese autora, a HTTP sa svih adresa. Također, konfigurirani su Apache i IIS kao što je to slučaj u prethodnim migracijama.

Topologija konfiguracije Microsoft Azure oblaka prikazan je na Slici 9.



Slika 9 Topologija Microsoft Azure okoline u migraciji prema GCP

U Google Cloud Platform oblaku pripremljena je VPC mreža naziva migrated-from-azure s adresnim prostorom 172.16.0.0/12 te je kreirana podmreža 172.16.0.0/24. Mrežna povezivost između oba oblaka osigurana je VPN tunelom. Na oba oblaka propuštena je komunikacija po portovima TCP 9111, 443, 3260 te UDP 514, kako je specificirano u Googleovoj dokumentaciji za migraciju virtualnih računala na Google Cloud Platform. Topologija koja prikazuje Google Cloud okolinu vidljiva je na Slici 10.

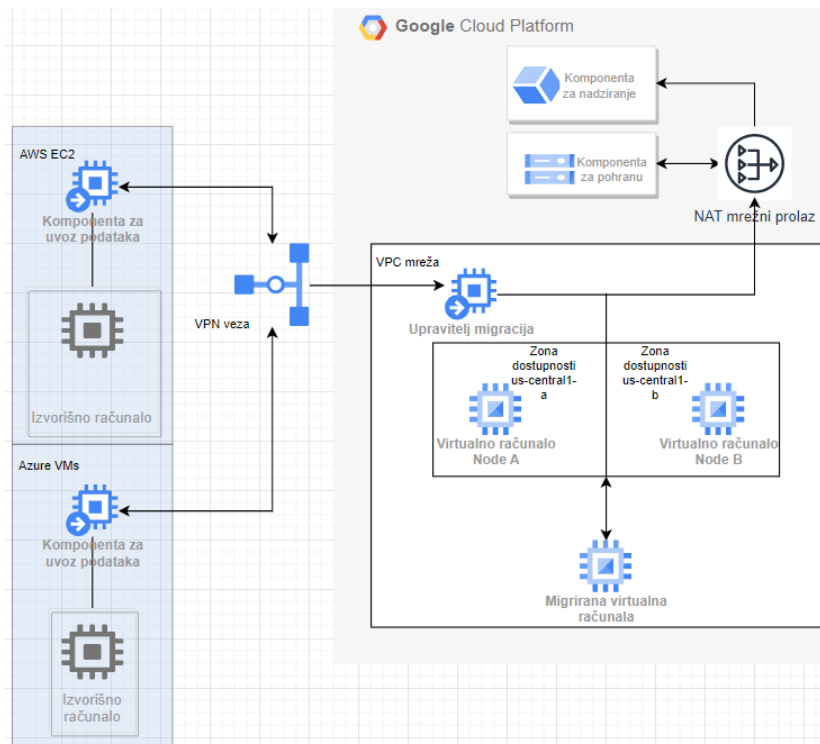


Slika 10 Topologija GCP okoline u migraciji prema oblaku Microsoft Azure

Kreirani su servisni računi za instalaciju „Migrate for Compute Engine Managera“ koristeći skripte koje pruža Google u dokumentaciji, ali obzirom da su to zastarjele verzije skripti i

nisu kompatibilne s trenutnom infrastrukturom na Microsoft Azure oblaku, bilo je potrebno ručno kreirati račune i dodijeliti potrebne uloge. Migrate for Compute Engine Manager zapravo je Googleova usluga za migraciju računala iz raznih okolina u Google Cloud kojoj se nakon instalacije pristupa putem web sučelja. Kako bi GCP mogao pristupiti resursima u Azure oblaku, kreirana je prilagođena uloga te dodijeljena registriranoj aplikaciji unutar istog. Skripte za automatsko kreiranje uloge, aplikacije i dodjelu uloge na aplikaciju u Azure oblaku dohvatljivi su u dokumentaciji koju je kreirao Google, no također nisu ažurne i više nije moguće njima kreirati ulogu niti registrirati aplikaciju. Taj dio također je odrađen ručno. Postavljanje Migrate for Compute Engine Managera odrađeno je kroz čarobnjak u kojem su unesene vrijednosti poput servisnih računa, mreže i podmreže te regije. Navedena instanca po zadanom se kreira u veličini *n1-standard-4* koja osigurava četiri virtualna procesora te 15 gigabajta radne memorije. Također, kreirani su pristupni podaci za pristup sučelju instance. Pristupom na Migrate for Compute Engine Manager mogu se čitati podaci iz pretplate Microsoft Azure oblaka te se specificiraju podaci izvorišnog i odredišnog oblaka poput mrežnog segmenta, veličine Cloud Extension instanci i zona u kojima se iste instaliraju.

