

Usporedba Amazon Web Services-a i Google Cloud Platforma: Pregled komponenti, sličnosti i razlika

Poje, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:195:646916>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-08**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Informatics and Digital Technologies - INFORI Repository](#)



Sveučilište u Rijeci – Fakultet informatike i digitalnih tehnologija

Preddiplomski studij informatike

Fran Poje

Usporedba Amazon Web Services-a i Google Cloud Platforma: Pregled komponenti, sličnosti i razlika

Završni rad

Mentor: doc. dr. sc. Lucia Načinović Prskalo

Rijeka, 24.7.2023.

Zadatak za završni rad



Rijeka, 15.4.2023.

Zadatak za završni rad

Pristupnik: Fran Poje

Naziv završnog rada: Usporedba Amazon Web Services-a i Google Cloud Platforme: Pregled komponenti, sličnosti i razlika

Naziv završnog rada na engleskom jeziku: Comparison of Amazon Web Services and Google Cloud Platform: Overview of Components, Similarities, and Differences

Sadržaj zadatka: Zadatak završnog rada je usporediti Amazon Web Services-a s Google Cloud Platformom, opisati glavne komponente ovih servisa, pojasniti najznačajnije sličnosti i razlike, prednosti i nedostatke.

Mentor

Doc. dr. sc. Lucia Načinović Prskalo

Načinović Prskalo

Voditelj za završne radove

Doc. dr. sc. Miran Pobar

Pobar

Zadatak preuzet: datum

Poje

(potpis pristupnika)

Adresa: Radmile Matejčić 2
51000 Rijeka, Hrvatska

Tel: +385(0)51 584 700
E-mail: ured@inf.uniri.hr

OIB: 64218323816
IBAN: HR1524020061400006966



Sažetak

Jedni od najzastupljenijih pružatelja usluga računalstva u oblaku danas su Amazon Web Services i Google Cloud Platform. U ovom završnom radu ukratko su opisani osnovni koncepti računalstva u oblaku i dan je pregled temeljnih, najpopularnijih servisa Amazon Web Servicesa i Google Cloud Platforma. Napravljen je pregled servisa virtualiziranih servera u oblaku – EC2 i Compute Engine, servisa pohrane podataka u obliku objekata S3 i Cloud Storage, servisa upravljanih bazi podataka RDS i Cloud SQL, servisa za nadgledanje logova i praćenje metrika CloudWatch i Cloud Operations Suite te administracijskog Identity and Access Management servisa na Amazon Web Servicesu i Google Cloud Platformu. Za obje platforme izdvojeno je nekoliko primjera korištenja usluga u praksi, što daje pregled u koju svrhu stvarne firme koriste ove pružatelje. Nadalje, napravljena je usporedba ovih dviju platformi iz perspektive performansi servisa, sigurnosnih značajki koje se nude, mogućnosti automatskog skaliranja infrastrukture i cijene usluga.

Ključne riječi

Amazon Web Services, AWS, Google Cloud Platform, GCP, Računalstvo u oblaku, EC2, S3, RDS, CloudWatch, IAM, Compute Engine, Cloud Storage, Cloud SQL, Cloud Operations Suite, Cloud Logging, Cloud Monitoring, autoscaling, infrastruktura, virtualni server

Sadržaj

Zadatak za završni rad.....	1
Sažetak.....	2
Ključne riječi.....	2
Uvod	5
<i>Računalstvo u oblaku</i>	<i>6</i>
Infrastructure as a service (IaaS).....	6
Platform as a service (PaaS)	6
Software as a service (SaaS).....	7
Amazon Web Services	8
<i>Glavne komponente Amazon Web Services-a</i>	<i>9</i>
Elastic Cloud Compute	9
Simple Storage Service.....	13
Relational Database Service	14
Identity and Access Management	15
CloudWatch	15
<i>Primjeri korištenja Amazon Web Servicesa u praksi</i>	<i>16</i>
Airbnb	16
Panasonic Avionics Corporation.....	16
Google Cloud Platform.....	18
<i>Glavne komponente Google Cloud Platforma</i>	<i>19</i>
Google Compute Engine.....	19
Google Cloud Storage.....	21
Cloud SQL	22
Identity and Access Management	23
Cloud Operations Suite	23
<i>Primjeri korištenja Google Cloud Platforme u praksi.....</i>	<i>24</i>
Arquivei	24
HSBC	24
Alstom.....	25
Usporedba značajki Amazon Web Servicesa i Google Cloud Platforma	26
<i>Performanse</i>	<i>26</i>
<i>Sigurnost.....</i>	<i>29</i>

<i>Automatsko skaliranje</i>	31
<i>Cijena usluga</i>	32
EC2 i Compute Engine	32
S3 i Cloud Storage	33
Zaključak	36
Popis priloga	37
Izvori	37

Uvod

U svijetu računalstva, klasična administracija fizičkih infrastruktura ubrzano se zamjenjuje računalstvom u oblaku - novim, visoko razvijenim oblikom pružanja računalnih usluga. U računalstvu u oblaku, korisnici od vanjskih firmi unajmljuju računalne resurse (u obliku računalne snage za obradu podataka, baze podataka, web hosting, serveri opće primjene, softverska rješenja itd.) koje koriste za izvršavanje računalnih zadataka.

Za razliku od klasičnog, on-premises¹ računalstva, računalstvo u oblaku korisnicima omogućuje bolju fleksibilnost tako što ne zahtjeva konfiguraciju i upravljanje fizičkom računalnom opremom. Sistemski administratori ne moraju obavljati poslove nabave fizičkog sklopovlja, njegovog sklapanja, konfiguriranja i skladištenja, već je to odgovornost pružatelja usluge računalstva u oblaku.

Važno je i napomenuti da korištenje usluga računalstva u oblaku često rezultira manjim novčanim troškovima. Umjesto fiksnih troškova nabave i korištenja fizičke infrastrukture, pružatelji usluga računalstva u oblaku većinu svojih usluga naplaćuju modelom plaćanja po vremenu ili kapacitetu korištenja. Ovo korisnicima čini kratkotrajno korištenje snažnih računalnih resursa uz minimalne troškove vrlo pristupačno.

Također, jedna od glavnih prednosti računalstva u oblaku je znatno povećana sposobnost skalabilnosti, to jest brzog povećanja kapaciteta infrastrukture koje se koristi. To korisnicima dopušta visoku razinu fleksibilnosti i brzo prilagođavanje promjenjivim zahtjevima za računalnim resursima.

Cilj ovog završnog rada predstaviti je i usporediti dva vodeća servisa za računalstvo u oblaku: Amazon Web Services i Google Cloud Platform. U okviru ovog završnog rada bit će opisane osnovne komponente ovih dviju konkurentnih usluga te će biti napravljena usporedba njihovih značajki i performansi iz različitih aspekata poput performansi, cijene i sigurnosti.

¹ Fizička infrastruktura (serveri, mrežna oprema itd.) koja se nalazi na nekoj lokaciji u vlasništvu (ili u najmu) korisnika

Računalstvo u oblaku

Računalstvo u oblaku je isporuka računalnih resursa na zahtjev korisnicima preko interneta. Računalni resursi, kao što su serveri, baze podataka ili pohrana datoteka, koje pružaju firme za usluge računalstva u oblaku poslužuju se iz velikog broja podatkovnih centara diljem svijeta. Ovom strategijom se postiže visoka razina dostupnosti i brzina usluge. Uzimajući u obzir razlike u mogućnostima koje nude korisnicima, razlikujemo nekoliko modela pružanja usluga računalstva u oblaku: infrastruktura kao usluga (*engl. infrastructure as a service*), platforma kao usluga (*engl. platform as a service*) i softver kao usluga (*engl. software as a service*).

Infrastructure as a service (IaaS)

Pružanje infrastrukture kao usluge znači ponuda usluge unajmljivanja dijelova računalne infrastrukture na kojima korisnik može pokretati programska rješenja kao što su operacijski sustavi i ostale aplikacije. Iako postoje oblici usluge gdje se nudi pristup cijelim, zasebnim serverima, te komponente infrastrukture uglavnom su u obliku međusobno povezanih virtualnih strojeva na fizičkim serverima pružatelja usluga. Primjeri ovog modela usluge su *Google Cloud Compute Engine* i *AWS EC2*.

IaaS je najbliži klasičnom upravljanju fizičke računalne infrastrukture time što pruža najveću razinu kontrole nad unajmljenom infrastrukturom. U IaaS modelu korisniku se pruža odgovornost za konfiguraciju operacijskog sustava i svih aplikacija i podataka na njemu, dok se pružatelj usluge brine o fizičkom hardveru te konfiguraciji i umrežavanjem istoga. Korisnici također mogu po potrebi povećavati i smanjivati snagu i kapacitet računalnih resursa [1].

Pružatelji ove vrste usluge je najčešće nude oblikom plaćanja po vremenu korištenja. Korisnicima se naplaćuje isključivo onoliko koliko potroše, bez troškova uspostavljanja infrastrukture.

Platform as a service (PaaS)

PaaS je oblik usluge koji je namijenjen razvojnim programerima. PaaS pruža konfiguriranu okolinu na koju korisnici mogu postavljati vlastita programska rješenja. PaaS omogućava brzi i lagani proces implementacije i razvoja programskih rješenja. Korisnici nemaju kontrolu nad operacijskim sustavom platforme i ostatkom infrastrukture, već samo nad onime što sami postavljaju [1].

Software as a service (SaaS)

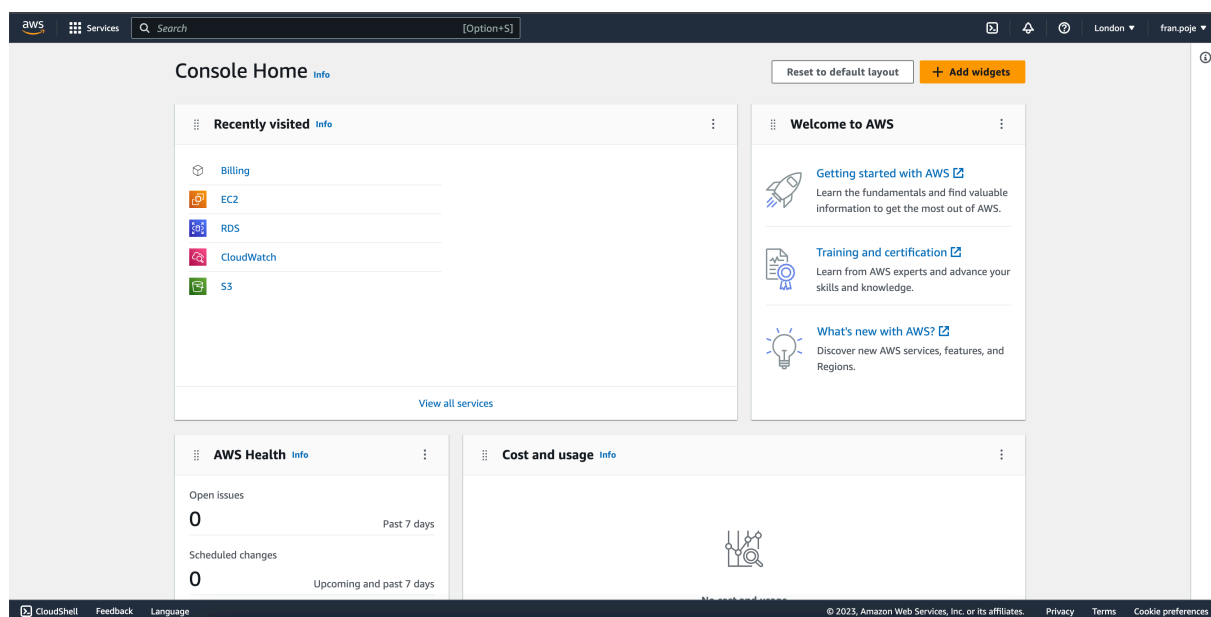
SaaS je oblik pružanja gotovog programskog rješenja kao uslugu koja se unajmljuje. Najčešće joj se pristupa kroz internet preglednik ili kroz zasebni program. Korisnik u ovom modelu usluge nema nikakvu kontrolu nad operacijskim sustavom, aplikacijama na njemu i infrastrukturom, već je sve navedeno odgovornost pružatelja usluga [1].