Cloud Extensions su zapravo instance virtualnih računala koji imaju dovoljno jake resurse da odrade migraciju. Kreiranje navedenih instanci nije se uspješno izvršavalo zbog ograničenja na GCP računu. Instance kod kreiranja po zadanom koriste vrstu diska Persistent SSD disk veličine 500GB, a na računu je po zadanom ograničenje do 250GB istovremeno. Rješavanju ove poteškoće pristupano je kontaktiranjem Googleove podrške za GCP. Iako je pretplata na platformi bila aktivna i zakupljen standardni plan podrške unutar pretplate, Google podrška unatoč priloženim argumentima, nije odobrila povećanje ograničenja na računu.



Slika 11 Arhitektura Migrate for Compute Engine

Na slici 11. vidljiv je princip rada migracije u GCP. S lijeve strane prikazane su izvorišne lokacije, AWS EC2 instance i Azure virtualna računala. Vidljivo je kako je svaka lokacija povezana s GCP-om putem VPN-a, a unutar GCP-a kreirana je VPC mreža. Unutar tog VPC-a smjestit će se upravitelj migracija, instanca zadužena za upravljanje migracijama, a kojoj se pristupa putem web sučelja. Upravitelj migracija osigurava dvije virtualne instance naziva Node A i Node B koje su smještene u dvije različite zone dostupnosti. Node A i Node B će komunicirati s izvorišnim virtualnim instancama te ih migrirati u mrežni segment definiran u postavkama upravitelja migracija. Također, vidljivo je da upravitelj migracija cijelo vrijeme komunicira s komponentama za nadziranje (*Stackdriver*) i pohranu (*Cloud Storage*).

5.2. Migracija s GCP na Microsoft Azure okruženje

Priprema Google Cloud oblaka kao izvora uključivala je kreiranje VPC mreže naziva *migrated-from-azure* adresnog prostora 10.0.0.0/8 i podmreže naziva *migratednetwork* s adresnim prostorom 10.0.0.0/24. Kreirana su dva virtualna računala naziva *gcp-debian* i *gcp-server*. Operativni sustavi odabrani bili su Debian 11 i Windows Server 2019 Datacenter. Umjesto Ubuntu operativnog sustava, u ovoj je migraciji odabran operativni sustav Debian 11 zbog tadašnje greške na GCP-u koja nije uspješno kreirala Ubuntu virtualna računala.

Virtualno računalo gcp-debian kreirano je u veličini *e2-small* koja osigurava jednu dijeljenu procesorsku jezgru te dva gigabajta radne memorije, dok je gcp-wserver kreiran u veličini *e2-medium* koja osigurava jednu dijeljenu jezgru te četiri gigabajta radne memorije. Za oba virtualna računala osiguran je pristup Internetu korištenjem javnih IP adresa.

Povezivost između oba oblaka osigurana je VPN tunelom te su konfigurirane sigurnosne mrežne postavke koje dozvoljavaju promet između privatnih mreža oba oblaka. Mrežna konfiguracija u Microsoft Azure oblaku uključivala je kreiranje virtualne mreže naziva *migrate-from-gcp* adresnog prostora 192.168.0.0/16 te podmreže naziva *migrated* s adresnim prostorom 192.168.0.0/24. Ostatak konfiguracije identičan je opisanom u poglavlju 4.2., a uključuje i promjenu verzije jezgre na Debian poslužitelju.

Sam proces migracije od kad je pokrenuta kroz Azure Migrate uslugu ukupno je trajao 21 minutu. Od toga, virtualno računalo gcp-debian uspješno je migrirano za šest minuta, dok je gcp-wserver migriran za 15 minuta. Dodatan korak koji je također bilo potrebno odraditi po završetku migracije je dodjela javne IP adrese migriranim računalima. Obje web stranice bile su dostupne odmah po dodjeli javne IP adrese na računala.

5.3. Analiza migracije Microsoft Azure i Google Cloud Platform

Migracija virtualnih računala između ova dva oblaka također je izvršena koristeći alate pružene od strane odredišnih oblaka. Kao što je ranije objašnjeno, za migraciju u Microsoft Azure oblak koristi se usluga Azure Migrate, dok se za migraciju u Google Cloud oblak koristi Migrate for Compute Engine. Migracija u Microsoft Azure zamišljena je instalacijom replikacijske instance u mreži izvorišnog oblaka, registracijom iste za Azure Migrate te instalacijom agenata kompatibilnih s operativnim sustavom računala koja se migriraju. S druge strane, migracija u GCP zamišljena je osiguravanjem mrežne povezivosti između izvorišnog oblaka i GCP-a, kreiranjem vjerodajnica za pristup izvorišnom oblaku te instalacijom upravitelja migracija. Na Linux virtualna računala u izvorišnom oblaku potrebno je instalirati paket koji prilagođava operativni sustav za GCP. Ovo nije moglo biti testirano obzirom na ograničenja računala navedena u poglavlju 5.1.

Upravitelju migracija pristupa se putem web sučelja preko HTTP ili HTTPS protokola te se unutar detalja izvorišnog oblaka specificiraju podaci za pristup Microsoft Azure ili AWS

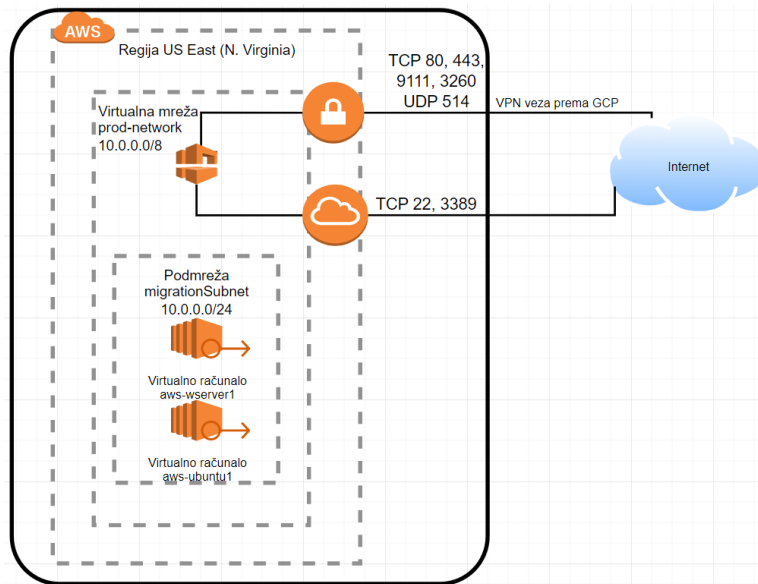
oblaku. Kroz isto web sučelje kreiraju se Cloud Extension instance, a koje nisu mogle biti kreirane zbog ograničenja navedenih u poglavlju 5.1. Također, priprema GCP oblaka uključuje kreiranje servisnih računa i prilagođenih uloga, a na strani Microsoft Azurea potrebno je registrirati aplikaciju i kreirati prilagođenu ulogu. Upute i skripte koje automatiziraju navedene zadatke dostupne su na repozitoriju Google Clouda, ali nisu ažurne i iz tog razloga nisu funkcionalne. Migracija virtualnih računala u GCP poprilično je kompleksnije zamišljena od migracija prema drugim oblacima. Dokumentacija Google Clouda za migraciju virtualnih računala, iako na prvi pogled djeluje sistematizirano i kvalitetno razrađeno, ulaskom u proces nailazi se na mnoge nejasnoće i nedostatak materijala. Također, dio dokumentacije više nije aktualan te nije od konkretne pomoći pri planiranju i migriranju virtualnih računala poput ranije spomenutog primjera sa skriptom.

6. Migracija 3: Amazon Web Services i Google Cloud Platform

Amazon Web Services i Google Cloud Platform dva su od tri vodeća oblaka na tržištu računarstva. Amazon kao predvodnik tržišta i najpopularniji izbor organizacija predvodi s 34%, dok Google Cloud Platform zauzima treće mjesto s 11% tržišta.¹² Kao što je ranije opisano, organizacije se iz raznih razloga mogu odlučiti na migracije poslovanja iz oblaka u oblak. U sljedećim će poglavljima biti opisana dvosmjerna migracija virtualnih računala između ova dva oblaka.