Značajna prednost ovakve distribucije programskih rješenja je brzina isporuke i konfiguracije. Nakon kupovine SaaS proizvoda, on je odmah konfiguriran i spreman za rad, za razliku od standardnih softverskih rješenja koja je potrebno instalirati i konfigurirati.

Ova vrsta usluge najčešće se nudi u obliku godišnje ili mjesečne pretplate. Neki primjeri SaaS-a su Atlassian JIRA i Confluence, Microsoft 365 aplikacije i Gmail.

Amazon Web Services

Amazon Web Services (skraćeno AWS) je podružnica Amazona Inc. koja se bavi pružanjem usluga računalstva u oblaku. Započela je s radom 2006. isprva nudeći uslugu Amazon Simple Storage Service. Uspjehom Simple Storage Servicea ubrzo nakon toga počinju nuditi ostale servise fokusirane na virtualne servere i razmjenjivanje poruka između softverskih komponenti. Danas pružaju preko 200 različitih oblika usluga, neke od kojih su IaaS rješenja poput Elastic Compute Cloud (EC2), servisa pohrane podataka Elastic Block Store (EBS) i već spomenuti Simple Storage Service, PaaS rješenja kao što je Elastic Beanstalk, relacijske i ne-relacijske baze podataka u oblaku kao što su Relational Database Service (RDS) i DynamoDB te razne SaaS proizvode kao što je Amazon Quicksight, softverski alat za vizualizaciju i analizu podataka u svrhu poslovne inteligencije [2]. Prema podacima kompanije Synergy Research Group, AWS je bio najzastupljeniji pružatelj usluga računalstva u oblaku u prvom kvartalu 2023 ostvarivši tržišnu zastupljenost od 32% [3]. Na slici 1 prikazan je glavni ekran web korisničkog sučelja AWS-a.



Slika 1 - Glavni ekran web korisničkog sučelja AWS-a

AWS velik dio svojih usluga naplaćuje po vremenu korištenja, međutim načini obračunavanja vremenskih jedinica korištenja variraju od usluge do usluge. Primjerice, korištenje EC2 instance se plaća po sekundi korištenja ili po satu korištenja (ovisno o jačini zakupljene instance), dok se servis AWS Lambda plaća po milisekundi korištenja [4] [5].

Kako bi se ostvarila visoka razina dostupnosti i sigurnosti, AWS-ovi servisi poslužuju se iz trideset i jedne geografske regije diljem svijeta koje su međusobno izolirane. Svaka regija nadalje je podijeljena na nekoliko zona dostupnosti (availability zone). One su povezane visoko propusnom mrežnom vezom niske latencije, što omogućuje sinkronu replikaciju servisa na više zona dostupnosti unutar jedne regije u svrhu redundancije podataka [6].

Pri konfiguraciji usluga AWS-a, korisnicima se daje na izbor u kojoj regiji i zoni dostupnosti žele pokrenuti instancu usluge. Korisnik koji će nuditi svoje usluge samo europskim državama može odabrati lokacije za svoje AWS servise u regiji Londona ili Frankfurta, što omogućuje brži pristup infrastrukturi na AWS-u nego da je ona smještena izvan Europe. Posluživanje servisa iz više regija također olakšava zadovoljavanje regulativnih zahtjeva vezanih za pohranu podataka. Primjerice, u slučaju da europska firma zakonski mora čuvati prikupljene podatke unutar Europske Unije ona može taj zahtjev zadovoljiti tako da smjesti infrastrukturu u jednu od AWS-ovih regija unutar Europske Unije. Na slici 2 prikazane su lokacije dostupnih i nadolazećih regija AWS-a.



Slika 2 - Regije Amazon Web Servicesa, izvor: <https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/>

Glavne komponente Amazon Web Services-a

Elastic Cloud Compute

Elastic Cloud Compute, ili skraćeno EC2, je IaaS servis Amazon Web Services-a koji korisnicima nudi unajmljivanje virtualiziranih servera nazvanih EC2 instancama. EC2 instance

se mogu konfigurirati po želji korisnika od operacijskog sustava na dalje i mogu se međusobno umreživati i povezivati s ostalim uslugama AWS-a kako bi se nadodala dodatna funkcionalnost. EC2 instance predstavljaju zamjenu fizičkim serverima u podatkovnom centru.

Kako bi se zadovoljile potrebe svakog korisnika, postoji veliki broj vrsti EC2 instanci koje se mogu unajmiti. One se razlikuju po hardverskim specifikacijama, kao što su brzina procesora i kapacitet RAM-a, i po vrsti rada za kojeg su optimizirane. Nadalje, svaki tip instance je podijeljen u više veličina kako bi omogućio elastičnost usluge, to jest povećanje ili smanjivanje količine računalnih resursa ovisno o trenutnim zahtjevima. „Veće“ instance nude veću količinu RAM-a, veći broj dostupnih vCPU-a², te veću propusnost mreže i pohrane. Također se nudi i unajmljivanje *Bare Metal* instanci koje nisu virtualizirane i nude direktan pristup hardveru s kojeg se poslužuju, međutim njih ima u manjem broju i ne predstavljaju glavni dio usluge [7].

Ovisno o tipu rada za kojeg su namijenjeni, EC2 instance su podijeljene u klase, a svaka od njih pojašnjena je u nastavku.

Instance za generalnu upotrebu su namijenjene općoj primjeni za široki spektar zadataka. Idealne su za aplikacije koje nemaju posebne zahtjeve za određenim tipom resursa, kao što je posluživanje web stranica.

Instance optimizirane procesorskom snagom dolaze sa snažnijim klasama procesora i mogu podnijeti procesorski intenzivne zadatke poput posluživanja servera za videoigre ili kodiranje medijskih formata.

Memorijski optimizirane instance su instance koje dolaze s većom količinom bržeg RAM-a. Namijenjene su za izvršavanje zadataka koje zahtijevaju veliku količinu memorije, poput posluživanja in-memory bazi podataka.

Instance s hardverskim akceleratorima dolaze s raznim vrstama hardverskih akceleratora koji su namijenjeni za ubrzano obavljanje funkcija poput masovnog računanja brojeva sa pomičnom točkom ili procesiranje grafičkih podataka. Ovisno o tipu instance, neki od dostupnih hardverskih akceleratora su Xilinx Virtex UltraScale+ VU9P programabilna polja blokova vrata (FPGA) ili razni nVidijini grafički procesori poput Tesle V100 ili K80.

Instance optimizirane pohranom su instance koji dolaze sa bržim *Instance Store* diskovima koji mogu većom brzinom obavljati dohvaćanje i pisanje podataka. Namijenjeni su za zadatke koji se zahtijevaju veliku brzinu pohrane, kao što je posluživanje tražilica podataka ili za izvršavanje analitike podataka.

² Virtualni CPU. Softverski ekvivalent jednoj fizičkom jezgri procesora, upravljan od strane hipervizora.

HPC³ instance su tipovi instanci koji dolaze sa najsnažnijim višejezgrenim procesorima. Ovisno o tipu instance, dostupne su konfiguracije od 16 do 96 jezgri. Prikladne su za zadatke poput računanja fluidne dinamike i molekularne simulacije [8].

Pri zakupljivanju EC2 instanci korisnici mogu odabrati između više vrsti zakupa koji se razlikuju u cijeni. S tog pogleda, instance mogu biti na zahtjev (On-demand instances), rezervirane (Reserved instances), na raspored (Scheduled instances) i Spot instance (Spot instances). Mogu se i zakupiti na fizičkim serverima koji su posvećeni samo korisniku u obliku posvećenih poslužitelja (Dedicated hosts) i posvećenim instancama (Dedicated instances).

On-demand instances (instance na zahtjev) naplaćuju se po pay-as-you-go modelu, što znači da korisnici plaćaju samo za onoliko vremena koliko koriste instance. Vrijeme korištenja obračunava se po sekundi. Ovakve instance se mogu pokrenuti i zaustaviti kada god korisnik želi [9]. Često se koriste u svrhe testiranja, za obavljanje zadataka koji nisu redoviti, ili za kratkoročne potrebe hardvera visokih performansi.

Reserved instances (rezervirane instance) su instance određenog tipa na koje se korisnici obvezuju plaćati korištenje na vremenski period od jedne ili tri godine i time se „rezerviraju“ [10]. Korisnicima pružaju znatno manje cijene instanci nego On-demand tipovi instanci. Ovisno o tipu rezervacije, popust na cijenu instance može biti do 72% [11]. Ovakav način zakupa prikladan je za zadatke koje će se izvršavati dugoročno i za organizacije koje znaju da će koristiti EC2 instance na dulje vrijeme.

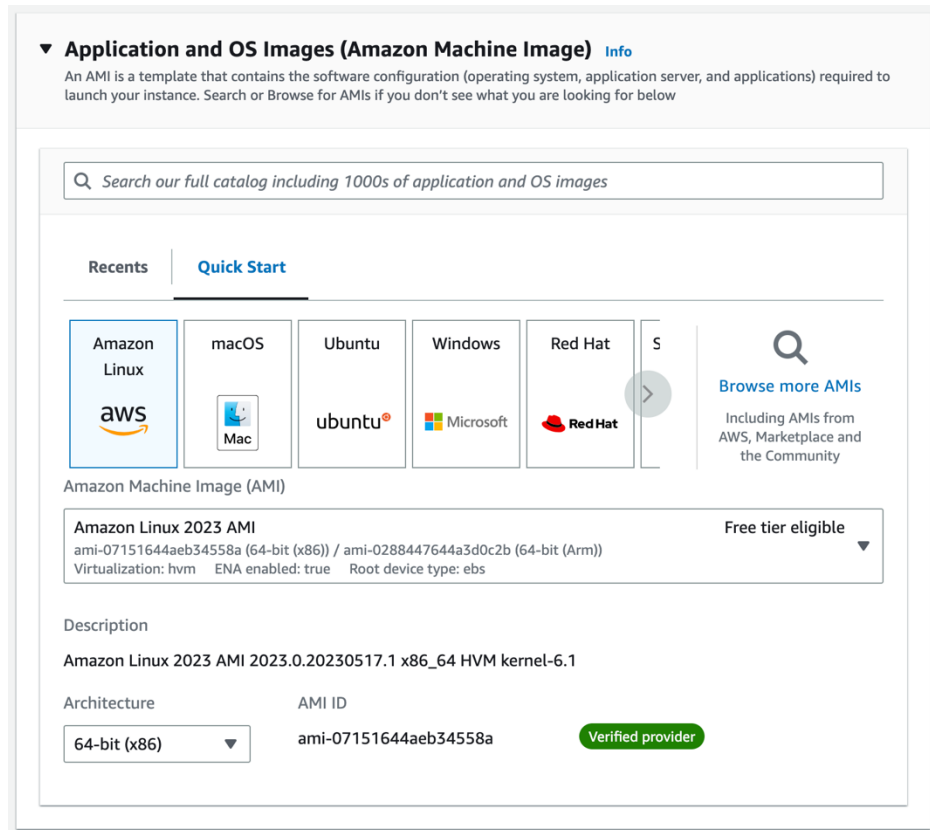
Spot instances (Spot instance) su instance koje AWS kratkoročno nudi po sniženim cijenama kako bi iskoristio nepopunjeni kapacitet svojih servera. Instance se nude po cijenama koje postavlja AWS ovisno o broju zahtjeva za Spot instancama i količini dostupnih Spot instanci. Spot instance koje korisnik zakupi mogu biti ugašene u bilo kojem trenutku od strane AWS-a u slučaju da je neiskorišten kapacitet servisa EC2 ponovo potreban. U slučaju toga korisnici dobivaju upozorenje dvije minute prije gašenja instance. Prikladne su za zadatke kojima pogoduje veći kapacitet hardvera čije izvršavanje nije od kritične važnosti [12].

Dedicated hosts i dedicated instances (Posvećeni poslužitelji i posvećene instance) su oblici zakupa instance gdje se instance pokreću na serverima koje korisnici ne dijele s ostalim korisnicima. Kod posvećenih poslužitelja radi se zakup cijelog servera s kojeg se pokreću EC2 instance, a kod posvećenih instanci radi se zakup na razini EC2 instance [13] [14].