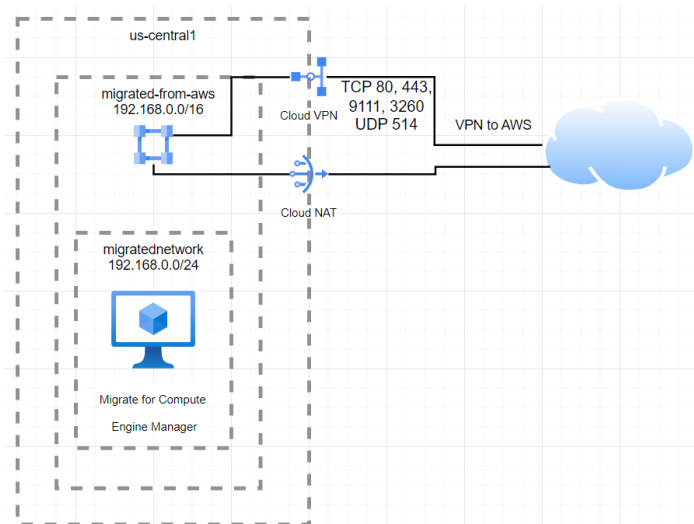
6.1. Migracija s AWS na GCP okruženje

Priprema AWS oblaka kao izvorišnog uključuje kreiranje VPC-a naziva prod-network te dodjelu adresnog prostora 10.0.0.0/8. Unutar tog adresnog prostora, kreirana je podmreža 10.0.0.0/24. Kreirana je i komponenta za pristup Internetu te spojena s novokreiranim VPC-om naziva prod-network. Kreirane su dvije EC2 instance naziva aws-wserver1 i aws-ubuntu1 s operativnim sustavima Windows Server 2019 Base te Ubuntu 20.04 LTS. Navedene instance smještene su u novokreiranu podmrežu koja ima adresni prostor 10.0.0.0/24 te se nalazi u VPC-u prod-network. Virtualnim računalima dodijeljene su javne IP adrese. Instanca aws-ubuntu1 kreirana je u veličini *t2.micro* koja osigurava jedan virtualni procesor te jedan gigabajt radne memorije. S druge strane, instanca aws-wserver1 kreirana je u veličini *t2.medium* koja osigurava dva virtualna procesora te četiri gigabajta radne memorije. Kao i u prethodnim konfiguracijama, osigurano je posluživanje web stranica putem Apache i IIS web poslužitelja, a istima se pristupa preko javne IP adrese. Konfigurirana su mrežna propuštanja po portovima TCP 9111, 443, 3260 te UDP 514 iz mreže VPN tunela s GCP-om te je dozvoljen pristup RDP i SSH protokolima s javne IP adrese autora te HTTP promet. Opisana konfiguracija vidljiva je u topologiji prikazanoj na Slici 12.



Slika 12 Topologija AWS u migraciji prema GCP

Priprema GCP-a kao odredišnog oblaka obuhvaća kreiranje virtualne mreže naziva migrated-from-aws s adresnim prostorom 192.168.0.0/16 te podmrežom 192.168.0.0/24. Osigurana je mrežna povezivost s AWS-om kroz VPN tunel. Odrađena su mrežna propuštanja za komunikaciju upravitelja migracija s GCP-a i virtualnih računala u AWS-u. Topologija koja prikazuje ovu konfiguraciju vidljiva je na Slici 13.



Slika 13 Topologija GCP okoline u migraciji iz AWS-a

Ovu migraciju također nije bilo moguće izvršiti do kraja zbog ranije opisanih poteškoća s diskovnim ograničenjima na računu unutar GCP-a. Daljnji koraci konfiguracije identični su koracima opisanim u poglavlju 5.1.

6.2. Migracija s GCP na AWS okruženje

U ovoj migraciji, izvorište iste je GCP. Konfiguracija izvorišta obuhvaća kreiranje VPC mreže prod-network adresnog prostora 10.0.0.0/8 s podmrežom 10.0.0.0/24. U ovu podmrežu smještena su dva virtualna računala naziva gcp-debian1 i gcp-wserver1. Operativni sustavi odabrani za ova virtualna računala su Debian 11 i Windows Server 2019 Datacenter. Za pristup gcp-debian1 osigurani su SSH ključevi dok se za udaljeni pristup gcp-wserver1 koristi RDP protokol. U prethodnim migracijama, najčešće je korišten Ubuntu 20.04 LTS operativni sustav, no u trenutku izrade rada postoji greška na GCP-u zbog koje nije moguće kreirati Ubuntu virtualna računala. Virtualno računalo gcp-debian1 kreirano je u veličini *e2-small* koja osigurava jednu dijeljenu jezgru procesora i dva gigabajta radne memorije, dok je virtualno računalo gcp-wserver1 kreirano u veličini *e2-medium* koja osigurava jednu dijeljenu jezgru procesora te četiri gigabajta radne memorije. Kreirane su javne IP adrese te dodijeljene na oba virtualna računala koja će ih koristiti za pristup Internetu. Za posluživanje sadržaja putem Interneta, na Debian virtualnom računalu korišten je Apache, dok je za Windows korišten IIS. Isto tako, kreiran je VPN tunel između GCP-a i AWS-a te je propušten promet između privatnih adresnih prostora kroz tunel. Također, propušteni su portovi TCP 443, 9443 i 1500 te promet putem SSH i RDP protokola s javnih IP adresa autora te HTTP promet. Ovim mrežnim propuštanjima omogućen je promet između agenata za replikaciju koji su instalirani na izvorišnim računalima i usluge MGN za migraciju virtualnih računala u AWS.

Konfiguracija AWS-a kao odredišnog oblaka obuhvaća kreiranje VPC-a te konfiguraciju MGN usluge. Kreiran je VPC naziva migrated-from-gcp te je spojen na komponentu za pristup Internetu. Također, za VPC je kreirana zadana putanja prema navedenoj komponenti. Verzije agenata koji su instalirani na izvorišne poslužitelje AWS je razdvojio na dvije. Jedna verzija prilagođena je Linux operativnim sustavima, dok je druga prilagođena Microsoft Windows operativnim sustavima. Agenti se mogu preuzeti i instalirati slijedeći upute dostupne unutar MGN konzole. Daljnji koraci u konfiguraciji identični su koracima opisanima u poglavlju 4.1 gdje je obrađena migracija virtualnih računala s Microsoft Azure oblaka na Amazon Web Services.

6.3. Analiza migracije Amazon Web Services i Google Cloud Platform

Migracija virtualnih računala između AWS i GCP oblaka slijedi dva različita koncepta. Migracija u smjeru AWS-a zamišljena je instalacijom agenata čiji zadatak je replicirati stanje virtualnih računala prema usluzi MGN kroz koju je moguće započeti testnu ili završnu migraciju. Uvjet da bi agenti mogli komunicirati s MGN uslugom i obrnuto je konfiguracija mrežnih propuštanja. Dodavanje agenata i repliciranje kroz uslugu MGN automatski će kreirati EC2 replikacijsku instancu unutar AWS oblaka koja će zapravo komunicirati s agentima u GCP oblaku. Replikacijska instanca u AWS oblaku bazirana je na Linux operativnom sustavu te kao takva ne generira trošak osim onog za računalne resurse koje koristi. Usluga MGN besplatna je prvih 90 dana za svaki poslužitelj koji se migrira. S druge strane, migracija u GCP zamišljena je instalacijom upravitelja migracija u GCP oblaku te kreiranjem vjerodajnica za pristup resursima unutar oblaka. Upravitelj migracija zapravo je virtualno računalo kojem se može pristupiti putem web sučelja, a unutar istog unose se ranije kreirane vjerodajnice za pristup resursima u oblaku. Također, putem upravitelja migracija kreiraju se Cloud Extension instance koje se mogu usporediti s replikacijskim instancama u migraciji prema AWS oblaku.

Migracija virtualnih računala iz GCP oblaka prema AWS oblaku uspješno je odrađena. Vrijeme potrebno za migraciju, nakon stopostotne replikacije podataka bilo je 10 minuta za Debian virtualno računalo, a 26 minuta za Windows Server virtualno računalo. Kao što je bio slučaj i kod drugih migracija, nakon migracije potrebno je dodijeliti javnu IP adresu. Obzirom da su ranije kreirana sigurnosna propuštanja, web stranice bile su dostupne u vrlo kratkom roku po završetku migracije. S druge strane, migracija iz AWS-a u GCP nije uspješno izvršena zbog diskovnih ograničenja unutar računala na GCP-u objašnjenih u poglavlju 5.1.