Kod pokretanja EC2 instance, korisnik mora izabrati AMI (Amazon Machine Image). AMI je unaprijed konfigurirana „slika“ operacijskog sustava i određenih programa koja se

³ High performance computing

instalira na EC2 instancu prilikom njenog pokretanja [15]. AWS-ov katalog AMI-ja ima širok izbor operacijskih sustava u raznim konfiguracijama, od raznih Linux distribucija poput Ubuntu, Debian i Red Hat Linux do Windows Server i macOS operacijskih sustava. Na slici 3 prikazano je sučelje za odabir AMI-ja prilikom pokretanja EC2 instance.



Slika 3 - Odabir AMI-ja pri pokretanju EC2 instance

Ovisno o odabranom AMI-ju za pokretanje instance, inicijalni mediji pohrane podataka na EC2 instancama mogu biti privremeni i stalni. Podaci na disku kod privremene Instance Store pohrane gube se pri gašenju EC2 instance, ali ne i restarta. Ako je potrebna stalna pohrana podataka u obliku diska koji se spaja sa instancom, može se odabrati AMI koji dolazi s Elastic Block Store (EBS) diskom na kojemu su podaci trajni, ili naknadno kreirati EBS disk i spojiti ga s EC2 instancom [16]. Također se mogu koristiti i ostali servisi za pohranu podataka, kao što su S3 ili EFS.

EBS je AWS-ov servis za pohranu podataka u obliku block-level medija koji se ponašaju kao logički diskovi kad su spojeni na EC2 instancu. Njima se može upravljati kao i pravim diskovima, korisnik može odspojiti EBS disk sa jedne instance i spojiti ga na drugu, poput prenašanja fizičkog tvrdog diska iz jednog računala u drugo [17].

Simple Storage Service, ili skraćeno S3, je AWS-ova usluga za pohranu podataka u obliku pohrane bazirane na objektima⁴. Maksimalni kapacitet servisa nije ograničen, a najveća dopuštena veličina individualne datoteke u S3 je 5 TB, dok je najmanja 0B [18]. Unutar godinu dana, izdržljivost⁵ datoteka pohranjenih na S3 je 99.999999999%, dok je dostupnost⁶ datoteka od 99.5% do 99.99%, ovisno o klasi pohrane koja se koristi [19].

Datoteke u S3 se pohranjuju u kantama (bucket). Zbog toga što tretiraju svaku datoteku kao objekt, kante za pohranu nemaju hijerarhijsku strukturu datoteka kao što imaju ostali podatkovni sustavi. Korisnici mogu napraviti mape u S3 kanti, ali one služe isključivo kako bi olakšale navigaciju [20]. S3 kante se mogu koristiti pomoću AWS korisničkog sučelja, pomoću AWS-ovog REST API-ja ili koristeći AWS-ov SDK. Kante podržavaju verzioniranje⁷ datoteka [18].

S3 nudi više vrsti pohrane ovisno o potrebama za cijenom, frekvencijom pristupa ili izdržljivosti podataka. Ponuđene klase pohrane navedene su u nastavku.

S3 Standard – standardna klasa koja nudi podjednaki omjer izdržljivosti, brzine pristupa i dostupnosti što ga čini idealnim za generalnu uporabu.

S3 Intelligent Tiering – klasa S3 koja koristi AWS-ov Intelligent Tiering kako bi se datoteke kojima nije često pristupano prenijele u jeftiniju klasu pohrane. Datoteke kojima se ne pristupa 30 dana prenose se u *Infrequent Access* klasu u kojoj su troškovi pohrane jeftiniji do 40%, a one kojima se ne pristupa 90 dana se prenose u *Archive Instant Access* klasu pohrane. Usluga nadgledanja pristupa datotekama se naplaćuje posebno.

S3 Standard-IA – klasa pogodna za podatke kojima se ne pristupa često ali za one kojima je potrebno brzo dohvaćanje. Pogodna za korištenje u svrhu pohranjivanja sigurnosnih kopija podataka.

S3 One Zone-IA – klasa jednakih karakteristika kao S3 Standard-IA koja se razlikuje po tome što pohranjuje podatke samo u jednoj zoni dostupnosti umjesto repliciranja podataka preko tri zone dostupnosti. Nudi jeftiniju uslugu od S3 Standard-IA ali ne pruža jednaku otpornost podataka.

⁴ Struktura podataka koja se sastoji od sadržaja datoteke i metapodataka

⁵ Količina podataka koja je otporna na oštećenja poput *bit rota* ili oštećenja fizičkog hardvera na kojem se nalaze

⁶ Količina vremena u kojoj su podaci dostupni korisnicima

⁷ Čuvanje kopija starih datoteka nakon što one budu zamijenjene

S3 Glacier Instant Retrieval – klasa pohrane namijenjena za arhiviranje podataka kojima se ne pristupa često ali kojima treba visoka brzina dohvaćanja. Nudi jednaku brzinu pristupa i protočnost podataka kao i S3 Standard.

S3 Glacier Flexible Retrieval – arhivska klasa pohrane optimizirana za podatke kojima se pristupa jednom do dva puta godišnje. Ne pruža instantni pristup podacima, ali nudi manje troškove pristupa podacima.

S3 Glacier Deep Archive – najjeftiniji arhivski tip pohrane dostupan na S3. Dizajniran za pohranu podataka kojima se vrlo rijetko pristupa u okruženjima poput financijskih ustanova ili bolnica gdje se podaci moraju čuvati na duge periode vremena kako bi se zadovoljile zakonske regulative.

S3 Outposts – S3 tip pohrane za primjenu u *AWS Outposts* privatnim on-premises oblacima. *AWS Outposts* je usluga AWS-a koja korisnicima nudi hardver kojima mogu lokalno pokretati vlastitu AWS infrastrukturu [19].

Relational Database Service

Relational Database Service, ili skraćeno RDS, je AWS-ov servis za relacijske baze podataka u oblaku. Podržava Amazon Aurora, MariaDB, MySQL, PostgreSQL, Oracle i Microsoft SQL Server baze podataka [21]. Baze podataka pokrenute na servisu RDS ponašaju se jednako kao i obične on-premises baze podataka, što znači da aplikacije koje su do sada radile sa jednom vrstom baze podataka ne trebaju preinake kako bi podržavale RDS baze podataka.

Baze podataka na RDS-u pokreću se u obliku instanci, slično virtualnim serverima servisa EC2. Međutim, korisnici nemaju direktan pristup instanci kao na EC2, nego imaju isključivo pristup samoj bazi podataka na instanci kojeg mogu ostvariti koristeći bilo koji SQL klijent. [21] Amazon Aurora bazama podataka se može pristupiti i Query Editorom, jednom od funkcija RDS servisa kojom korisnici mogu odabrati željenu bazu podataka na AWS-u i izvršavati SQL naredbe i upite unutar AWS konzole [22].

Korisnici mogu imati do 40 RDS instanci odjednom. Dodatne instance dostupne su samo na upit. [23] AWS nudi veliki broj vrsta instanci koje se razlikuju po snazi (u obliku brzine procesora i kapacitetu memorije) i cijeni. Kao i EC2 instance, one se mogu skalirati kako bi smanjili troškove u periodima vremena gdje nema zahtjeva za računalnom snagom ili kako bi se usluga ubrzala u periodima većeg broja zahtjeva. Vrste instanci su podijeljene na one za opću upotrebu (General-purpose), memorijski optimizirane (Memory-optimized) i Burstable-performance instance.

General-purpose instance nude balansirani omjer cijene i snage i namijenjene su za raznovrsne zadatke.

Memory-optimized instance optimizirane su za baze podataka koje koriste memorijski intenzivne aplikacije.

Burstable-performance instance su jeftiniji tipovi instanica koje mogu privremeno povećati snagu svojih resursa kako bi zadovoljile nagli porast u količini rada kojeg treba obaviti [24].

Identity and Access Management

Identity and Access Management (IAM) je AWS-ov alat za upravljanje korisnicima u AWS računu i kontrolu njihovog pristupa resursima. Administratori AWS računa mogu kreirati korisničke račune, definirati njihovu metodu autentikacije i dodjeljivati im prava pristupa. Kreirani setovi pravila pohranjuju se u obliku JSON datoteke.

Za lakšu administraciju većeg broja korisnika, administratori mogu napraviti grupe i u njih dodavati korisnike kako bi mogli na razini grupe dodavati prava pristupa. Primjerice, administratorima baze podataka može se dati samo pristup AWS RDS servisu, a zabraniti pristup svim ostalim resursima. IAM podržava i dodavanje detaljnog, granularnog pristupa. Korisnicima se može dopustiti pristup cijelom servisu i svim njegovim mogućnostima ili samo određenim funkcionalnostima. Na primjer, razvojnim programerima može se dati pristup Cloudwatchu ali samo na način da mogu samo pregledavati i pretraživati logove, a ne i kreirati nove grupe logova ili mijenjati konfiguracijske opcije.

Servis IAM je potpuno besplatan za korištenje. Pristupiti mu se može kroz sučelje na web pregledniku, pomoću AWS CLI-ja, pomoću IAM-ovih programskih biblioteka i pomoću IAM Query API-ja kojim se mogu slati HTTPS zahtjevi direktno servisu. IAM pruža informacije kada su korisnici zadnji put koristili određena prava, i preporučeno je uklanjati dopuštenja pristupa koja dugo vremena nisu bila korištena [25].

CloudWatch

CloudWatch je AWS-ov servis za prikupljanje, vizualizaciju i upravljanje metrikama koje proizvode AWS servisi poput EC2 ili RDS. Korisnici mogu prikupljene podatke, kao što su potrošnja diska, opterećenost CPU-a ili mjerodavni podaci neke aplikacije (poput vremena izvršenja nekog zadatka) koje se pokreću na EC2 instanci slati u CloudWatch i na temelju njih raditi nadzorne ploče. Također se mogu konfigurirati i alarmi – obavijesti od AWS-a koji koriste CloudWatch metrike kao okidače [26]. Primjerice, može se konfigurirati da se e-mailom pošalje obavijest kada iskorištenost memorije na EC2 instanci pređe preko postavljenog praga.

Slanje informacija specifičnih za aplikacije koje se pokreću na instancama ili informacije vezane za operacijski sustav instanci mogu se slati CloudWatchu pomoću programa CloudWatch Agent [27].

Pod-servisom CloudWatch Logs CloudWatch je također i alat za agregaciju i upravljanje logovima. Logove koje proizvode AWS servisi može se slati u CloudWatch organizirane u grupe logova (Log groups) i tokove logova (Log streams). Tok logova je slijed logova koji dolaze iz istog izvora, a grupa logova je skupina tokova logova koji dijele konfiguraciju kontrole pristupa, nadgledanja i perioda čuvanja [28]. Nakon što servis zaprimi logove, kroz njih se može navigirati i mogu se pretraživati pomoću raznih filtra.

Servisima CloudWatch i CloudWatch Logs može se pristupiti putem web sučelja, AWS CLI-ja, Cloudwatchovog API-ja ili CloudWatchovih programskih biblioteka [26].

Primjeri korištenja Amazon Web Servicesa u praksi

Airbnb

Airbnb je korisnik AWS usluga od svojih ranih dana. Koriste oko 200 EC2 instanci za sve potrebe posluživanja backenda aplikacije te internih cache servera i servera koji izvode pretraživanja. EC2 instance su povezane preko Elastic Load Balancing servisa koji automatski radi distribuciju prometa preko dostupnih instanci. Baze podataka, koje su prvobitno bile standardne MySQL baze podataka, migrirali su u Relational Database Service i znatno unaprijedili pouzdanost svojih bazi podataka koristeći RDS-ovu sposobnost asinkrone replikacije, kao što su i unaprijedili redundanciju replika bazi podataka smještanjem replika u nekoliko zona dostupnosti. Također koriste i servis S3 za posluživanje statičnih datoteka kao što su fotografije objavljenih nekretnina [29].

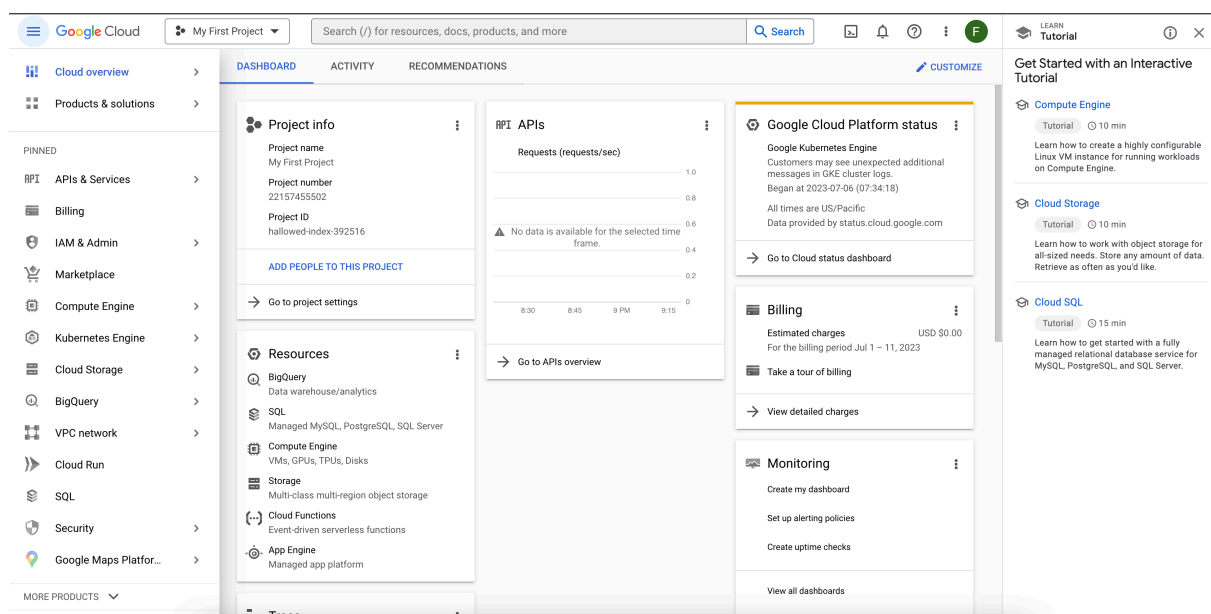
Panasonic Avionics Corporation

Panasonic Avionics Corporation (PAC) migrirao je svoju bazu podataka u koju pohranjuju telemetriju koju prikupljaju iz svojih proizvoda na AWS. Postojeća MySQL baza podataka, koja je bila posluživana iz fizičkog podatkovnog centra, zadavala je poteškoće pri održavanju. Bazu podataka migrirali su u servis Amazon Aurora, AWS-ovu relacijsku bazu podataka optimiziranu za cloud servise koja je kompatibilna sa MySQL i PostgreSQL bazama podataka. Koristili su servis AWS Database Migration Service za migraciju manjih bazi, a veće baze migrirali su restore operacijom nad kopijama većih bazi podataka koje su prenijeli u S3. PAC tvrdi da su korištenjem Amazon Aurora baze podataka smanjili troškove za oko 80% u

usporedbi na troškove prijašnje MySQL baze podataka. Povećali su i brzinu operacija replikacije baze podataka. Na prijašnjoj bazi podataka replikacija je kasnila 10-15 sekundi za glavnom bazom podataka, dok na AWS infrastrukturi kasni najviše do 0.3 sekunde. PAC koristi i servis Amazon SageMaker, AWS-ov servis za kreiranje i upravljanje modelima strojnog učenja, za predviđanje kvarova na antenama aviona kojima se putnici ostvaruju vezu s internetom [30].

Google Cloud Platform

Google Cloud Platform, skraćeno GCP, je skupina Googleovih usluga računalstva u oblaku. Korisnicima pruža mogućnost korištenja usluga na istoj infrastrukturi koju Google interno koristi za vlastite proizvode, poput YouTubea i Gmaila [31]. GCP nudi preko 100 različitih servisa računalstva u oblaku. Neki od tih su servisi za pohranu podataka (Cloud Storage i Persistent Disk), servisi bazi podataka u oblaku (Cloud SQL, Cloud Bigtable) i IaaS i PaaS rješenja (Google Compute Engine i Google App Engine) [32]. GCP je započeo s radom 2008. kada su pokrenuli prvi servis Google App Engine [33]. U prvom kvartalu 2023. tržišna zastupljenost Google Cloud Platforma iznosila je 10%, što ga svrstava među najpopularnijim pružateljima usluga računalstva u oblaku [3]. Na slici 4 prikazan je glavni ekran GCP-ovog web sučelja.



Slika 4 - Glavni ekran web korisničkog sučelja Google Cloud Platforma

Kao i kod ostalih vodećih pružatelja usluga računalstva u oblaku, veliki broj Google Cloud Platformovih usluga naplaćuje se po udjelu korištenja usluga. Primjerice, to može biti po vremenu korištenja Google Compute Engine instanci ili po količini datoteka pohranjenih u servisu pohrane Google Cloud Storage.

Usluge Google Cloud Platforma pružaju se iz više lokacija diljem svijeta, čime se osigurava redundancija i veća brzina infrastrukture. GCP-ovi podatkovni centri su geografski podijeljeni na 37 regija. Regije se sastoje od više zona u kojima se nalazi fizička infrastruktura za GCP-ove servise. Svaka regija se sastoji od barem 3 zone, mjesta na kojima se nalaze

podatkovni centar. Kao i kod Amazon Web Servicesa, korisnici mogu birati u kojoj regiji će koristiti servise u oblaku. Dostupnost servisa GCP-a varira od regije do regije, ali svaka regija podržava servise Compute Engine, Google Kubernetes Engine, Cloud Storage, Persistent Disk, CloudSQL, Virtual Private Cloud, Key Management System, Cloud Identity i Secret Manager [34]. Na slici 5 prikazane su trenutno dostupne i nadolazeće regije GCP-a.



Slika 5 - Regije Google Cloud Platforma, izvor: <https://cloud.google.com/about/locations>

Glavne komponente Google Cloud Platforma

Google Compute Engine

Google Compute Engine (GCE) je IaaS usluga Google Cloud Platforma. Korisnicima nudi unajmljivanje virtualiziranih servera u oblaku. Compute Engine virtualni serveri jedni su od temeljnih komponenti Google Cloud Platforma i ovise o ostalim cloud uslugama GCP-a za njihov rad. Virtualizirani serveri dolaze u velikom broju hardverskih konfiguracija i pružaju mogućnost skaliranja. Vrste virtualnih servera podijeljene su po tome za kakvu vrstu rada su namijenjene.

Serveri za generalnu uporabu su C3, E2, N2, N2D i N1 serveri. Cjenovno i hardverskim karakteristikama prikladni su za generalne zadatke koji nemaju posebno intenzivne zahtjeve od procesorske snage, memorije ili pohrane. Primjerice, mogu se koristiti za jednostavnije baze podataka, posluživanje web aplikacija ili za testno okruženje.

Memorijski optimizirani serveri su M2 i M1 serveri. Pružaju veću količinu dostupnog RAM-a i prikladni su za obavljanje zadataka koji su memorijski intenzivni. Primjerice, za posluživanje velikih in-memory bazi podataka.

Serveri optimizirani procesorskom snagom su C2, C3 i C2D serveri. To su tipovi virtualnih servera koji imaju procesore visokih performansi. Pogodne su za aplikacije koje zahtijevaju visoku procesorsku moć, kao što su simulacije fizike i čestica.

Akceleratorski serveri su A2 i G2 serveri koji omogućuju korištenje hardverskih akceleratora. Primjerice, A2 serveri koriste akcelerator bazirane na nVidijinim Ampere A100 Tensor Core grafičkim procesorima. Nude iznimno veliki kapacitet za paralelno procesiranje i pogodne su za najzahtjevnije računalne zadatke, primjerice strojno učenje ili računanje financijskih podataka.

Serveri za skaliranje u širinu⁸ su T2A i T2D serveri. Koriste x86 i ARM procesore i nude jeftini pristup serverima koji su optimizirani za scale-out primjene, kao što su posluživanje kontejneriziranih Docker aplikacija ili web servera [35].

Virtualni serveri usluge Compute Engine mogu biti zakupljeni na više načina. Uz standardni model plaćanja servera po vremenu korištenja, virtualni serveri se mogu zakupiti na određeni period vremena od jedne ili tri godine po jeftinijoj cijeni. Google Cloud Platform to naziva Committed Use Discount (CUD). Nadalje, CUD se može primijeniti na resurse poput određenog tipa virtualnog servera (Resource-based committed use discount) ili samo na korištenje neodređenih Compute Engine resursa (Compute Engine flexible committed use discount). Korisnici ostvaruju popuste ovisno o vrsti CUD-a kojeg koriste. Resource-based CUD daje do 70% manju cijenu korištenja memorijski optimiziranih virtualnih servera, a do 57% manju cijenu ostalih servera. Flexible CUD na periodu od jedne godine daje popust od 28% na obvezani trošak po satu, dok na periodu od 3 godine taj popust iznosi 46% [36].

Virtualizirani serveri servisa Compute Engine mogu pokretati razne vrste operacijskih sustava. Kod pokretanja novog virtualiziranog servera korisniku se daje na izbor koju sliku operacijskog sustava želi pokrenuti. Slika s kojom se pokreće VM ne mora nužno biti samo operacijski sustav, već može biti i preslika operacijskog sustava koju je korisnik unaprijed konfigurirao sa željenim postavkama, instaliranim programima i ostalim opcijama [37].

⁸ Dodavanje više zasebnih komponenti u sustav kako bi se povećao kapacitet obavljanja zadataka paralelno

Pohrana podataka na Google Compute Engine serverima može se vršiti pomoću više servisa. Standardna pohrana za instance dolazi u obliku diska servisa Persistent Disk i sa takvog se diska pokreće operacijski sustav. Korisnik sam bira koliko mu je pohrane potrebno u procesu inicijalne konfiguracije virtualnog servera i taj mu se trošak nadodaje na ukupnu cijenu Compute Engine servera. Diskovi servisa Persistent Disk ponašaju se kao obični mrežni diskovi koje se može spojiti na virtualne servere. Njima se može upravljati kao i fizičkim diskovima. Može ih se spajati na druge instance, umnožavati i raditi sigurnosne kopije. Sadržaji Persistent Disk diskova su kriptirani Googleovim ključevima enkripcije ili, po želji, korisnikovim vlastitim ključevima. Najveći broj Persistent Disk diskova koji mogu biti spojeni na server odjednom varira ovisno o tipu virtualnog servera [38].

Google Cloud Storage

Google Cloud Storage je GCP-ova usluga koja pruža pohranu datoteka. Datoteke se u ovom servisu pohranjuju kao objekti u kantama (storage bucket). Maksimalna veličina jedne datoteke u Google Cloud Storageu je 5TB, a ukupna količina pohrane dostupna korisnicima nije ograničena [39]. Servis se može koristiti direktno iz njegovog web sučelja, gcloud CLI-ja, programskih biblioteka ili pomoću REST API-ja. Cloud Storage nudi i brojne ostale funkcije koje olakšavaju upravljanje podataka na servisu. Podatke koji nisu često korišteni može se automatski prebacivati u jeftiniju klasu pohrane. Neke od dodatnih funkcionalnosti koje Google Cloud Storage nudi su verzioniranje objekata, postavke politike čuvanja podataka⁹, enkripciju podataka Googleovim ili korisnikovim vlastitim sigurnosnim ključevima i postavke politike pristupa na razini pojedinih objekata ili kanti pomoću usluge Identity and Access Management [40].

Google Cloud Storage nudi nekoliko klasa pohrane koje variraju po cijeni i funkcionalnostima.

Standard storage je standardna klasa pohrane. Prikladna je za generalnu primjenu ali je najskuplja klasa koja se nudi.

Nearline storage je klasa pohrane prikladna za podatke kojima se ne pristupa često. Jeftinija je od Standard storage klase. Minimalni period pohrane podataka u ovoj klasi je 30 dana.

⁹ Vrijeme nakon kojeg podaci smiju biti izbrisani

Coldline storage je klasa pohrane je namijenjena za podatke kojima se rijetko pristupa. Dostupna je po jeftinijoj cijeni pohrane od klase Nearline storage, ali ima minimalni period pohrane podataka od 90 dana.