7. Analiza migracija

Svaka od obrađenih platformi računarstva u oblaku nudi svoju uslugu za migraciju virtualnih računala. Iako se pripremni koraci infrastruktura za migraciju razlikuju, obrađene platforme migraciju su u osnovi dizajnirale na sličan način. Obrađene su platforme Microsoft Azure, Amazon Web Services te Google Cloud Platform. Temeljne razlike nalaze se u konfiguraciji izvorišnog i odredišnog oblaka. Konkretno, konfiguracija za migraciju u Microsoft Azure uključuje korištenje usluge Azure Migrate, kreiranje virtualnog računala koje služi kao replikacijska instanca u izvorišnom oblaku, instalaciju softverskih agenata na izvorišna računala te omogućavanje komunikacije između svih navedenih komponenti migracije. Replikacijska instanca koja je instalirana u izvorišnom oblaku mora biti Windows Server 2012 R2/2016 operativni sustav te iz tog razloga generira dodatan trošak.

S druge strane, migracija u AWS provodi se primarno instalacijom agenata na izvorišne poslužitelje, dok se pri tome automatski kreira replikacijska instanca u AWS-u. Kod migracije u AWS, nakon instalacije agenata, potrebno je omogućiti komunikaciju između agenata i replikacijske instance, a svo upravljanje migracijom odrađuje se kroz uslugu MGN. Replikacijska instanca bazirana je na Linux operativnom sustavu te s te strane ne generira dodatan trošak osim računalne snage koju koristi, ali usluga MGN je besplatna prvih 90 dana za svaki server koji se migrira.

Google Cloud Platform migraciju je dizajnirao instalacijom upravitelja migracija unutar svojih resursa, a plaća se računalna snaga koju isti koristi. Upravitelj resursa pruža dva virtualna računala koja smješta u različite zone dostupnosti, a koji će koristiti svoje računalne resurse za migraciju virtualnih računala iz odredišta. Pristup resursima u izvorišnom oblaku ne odrađuje se instalacijom agenata, već, ovisno o izvorišnom oblaku, putem registrirane aplikacije ili vjerodajnica. Primjerice, za migraciju iz Microsoft Azure oblaka potrebno je registrirati aplikaciju te joj dodijeliti prilagođenu ulogu kojom će moći pročitati resurse. S druge strane, za migraciju iz AWS-a potrebno je kreirati prilagođenu ulogu i vjerodajnice. U oba slučaja, podaci se unose u upravitelja migracija kojem se pristupa putem web sučelja, a putem kojeg se i vrši upravljanje migracijama.

Tablica 1 Usporedba alata za migraciju virtualnih računala

Pružatelj usluge	Instalacija agenta	Trajanje migracija Windows Server (prosjek)	Trajanje migracija Ubuntu/ Debian (prosjek)	Trošak usluge
Microsoft Azure	DA	14	6	Licence za OS i računalna snaga
AWS	DA	20	9	Računalna snaga i period besplatne usluge 90 dana
GCP	NE	/	/	Računalna snaga

Zaključak

Računarstvo u oblaku definira se kao isporuka računalnih usluga putem Interneta. Usluge koje računarstvo u oblaku nudi uključuju virtualna računala, sustave pohrana, baze podataka, platforme za izradu aplikacija i mnoge druge. Kako računarstvo u oblaku broji mnogo prednosti nad klasičnim lokalnim infrastrukturama, organizacije se odlučuju na migriranje svojih poslovanja u oblak. Jednako tako, oblaci imaju različite karakteristike te se organizacije iz raznih razloga odlučuju na migriranje svojih poslovanja iz oblaka u oblak. Postoje različite metode migriranja aplikacija ili računala u oblak, a neke od njih su *Lift and Shift*, *Replatforming* i *Refactoring*. U ovom je radu odrađena migracija web poslužitelja koristeći *Lift and Shift* metodu. Za operativne sustave virtualnih računala odabrani su Ubuntu 20.04 LTS i Windows Server 2019, a za web poslužitelje konfigurirani su Apache, odnosno IIS. Cjelokupni proces izrade rada uključivao je kreiranje računa na vodećim platformama računarstva u oblaku i čitanje dokumentacija za migraciju virtualnih računala za svaku od vodećih platformi. Nadalje, provedene su pripreme izvorišnih oblaka kroz kreiranje potrebnih resursa, pripreme odredišnih oblaka kroz odrađivanje potrebnih konfiguracija, provedbu testnih migracija i testiranje funkcionalnosti te na kraju provedbu završnih migracija i testiranje funkcionalnosti. Poteškoće koje su se pojavile prilikom migracija bile su ograničenja na korištenje resursa unutar GCP oblaka zbog kojeg u konačnici nije bilo moguće provesti migracije u GCP te nekompatibilnost Linux operativnih sustava s oblakom Microsoft Azure. Kod migracija virtualnih računala koje koriste Linux operativni sustav, potrebne su određene modifikacije u vidu promjene jezgre na računalima kako bi bile kompatibilne za migraciju s Microsoft Azure oblakom. S ostalim migracijama nije bilo poteškoća. Svaka od platformi dizajnirala je migraciju virtualnih računala na svoj način, primjerice za migraciju u Microsoft Azure potrebna je instalacija agenta na svako izvorišno računalo i instalacija virtualnog računala u izvorišnom oblaku koje služi kao instanca za replikaciju podataka. Slično, za migraciju u AWS potrebno je instalirati agente na izvorišna računala, a instanca za replikaciju podataka automatski se kreira u AWS oblaku. S druge strane, za migraciju u GCP potrebno je, ovisno o izvorišnom oblaku, registrirati aplikaciju u Microsoft Azure ili kreirati vjerodajnice s pravima čitanja i modificiranja infrastrukture u AWS. Princip je sličan jer aplikacija u oblaku Microsoft Azure također mora imati pravo čitanja i modificiranja infrastrukture. Stoga, GCP temelji migraciju virtualnih računala na

pristupu izvorišnoj infrastrukturi, dok se Microsoft Azure i AWS orijentiraju na softverske agente na izvorišnim računalima. Također, potrebna je mrežna vidljivost između izvorišne i odredišne lokacije te omogućena komunikacija između komponenti za migraciju. Sa strane troškova, za migraciju u Microsoft Azure potrebno je platiti troškove korištenja operativnog sustava Windows Server 2012 ili Windows Server 2016 i za računalne resurse koje instanca koristi. Za migraciju u AWS, plaćaju se računalni resursi koje koristi instanca za replikaciju, a usluga je besplatna prvih 90 dana za svako virtualno računalo koje se migrira. Kod migracije u GCP, plaćaju se računalni resursi koje koriste upravitelj migracija i instance koje se instaliraju putem njega. Financijski najisplativija platforma u vidu troškova za provedbu migracije je AWS zbog besplatnog perioda za migriranje računala. Također, jedina platforma bez poteškoća u procesu migracije bila je AWS. Svaki od vodećih pružatelja usluga u oblaku ima javno dostupnu dokumentaciju za migraciju računala. Proces migracije uz dokumentaciju Microsofta i AWS-a bio je uvelike olakšan. S druge strane, kod migracije u GCP, slijedeći dokumentaciju pojavile su se neočekivane poteškoće koje su uključivale zastarjelu dokumentaciju, upute koje nisu točne zbog nepostojećih opcija te nesistematiziran pregled. U skladu sa svime navedenim, organizacije će najefikasnije uz najniže troškove i kvalitetnu dokumentaciju migrirati virtualna računala u AWS.

Popis kratica

IaaS	<i>Infrastructure as a Service</i>	Infrastruktura kao usluga
PaaS	<i>Platform as a Service</i>	Platforma kao usluga
SaaS	<i>Software as a Service</i>	Softver kao usluga
API	<i>Application Program Interface</i>	Aplikacijsko programsko sučelje
IIS	<i>Internet Information Services</i>	Internetska informacijska usluga
VPN	<i>Virtual Private Network</i>	Virtualna privatna mreža
SSH	<i>Secure Shell</i>	Sigurna ljuska
RDP	<i>Remote Desktop Protocol</i>	Protokol udaljene radne površine
NSG	<i>Network Security Group</i>	Mrežna sigurnosna grupa
IP	<i>Internet Protocol</i>	Internetski protokol
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>	
HTTPS	<i>HyperText Transfer Protocol Secure</i>	
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>	
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>	
VPC	<i>Virtual Private Cloud</i>	Virtualni privatni oblak
EC2	<i>Elastic Compute Cloud</i>	
MGN	<i>Application Migration Service</i>	