Archival storage je klasa za pohranu sigurnosnih kopija i arhiviranja podataka. Najjeftinija je klasa pohrane, ali ima minimalni period pohrane od 365 dana. Podaci u ovoj klasi nemaju period čekanja za pristup, već su dostupni odmah kao i kod ostalih klasa pohrane.

U klasama pohrane koje imaju minimalni period pohrane, datoteke se mogu brisati ali korisnik plaća Cloud Storage kapacitet kao da datoteke nisu obrisane. Kad se koriste Nearline, Coldline i Archival klase pohrane, svaki pristup (čitanje, kopiranje, premještanje ili zamjena datoteke) se naplaćuje [41].

Cloud SQL

Cloud SQL je servis Google Cloud Platforma koji pruža relacijske baze podataka u oblaku. Cloud SQL podržava baze podataka MySQL, PostgreSQL i SQL Server. Povezivanje i interakcija sa bazama podataka u servisu Cloud SQL moguća je pomoću SQL klijenata i ostalih aplikacija koje dohvaćaju i spremaju podatke u podržane baze podataka, a Cloud SQL instancama upravlja se iz Google Cloud Platform web sučelja [42].

Cloud SQL baze podataka pokreću se kao instance i imaju veliki broj značajki koje se mogu konfigurirati, ali broj značajki ovisi o vrsti baze podataka koja se koristi. Primjerice, može se izabrati jedan od definiranih hardverskih konfiguracija instance ili je se može konfigurirati po želji korisnika. Dan je i izbor između standardne pohrane na SSD diskovima ili pohrane na HDD diskovima, koji su sporiji ali jeftiniji. Količina dostupne pohrane može se odabrati po želji i naknadno povećati, ali ne i smanjiti. Maksimalna količina pohrane jedne instance iznosi 64TB. Instance bazi podataka podržavaju automatsko skaliranje, što znači da infrastruktura može po potrebi povećati ili smanjiti kapacitet posluživanja [43].

Servis također nudi i funkciju automatskih sigurnosnih kopija bazi podataka, te mogućnost oporavka baze iz istih. Također podržava konfiguracije više instanci bazi podataka za potrebe redundancije podataka i automatski failover¹⁰ između njih u slučaju da dođe do pada jedne baze podataka. Rad i performanse baza podataka mogu se nadgledati servisima Cloud Monitoring i Cloud Logging [42].

¹⁰ Prebacivanje na resurs (u ovom slučaju server) koji služi kao sigurnosna kopija glavnog servera u računalnoj mreži

Identity and Access Management

Identity and Access Management (IAM) je servis Google Clouda koji služi za upravljanje postavkama kontrole pristupa Google Cloud servisa i resursa. Namijenjen je administratorima cloud okruženja. Privilegije se mogu korisnicima dati na detaljnoj, granularnoj razini. Primjerice, dopuštenja pristupa datotekama u servisu Cloud Storage mogu se dati na razini individualne datoteke [44]. Pristup resursima se može dati i na osnovu ostalih atributa kao što su IP adresa uređaja i datum i vrijeme pristupa. Usluga IAM je potpuno besplatna [45].

Privilegije se daju izvođačima radnji u obliku uloga, koje su skupina jedne ili više privilegija. Mogu se davati unaprijed definirane uloge, ili administratori mogu raditi vlastite. Primjer unaprijed definirane uloge je Compute Admin uloga, koja izvođaču daje sva moguća prava nad Compute Engine resursima. Kreirane uloge spremaju se u dokumentima JSON formata [46].

Cloud Operations Suite

Google Cloudov Cloud Operations Suite je skupina servisa namijenjena za nadgledanje, praćenje rada i procesiranje logova ostalih usluga Google Cloud Platforme. Glavni servisi Cloud Operations Suitea su Cloud Logging i Cloud Monitoring [47].

Cloud Logging

Cloud Logging je servis za procesiranje logova koje proizvode aplikacije i ostali servisi u Google Cloud Platformu. Nudi uslugu pohrane, pretraživanja, procesiranja i postavljanja upozorenja na određene logove. Korištenjem programa Ops Agent ili klijentskih biblioteka, zajedno s Cloud Logging API-jem, u servis se mogu slati logovi iz bilo kojeg izvora, uključujući i on-premises okruženja i infrastrukture ostalih pružatelja usluge računalstva u oblaku [48].

Upozorenja (alerts) mogu koristiti logove na više načina. Može se konfigurirati da upozorenje koristi pojavljivanje specifičnog loga kao okidač, što je korisno u slučaju da se treba pratiti svako pojavljivanje nekog događaja. Može se konfigurirati i da se upali ako broj pojavljivanja nekog loga u određenoj jedinici vremena pređe postavljenu granicu, primjerice ako broj logova s greškama pređe neku granicu [48].

Cloud Monitoring

Cloud Monitoring je servis za prikupljanje metrika performansi servisa Google Cloud Platforma i aplikacija koje se pokreću na infrastrukturi GCP-a. Servis prikazuje prikupljene metrike na nadzornim pločama u kojima se podaci vizualiziraju u obliku grafikona ili tablica.

Mogu se prikupljati sistemske metrike kao što su količina slobodnog RAM-a ili opterećenje procesora, aplikacijske metrike koje prikuplja Ops Agent kao što su performanse Apache web servera, razne metrike koje je definirao korisnik pomoću Cloud Monitoring API-ja ili metrike koje su prikupljene iz logova u servisu Cloud Logging, primjerice količina HTTP 500 grešaka. Cloud Monitoring može slati upozorenja na temelju uvjeta koje definira korisnik, primjerice ako je opterećenje procesora nekog Compute Engine virtualnog servera iznad 90% više od 5 minuta [49].

Primjeri korištenja Google Cloud Platforme u praksi

Arquivei

Arquivei je brazilska IT firma koja je razvila web platformu za upravljanje poreznom dokumentacijom. Migraciju na Google Cloud Platform su započeli 2018. nakon što su prisustvovali Google for Startups Accelerator programu. Dokumenti preneseni na platformu ulaze u red čekanja koristeći servis *Pub/Sub*, GCP-ovu uslugu za asinkrono razmjenjivanje poruka između aplikacija ili servisa. Nadalje, pohranu podataka omogućuju servisi *Filestore*, GCP-ov upravljani servis pohrane podataka u obliku podatkovnih servera NFS protokola i *Cloud Bigtable*, GCP-ovog servisa *NoSQL* bazi podataka u oblaku. Arquivei tvrdi da je migracijom infrastrukture na Google Cloud Platform smanjio operativne troškove za oko 20% [50].

HSBC

HSBC je bankarska firma koja potječe iz Hong Konga. Spada među najveće banke diljem svijeta. Koriste servise Google Cloud Platforme kako bi automatizirali proces evaluacije telefonskih poziva korisničke podrške. Za to primjenjuju umjetnu inteligenciju, no morali su sami razviti programsko rješenje jer korisnici iz regije Hong Konga govore mješavinom engleskog i kantonskog jezika što je zadavalo probleme postojećim rješenjima. Koriste GCP-ove servise *AutoML* i *Speech-to-text* kako bi trenirali modele strojnog učenja koji služe za analizu osjećaja i značenja govora mušterija. Prikupljene analitike skladište se koristeći servis *BigQuery*, GCP-ov servis skladišta podataka u oblaku. HSBC tvrdi da je korištenje infrastrukture Google Cloud Platforme znatno smanjilo vrijeme potrebno za izvršavanje modela strojnog učenja. Nadalje, tvrde da modele koje izvršavaju u sat vremena na GCP-u bi trebali tjedan dana da se izvrše na njihovoj on-premises arhitekturi [51].

Alstom

Alstom je međunarodna kompanija koja se bavi projektiranjem i izgradnjom raznih oblika željeznica i sustava signalizacija. Uz pomoć konzultantske firme Injenia migrirali su postojeću infrastrukturu na Google Cloud Platformu. On-premises servere zamijenili su virtualnim serverima servisa Google Compute Engine. Uz manje troškove, to je i omogućilo znatno brži provisioning¹¹ računalne infrastrukture za nove projekte. Također koriste i servis Google Cloud CDN, GCP-ovu globalnu mrežu servera koji dostavljaju cache-ani sadržaj, kako bi omogućili brži prijenos datoteka između timova u Alstomovim podružnicama diljem svijeta, a podatke pohranjuju pomoću servisa Google Cloud Storage. Migracija infrastrukture je dovela do znatno smanjenih troškova. Alstom tvrdi da je trošak infrastrukture u GCP-u 10% originalnog budžeta za on-premises infrastrukturu [52].

¹¹ Dodjela računalnih resursa i njihova konfiguracija

Usporedba značajki Amazon Web Servicesa i Google Cloud Platforma

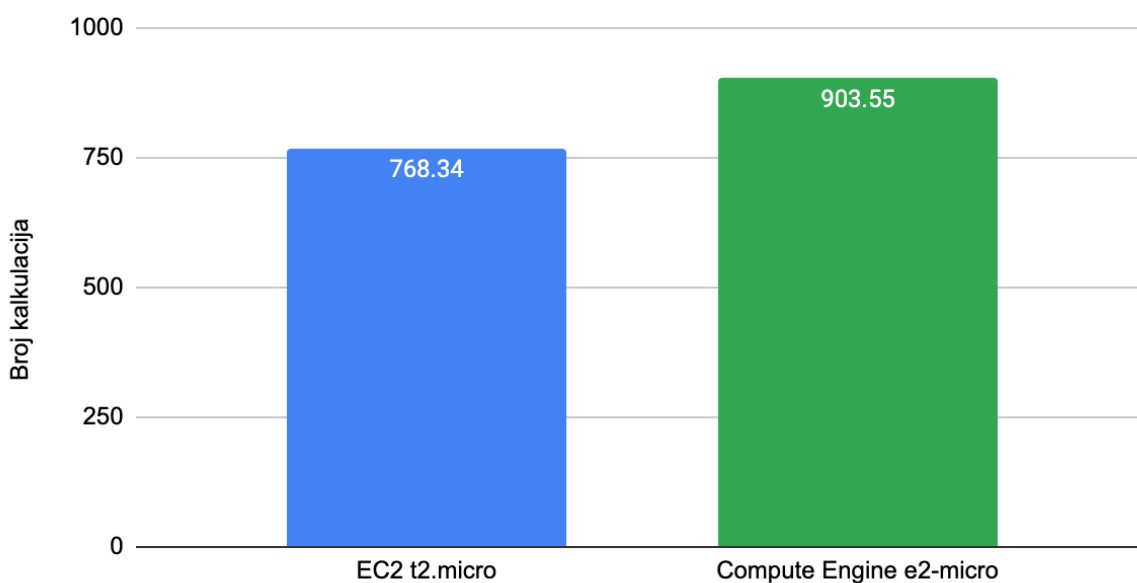
Performanse

Za potrebe mjerenja performansi odabrane su cjenovno bliske konfiguracije virtualnih servera dvaju pružatelja usluga. Kod Amazon Web Servicesa odabrana je instanca t2.micro jer je to jedina Linux instanca dostupna u probnoj, besplatnoj inačici usluge. Na Google Cloud Platformi kao ekvivalent je odabrana e2-micro instanca zbog svoje sličnosti hardverskom konfiguracijom i cijenom zakupa. Ostale pojedinosti konfiguracije poput medija pohrane i operacijski sustavi postavljeni su na zadane opcije. Instance su pokrenute u regiji London na oba pružatelja.

Testiranje performansi hardvera same instance odrađeno je programom Sysbench, jednostavnim alatom za mjerenje performansi hardvera koji se pokreće iz naredbenog retka. Snaga procesora uspoređena je Sysbenchovim CPU testom koji stvara teret na procesoru računanjem prostih brojeva. Sysbenchom je također testirana i propusnost memorije instance. Test se provodi na način da Sysbench dodjeli određenu količinu memorije sebi i čitanjem i pisanjem u dodijeljenu memoriju određuje njenu propusnost [53]. Rezultati Sysbenchovog CPU testa prikazani su na grafikonu 1, a rezultati testa propusnosti memorije na grafikonu 2.