Popis slika

Slika 1 Klasični model IT infrastrukture i IaaS/PaaS/SaaS modeli u oblaku.....	4
Slika 2 Gartnerov magični kvadrant – Vodeći pružatelji usluga računarstva u oblaku	8
Slika 3 Infrastruktura kreirana u Microsoft Azure oblaku	19
Slika 4 Web stranica na Ubuntu1	19
Slika 5 Web stranica na WindowsServer1	19
Slika 6 Arhitektura AWS migracije	21
Slika 7 Azure Migrate – prikaz računala iz AWS oblaka.....	23
Slika 8 Prikaz arhitekture usluge Azure Migrate.....	24
Slika 9 Topologija Microsoft Azure okoline u migraciji prema GCP.....	27
Slika 10 Topologija GCP okoline u migraciji prema oblaku Microsoft Azure.....	27
Slika 11 Arhitektura Migrate for Compute Engine	29
Slika 12 Topologija AWS u migraciji prema GCP	33
Slika 13 Topologija GCP okoline u migraciji iz AWS-a	33

Popis tablica

Tablica 1 Usporedba alata za migraciju virtualnih računala	37
--	----

Literatura

- [1] <https://azure.microsoft.com/en-in/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-cloud-computing> (Pristupano 7.2.2023.)
- [2] <https://www.setcor.com/blog/evo-sto-je-to-tocno-cloud-i-zasto-je-sigurniji-od-tradicionalnih-rjesenja/> (Pristupano 7.2.2023.)
- [3] <https://cloud-office.hr/zasto-cloud> (Pristupano 7.2.2023.)
- [4] <https://explodingtopics.com/blog/cloud-computing-stats> (Pristupano 7.2.2023.)
- [5] <https://www.redhat.com/en/topics/cloud-computing/public-cloud-vs-private-cloud-and-hybrid-cloud> (Pristupano 7.2.2023.)
- [6] <https://www.spiceworks.com/tech/cloud/articles/what-is-cloud-computing/> (Pristupano 7.2.2023.)
- [7] <https://www.ibm.com/cloud/blog/top-7-most-common-uses-of-cloud-computing> (Pristupano 9.2.2023.)
- [8] <https://digitalcloud.training/9-common-uses-of-cloud-computing/> (Pristupano 9.2.2023.)
- [9] <https://dgtlinfra.com/top-10-cloud-service-providers-2022/> (Pristupano 9.2.2023.)
- [10] <https://www.c-sharpcorner.com/article/top-10-cloud-service-providers/>
- [11] <https://www.techtarget.com/searchaws/definition/AWS-GovCloud-Amazon-Web-Services-GovCloud#:~:text=AWS%20GovCloud%20is%20an%20isolated,defined%20by%20the%20U.S.%20Government.> (Pristupano 14.2.2023.)
- [12] <https://explodingtopics.com/blog/cloud-computing-stats> (Pristupano 14.2.2023.)
- [13] <https://www.knowledgehut.com/blog/cloud-computing/cloud-computing-challenges> (Pristupano 14.2.2023.)
- [14] <https://www.geeksforgeeks.org/7-most-common-cloud-computing-challenges/> (Pristupano 14.2.2023.)
- [15] <https://www.datapine.com/blog/cloud-computing-risks-and-challenges/> (Pristupano 17.2.2023.)
- [16] <https://u-next.com/blogs/cloud-computing/challenges-of-cloud-computing/> (Pristupano 17.2.2023.)

- [17] <https://dryviq.com/cloud-to-cloud-migration/> (Pristupano 17.2.2023.)
- [18] <https://bluexp.netapp.com/blog/cloud-migration-strategy-challenges-and-steps> (Pristupano 17.2.2023.)
- [19] <https://blog.nextpathway.com/three-cloud-migration-approaches#:~:text=These%20three%20approaches%20are%20lift,their%20purpose%20and%20migration%20process.> (Pristupano 17.2.2023.)
- [20] <https://triangu.com/blog/types-of-cloud-migration/> (Pristupano 17.2.2023.)
- [21] https://www.linkedin.com/pulse/cloud-migration-strategies-3-approaches-pros-cons-sa%C3%A2d-faouzi/?trk=articles_directory (Pristupano 17.2.2023.)
- [22] <https://www.checkpoint.com/cyber-hub/cloud-security/what-is-cloud-migration/top-5-cloud-migration-challenges/> (Pristupano 17.2.2023.)
- [23] <https://tenesys.io/en/5-most-common-challenges-of-cloud-migration/>
(Pristupano 17.2.2023.)
- [24] <https://phoenixnap.com/kb/server-operating-system> (Pristupano 17.2.2023.)