Performanse CPU-a virtualnog servera

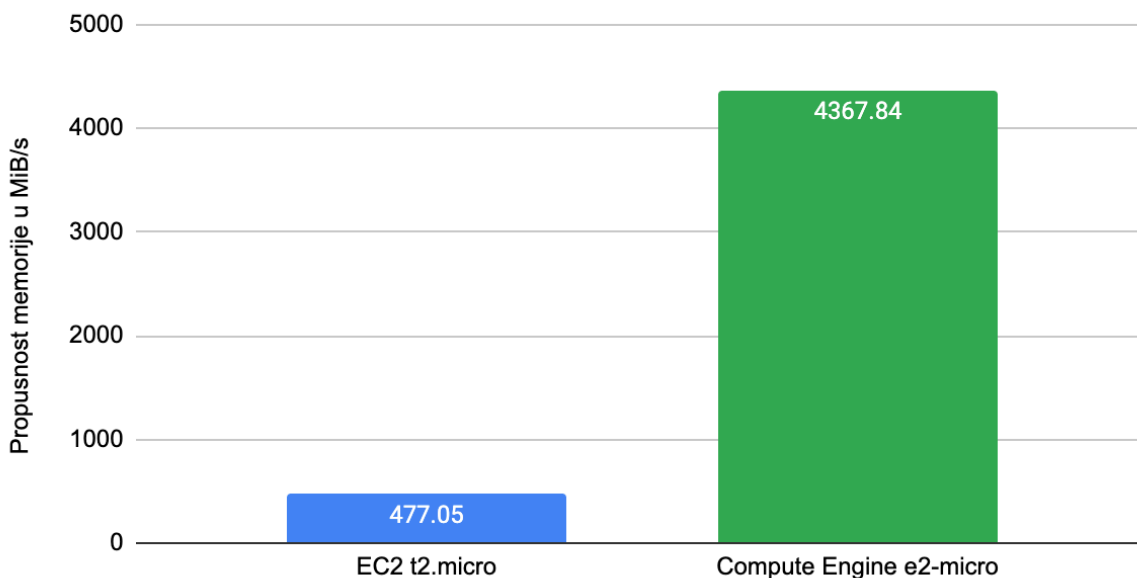
Sysbenchov CPU test, vrijeme od 10 sekundi



Grafikon 1 - Usporedba performansi CPU-a virtualnih servera

Propusnost memorije virtualnog servera

Sysbenchov memory test, vrijeme od 10 sekundi

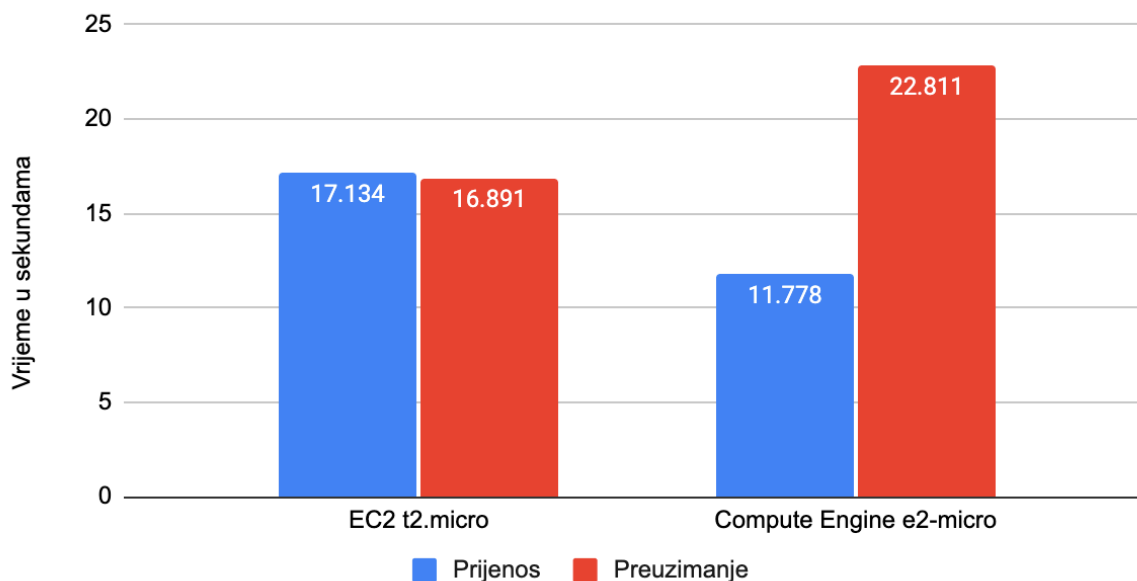


Grafikon 2 - Usporedba performansi memorije virtualnih servera

Razlika u brzini procesora između EC2 i Compute Engine instance je manja, ali memorija na Compute Engine instanci je znatno brža što čini ovaj servis pogodnijim za obavljanje memorijski intenzivnih zadataka.

Slanje i preuzimanje datoteka iz servisa objektna pohrane je vrlo česta radnja pri korištenju infrastrukture u oblaku. Koristeći CLI alate s virtualnih servera prenesena je i preuzeta datoteka od 1024MB na servis pohrane objekata (kod EC2 instance S3 i kod Compute Engine Cloud Storage). Naredbom *time* izmjereno je vrijeme potrebno za izvođenje te radnje. Usporeba rezultata ovog testa prikazana je na grafikonu 3.

Vrijeme prijenosa i preuzimanja datoteke od 1024MB koristeći uslugu pohrane objekata



Grafikon 3 - Usporedba vremena prijenosa i preuzimanja datoteke koristeći uslugu pohrane objekata

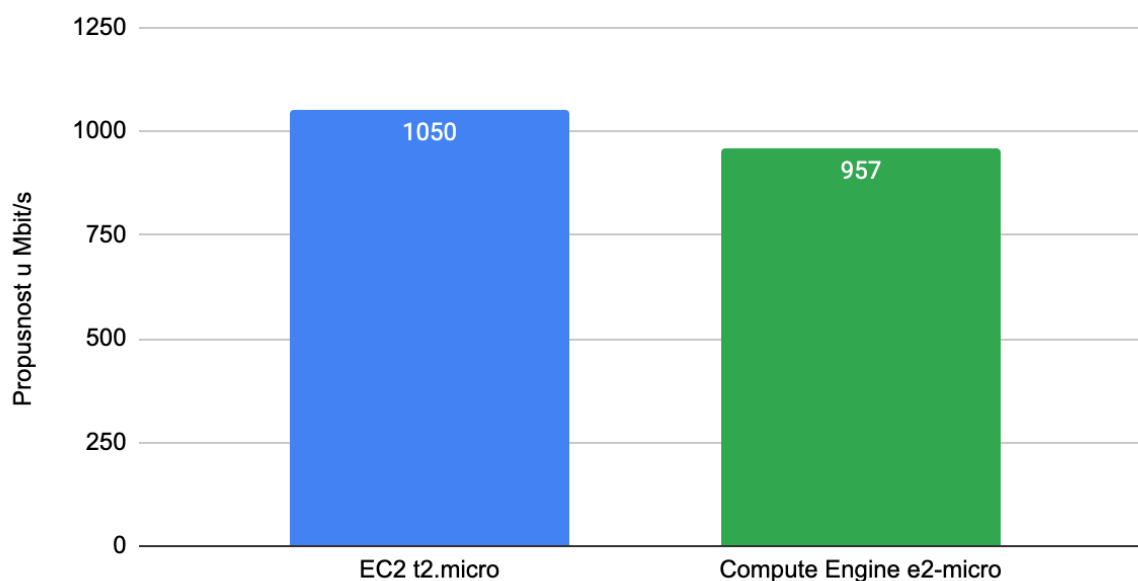
Vrijeme prijenosa i preuzimanja datoteke je gotovo jednako na servisima EC2 i S3. Prijenos datoteke sa Compute Engine servera na Cloud Storage je brži, a preuzimanje sporije od ekvivalentnih usluga na AWS-u.

Uzimajući u obzir kako je umrežavanje virtualnih servera neophodna funkcionalnost, još jedna bitna mjera performansi servisa je kapacitet mreže između dva virtualna servera. Test se izvodio alatom Iperf, alatom za mjerenje maksimalne moguće propusnosti mreže. Za potrebe ovog testa na servisima je bilo potrebno pokrenuti dodatni virtualni server kako bi se mogli spojiti u klijent-server odnosu.

Rezultati ovog testa prikazani su na grafikonu 4. Izvođenjem testa gdje sa klijenta šaljemo podatke TCP protokolom možemo zaključiti da su servisi konkurentni u ovom pogledu, iako EC2 ima manju prednost u propusnosti.

Propusnost između dva virtualna servera

Iperfov TCP test



Grafikon 4 - Usporedba propusnosti mreže između virtualnih servera

Sigurnost

Jedna od bitnih funkcionalnosti za sigurnost bilo koje računalne infrastrukture je zaštita od DDoS¹² napada. AWS i GCP nude upravljane servise koji štite korisnikovu infrastrukturu od takvih napada. Uzimajući u obzir kako DDoS napadi na infrastrukturu u oblaku mogu uzrokovati automatsko skaliranje na veći računalni kapacitet i time financijski naštetiti korisniku, ovi servisi su od dodatne važnosti za infrastrukturu u oblaku. AWS nudi servis AWS Shield. Ovaj servis je dostupan u dva izdanja, besplatni AWS Shield Standard koji pruža osnovnu zaštitu od DDoS napada i automatski je uključen svim korisnicima, te plaćeni servis AWS Shield Advanced koji nudi dodatnu zaštitu i može obavijestiti korisnike o manjim DDoS napadima [54]. Ekvivalentni, plaćeni servis na Google Cloud Platformi je Google Cloud Armor koji štiti resurse u GCP oblacima od napada poput DDoS, XSS¹³ i SQL injekcija [55].

Oba pružatelja usluga nude servise za sigurno upravljanje lozinkama i certifikatima. To su AWS-ov Secret Manager i Google Cloud Platformov istoimeni servis. Ovi servisi mogu služiti kao središnje mjesto za pohranjivanje osjetljivih informacija poput certifikata, API ključeva, autentikacijskih informacija i rotaciju¹⁴ istih [56] [57]. AWS-ov Secrets Manager

¹² Distributed denial of service napad, blokiranje računalnih mreža slanjem velikog broja zahtjeva serveru

¹³ Cross site scripting, injekcija malicioznog koda u web stranice

¹⁴ Periodična izmjena

kriptira sve pohranjene podatke ključevima iz servisa AWS Key Management Service koristeći envelope encryption¹⁵ metodu kriptiranja podataka. Informacija koja se pohranjuje u servis prvo se kriptira koristeći AES-256 data key, koji je kriptiran ključem iz servisa AWS Key Management Service koji može biti ili upravljani od strane AWS-a ili korisnikov vlastiti [58]. Prijenos podataka iz AWS-ovog Secrets Managera je također sigurnosno zaštićen. AWS zahtjeva da pozivatelj Secrets Manager API-ja kriptira pozive X.509 certifikatima ili Secrets Manager Secret Access Keyem [59]. GCP-ov Secrets Manager servis kriptira ključeve istom metodom. Prvo se generira AES-256 Data Encryption Key koji se potom kriptira Key Encryption Keyem iz GCP-ovog servisa Keystore [60]. GCP-ov Secrets Manager također podržava kriptiranje podatkovnih ključeva korisnikovim vlastitim ključevima [61].

Oba pružatelja pružaju uslugu upravljanja identitetima i pristupom pod istim imenom – IAM. Ovim servisima mogu se postavljati kontrole pristupa svim resursima i time uspostaviti temeljnu podjelu prava ovisno o potrebama svih korisnika. Oba servisa podržavaju korištenje multifaktorske autentikacije i Single sign-on autentikaciju, što dodatno podiže razinu sigurnosti računalne infrastrukture u oblaku [25] [44]. Princip rada oba servisa je jednak. Administratori definiraju prava pristupa resursima u obliku uloga koje dobivaju korisnici uspješnom autentikacijom na infrastrukturu. Najznačajnije razlike između ova dva servisa su kvote. Primjerice, AWS IAM ograničava maksimalni broj uloga u jednom računu na 1000, dok je maksimum kod GCP IAM-a 300 po organizaciji i 300 po projektu [62] [63].

Usluge pohrane datoteka u obliku objekata oba pružatelja pružaju dobre značajke za sigurnost podataka. U servisu S3, svaka prenesena datoteka kriptira se prije nego što se pohrani na diskove u podatkovnom centru AWS-a i dekriptira prije nego što se posluži korisniku. Standardna enkripcija podataka vrši se pomoću SSE-S3 (Server Side Encryption with Amazon S3 Managed Keys) ključeva koji su bazirani na AES-256 algoritmu enkripcije, ali korisnici mogu odabrati koristiti i vlastite ključeve za kriptiranje podataka [64]. GCP-ov Cloud Storage također kriptira sve podatke prenesene na servis prije nego što se zapišu na diskove. Zadana konfiguracija je da se za to koriste GCP-ovi ključevi enkripcije koji koriste AES-256 algoritam, ali servis se može konfigurirati i tako da se za enkripciju koriste ključevi koje su generirali korisnici [65] [66].

¹⁵ Kriptiranje podataka jednim ključem i potom kriptiranje tog ključa drugim ključem

Automatsko skaliranje

Automatsko skaliranje je jedno od glavnih prednosti korištenje infrastrukture u oblaku. Računalni kapacitet infrastrukture može se povećati ili smanjiti, što je ključno kod održavanja visoke dostupnosti i brzine usluge koja se poslužuje s infrastrukture, kao i kod smanjenja troškova korištenja usluga pružatelja infrastrukture u oblaku.

Amazon Web Services omogućuje automatsko skaliranje EC2 instanci nakon što se one dodaju u Auto-scaling group (ASG). Nude se brojni okidači za izvođenje automatskog skaliranja. Najjednostavniji oblik automatskog skaliranja kojeg servis nudi je ručno skaliranje, gdje korisnik sam određuje željeni broj instanci u ASG-u i potvrđuje promjenu, nakon čega servis EC2 pokreće ili gasi instance prema traženom broju. Može se konfigurirati i tako da EC2 drži određeni broj instanci aktivnih. Kod ove konfiguracije, EC2 periodički provjerava zdravlje instanci te automatski gasi instancu i pokreće novu u slučaju da zdravlje jedne instance ne zadovoljava zadane kriterije (primjerice, ako dođe do zastoja sustava zbog curenja memorije aplikacije koja se poslužuje). Automatsko skaliranje se može odvijati i prema vremenskom rasporedu (primjerice, svaki dan od 22:00 do 06:00 smanji broj instanci u ASG-u na 1) [67]. Skaliranje se može automatizirati i temeljeno na određenim metrikama, kao što je zaokupljenost procesora. To može biti jednostavno skaliranje (npr. povećanje broja instanci kad zaokupljenost procesora pređe 90%) ili dinamičko skaliranje (npr. definiramo da je tražena zaokupljenost procesora instanci u ASG-u 50% i EC2 automatski povećava ili smanjuje broj instanci kako bi zaokupljenost procesora konstantno bila na traženoj razini) [68]. Uz ove reaktivne načine automatskog skaliranja, ono se može koristiti i na proaktivan način koristeći prediktivno skaliranje. Prediktivno skaliranje koristi podatke iz servisa CloudWatch i koristi strojno učenje kako bi analiziralo obrasce zaokupljenosti ASG-a kao što su zaokupljenost procesora, mrežna aktivnost, broj zahtjeva na load balanceru i automatski mijenja broj instanci temeljeno na predviđenom korištenju [69].

Google Cloud Platform nudi mogućnosti automatskog skaliranja Compute Engine virtualnih servera. Virtualni serveri moraju biti u Managed instance groupu (MIG) kako bi se mogli automatski skalirati. Automatsko skaliranje može se konfigurirati vremenskim rasporedom ili tako da se zadovolji određena mjera korištenja. Mjere korištenja mogu biti zaokupljenost procesora, kapacitet load balancera ili ostale metrike iz servisa Cloud Monitoring. U ovom slučaju, GCP-ovo automatsko skaliranje mijenja broj servera u MIG-u kako bi održala zadanu metriku konstantnom, jednako kao i kod dinamičkog skaliranja u AWS-

ovom servisu EC2 [70]. Prediktivno skaliranje je dostupno i na Google Cloud Platformu ali jedina metrika po kojoj može raditi predviđanja je zaokupljenost procesora [71].

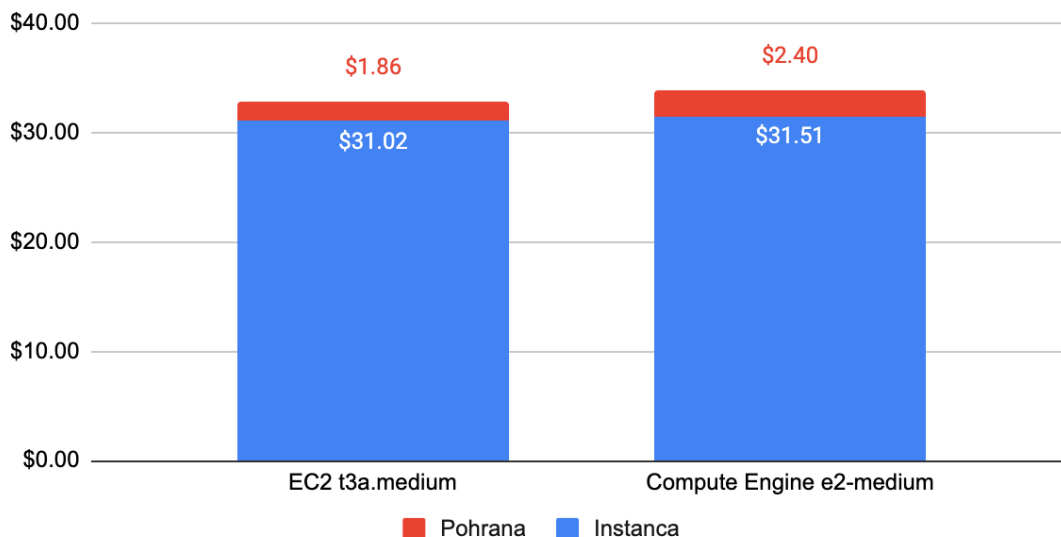
Cijena usluga

EC2 i Compute Engine

Usporedba cijena ovih dvaju servisa napravljena je koristeći kalkulator troškova koji su dostupni na web stranicama oba servisa. Kao prvi scenarij, pokrećemo neku aplikaciju sa virtualnog servera u oblaku koja mora raditi bez prestanka. Aplikacija nema velike zahtjeve za resursima stoga je server za generalnu namjenu s 2 vCPU-a x86 arhitekture i 4GB RAM-a dovoljan. U servisu EC2 prikladan tip instance bio bi t3a.medium, a njegov ekvivalent na servisu Compute Engine je e2-medium. Na obje instance dodajemo i disk od 20GB kojeg na AWS-u pruža servis Elastic Block Store, a na GCP-u servis Persistent Disk. Radi jednostavnosti, vrsta zakupa je obična, bez primjene ikakvih popusta. Na GCP-u ovakva konfiguracija mjesečno (730 sati rada servera) ukupno košta \$33.91 dok na AWS-u ukupno košta \$32.88. Detaljan pregled cijena prikazan je na grafikonu 5.

Cijena 730 sati rada virtualnog servera

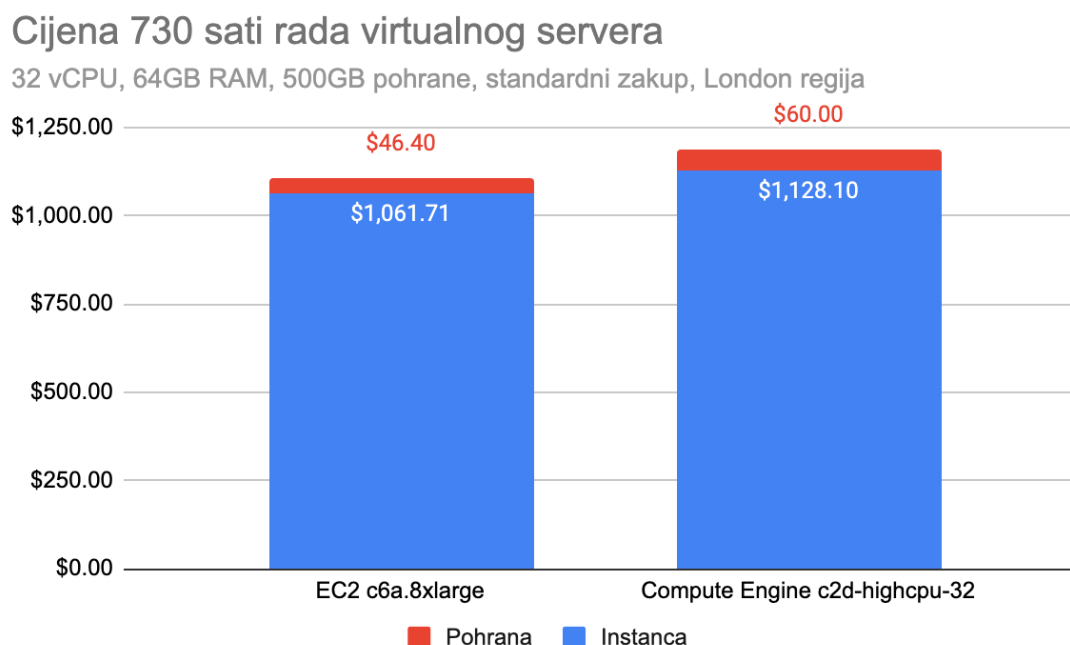
2 vCPU, 4GB RAM, 20GB pohrane, standardni zakup, London regija



Grafikon 5 - Usporedba cijene konfiguracije virtualnog servera za generalno korištenje

U slučaju da se radi o izvođenju aplikacije koja ima vrlo visoke zahtjeve snage procesora možemo odabrati instancu optimiziranu procesorskom snagom. Primjerice, prijašnju konfiguraciju mijenjamo i uzimamo virtualni server od 32 vCPU-a x86 arhitekture i 64GB RAM-a, te umjesto diska od 20GB dodajemo disk od 500GB. U servisu EC2 to odgovara

instanci c6a.8xlarge, a u servisu Compute Engine c2d-highcpu-32 virtualnom serveru. Mjesečno (730 sati rada) takva konfiguracija na EC2 košta \$1,108.11 dok na Compute Engineu košta \$1,188.10 [4] [72]. Detaljan pregled cijena ovih virtualnih servera prikazan je na grafikonu 6.



Grafikon 6 - Usporedba cijene konfiguracije virtualnog servera optimiziranog za intenzivnije zahtjeve procesorske snage

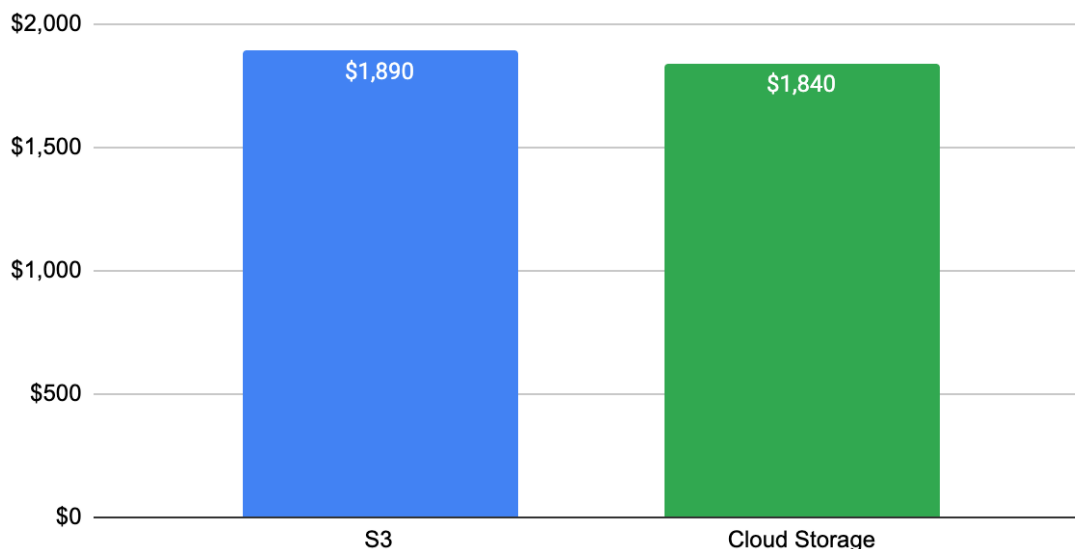
S3 i Cloud Storage

Usporedba cijene usluga pohrane podataka biti će napravljena pomoću scenarija gdje je potrebno pohranjivati 80TB podataka. Uzimajući u obzir kako troškovi pohrane podataka kod oba pružatelja usluga variraju po regiji koja se odabere, usporedba će biti napravljena na lokaciji London, koja odgovara AWS-ovoj regiji eu-west-2 i GCP-ovoj regiji europe-west2.

U slučaju da se ovim podacima pristupa na dnevnoj bazi optimalan izbor klase pohrane bi bio onaj za generalno korištenje. To odgovara klasi pohrane S3 Standard servisa S3 i Standard storage servisa Cloud Storage. Mjesečna cijena pohrane podataka u tom slučaju je prikazana na grafikonu 7.

Cijena pohrane 80TB podataka

Standardna klasa, London regija



Grafikon 7 - Usporedba cijene standardne pohrane

Cijena pohrane ove količine podataka skuplja je na servisu S3. Cjenovni modeli ovih dvaju servisa razlikuju se. Oba servisa obračunavaju trošak po gigabajtu pohrane, ali S3 postaje jeftiniji kada ga se koristi za veće količine pohrane. Cijene pohrane u prethodnom grafikonu izračunate su po cjenicima prikazanim u tablici 1.

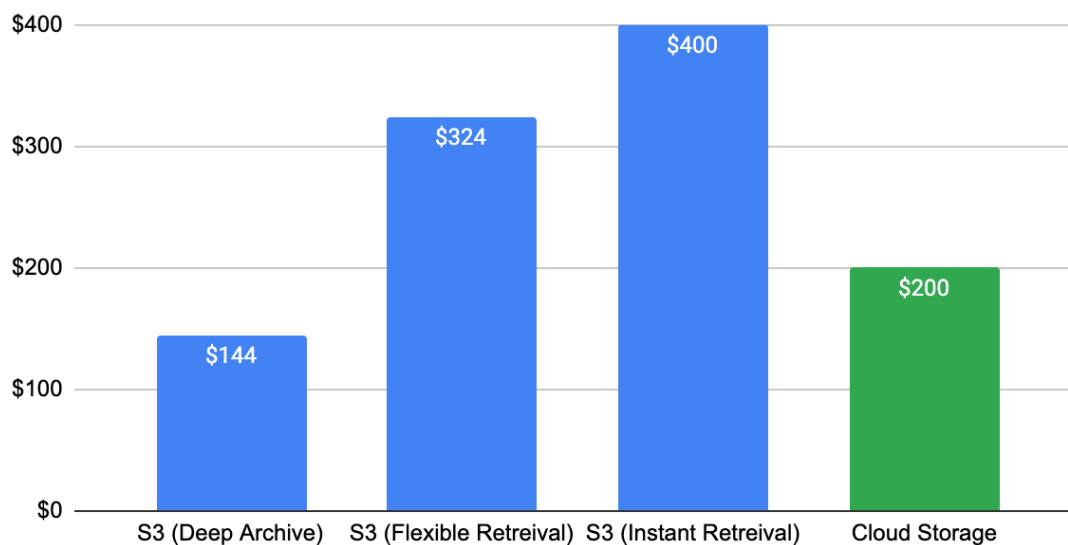
S3 Standard, London (eu-west-2)	
Prvih 50TB / mj.	\$0.024 po GB
Sljedećih 450TB / mj.	\$0.023 po GB
Preko 500TB / mj.	\$0.022 po GB
GCP Cloud Storage, Standard Storage klasa, London (europe-west2)	
GB pohrane / mj.	\$0.023

Tablica 1 - Cijene standardne pohrane

U slučaju da se radi o podacima koji se pohranjuju u arhivske svrhe, korisnici će odabrati klasu Archive storage na servisu Cloud Storage ili jednu od arhivskih klasa pohrane na servisu S3. Cloud Storage u svojoj arhivskoj klasi pohrane podataka nudi instantno dohvaćanje podataka. Ekvivalentna klasa pohrane servisa S3 je S3 Glacier Instant Retrieval. Međutim, instantna dostupnost arhiviranih podataka nije uvijek nužna, stoga je prednost servisa S3 ta što nudi ostale, jeftinije klase arhivske pohrane. Usporedba cijena arhivskih klasa pohrane prikazana je u grafikonu 8.

Cijena pohrane 80TB podataka

Arhivska klasa, London regija



Grafikon 8 - Usporedba cijene arhivskih klasa pohrane

Servis Cloud Storage nudi znatno jeftiniju arhivsku pohranu s instantno dostupnim podacima, ali S3 Glacier Deep Archive nudi jeftiniju pohranu sa vremenom dohvaćanja podataka do 12 sati. S3 Glacier Flexible Retrieval dolazi s vremenom dohvaćanja podataka od 3 do 5 sati [73] [74].

S3, London (eu-west-2)	
S3 Glacier Instant Retrieval	\$0.005 po GB / mj.
S3 Glacier Flexible Retrieval	\$0.00405 po GB / mj.
S3 Glacier Deep Archive	\$0.0018 po GB / mj.
Cloud Storage, London (eu-west-2)	
Archive Storage	\$0.0025 po GB / mj.

Tablica 2 - Cijene arhivske pohrane

Zaključak

Pružatelji usluga računalstva u oblaku danas nude vrlo primamljivu alternativu on-premises infrastrukturi. Korištenjem infrastrukture u oblaku može se znatno pojednostavniti proces administracije infrastrukture i ostvariti ušteda financijskih sredstava, pogotovo u okruženjima koja nemaju znatno visoke hardverske zahtjeve.

Usporedbom Google Cloud Platforma i Amazon Web Servicesa možemo zaključiti da oba imaju vrlo visoki stupanj razvijenosti. Obje platforme pružaju robustna rješenja računalne infrastrukture u oblaku o kojima ovisi veliki broj većih firmi. Uz to, razvijaju nove servise i proširuju postojeće kako bi ostale konkurentne. Također aktivno rade na proširenju njihovih globalnih računalnih mreža. Google Cloud Platform radi na širenju u regije Grčke, Švedske, Norveške, Saudijske Arabije i ostale, dok Amazon Web Services uskoro otvara regije Novog Zelanda, zapadne Kanade, Izraela, Tajlanda i Singapura [6] [34].

Neosporiva prednost Amazon Web Servicesa nad Google Cloud Platformom je ta da je platforma sama po sebi dulje na tržištu i time zrelija, no visoki stupanj razvitka i konkurentnost ovih dviju platformi znači da nema definitivnog odgovora pitanju „koji je servis bolji“. AWS je često prvi izbor zbog svoje tržišne zastupljenosti i većim brojem stručnjaka, dok GCP može biti bolja opcija firmama koje trenutno koriste ostale Googleove usluge zbog većeg stupnja integracije (primjerice, GCP-ov IAM se integrira s Google Workspaceom i dopušta upravljanje kontrole pristupa Google Workspaceu kroz IAM) [44].

Popis priloga

Slika 1 - Glavni ekran web korisničkog sučelja AWS-a.....	8
Slika 2 - Regije Amazon Web Servicesa, izvor: https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/	9
Slika 3 - Odabir AMI-ja pri pokretanju EC2 instance	12
Slika 4 - Glavni ekran web korisničkog sučelja Google Cloud Platforma	18
Slika 5 - Regije Google Cloud Platforma, izvor: https://cloud.google.com/about/locations	19
Grafikon 1 - Usporedba performansi CPU-a virtualnih servera	26
Grafikon 2 - Usporedba performansi memorije virtualnih servera.....	27
Grafikon 3 - Usporedba vremena prijenosa i preuzimanja datoteke koristeći uslugu pohrane objekata.....	28
Grafikon 4 - Usporedba propusnosti mreže između virtualnih servera	29
Grafikon 5 - Usporedba cijene konfiguracije virtualnog servera za generalno korištenje	32
Grafikon 6 - Usporedba cijene konfiguracije virtualnog servera optimiziranog za intenzivnije zahtjeve procesorske snage ...	33
Grafikon 7 - Usporedba cijene standardne pohrane.....	34
Grafikon 8 - Usporedba cijene arhivskih klasa pohrane.....	35
Tablica 1 - Cijene standardne pohrane.....	34
Tablica 2 - Cijene arhivske pohrane	35

Izvori

- [1] National Institute of Standards and Technology, »The NIST Definition of Cloud Computing,« 9. 2011. [Mrežno]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/legacy/sp/nistspecialpublication800-145.pdf>. [Pokušaj pristupa 30. 5. 2023.].
- [2] J. Hargrove, »History of Amazon Web Services - Jerry Hargrove - AWS Geek,« [Mrežno]. Available: <https://www.awsgeek.com/AWS-History/>. [Pokušaj pristupa 1. 6. 2023.].
- [3] Synergy Research Group, »Q1 Cloud Spending Grows by Over \$10 Billion from 2022; the Big Three Account for 65% of the Total,« 27. 4. 2023.. [Mrežno]. Available: <https://www.srgresearch.com/articles/q1-cloud-spending-grows-by-over-10-billion-from-2022-the-big-three-account-for-65-of-the-total>. [Pokušaj pristupa 1. 6. 2023.].
- [4] Amazon Web Services, »Amazon EC2 On-Demand Pricing,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/ec2/pricing/on-demand/>. [Pokušaj pristupa 1. 6. 2023.].
- [5] Amazon Web Services, »AWS Lambda Pricing,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/lambda/pricing/>. [Pokušaj pristupa 1. 6. 2023.].
- [6] Amazon Web Services, »Global Infrastructure,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/about-aws/global-infrastructure/>. [Pokušaj pristupa 1. 6. 2023.].
- [7] Amazon Web Services, »Introducing two new Amazon EC2 bare metal instances,« 11. 2021.. [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/about-aws/whats-new/2021/11/amazon-ec2-bare-metal-instances/>. [Pokušaj pristupa 3. 6. 2023.].
- [8] Amazon Web Services, »Amazon EC2 Instance Types,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/>. [Pokušaj pristupa 3. 6. 2023.].

- [9] Amazon Web Services, »On-Demand Instances,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/ec2-on-demand-instances.html>. [Pokušaj pristupa 6. 5. 2023.].
- [10] Amazon Web Services, »Reserved Instances,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/ec2-reserved-instances.html>. [Pokušaj pristupa 5. 6. 2023.].
- [11] Amazon Web Services, »Amazon EC2 Reserved Instances Pricing,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/ec2/pricing/reserved-instances/pricing/>. [Pokušaj pristupa 6. 5. 2023.].
- [12] Amazon Web Services, »Spot Instances,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/using-spot-instances.html>. [Pokušaj pristupa 5. 6. 2023.].
- [13] Amazon Web Services, »Dedicated Hosts,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/dedicated-hosts-overview.html>. [Pokušaj pristupa 5. 6. 2023.].
- [14] Amazon Web Services, »Dedicated Instances,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/dedicated-instance.html>. [Pokušaj pristupa 5. 6. 2023.].
- [15] Amazon Web Services, »Amazon Machine Images (AMI),« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/AMIs.html>. [Pokušaj pristupa 8. 6. 2023.].
- [16] Amazon Web Services, »Amazon EC2 instance root device volume,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/RootDeviceStorage.html>. [Pokušaj pristupa 8. 6. 2023.].
- [17] Amazon Web Services, »Amazon Elastic Block Store (Amazon EBS),« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/AmazonEBS.html>. [Pokušaj pristupa 8. 6. 2023.].
- [18] Amazon Web Services, »Amazon S3 FAQs,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/s3/faqs>. [Pokušaj pristupa 12. 6. 2023.].
- [19] Amazon Web Services, »Amazon S3 Storage Classes,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/s3/storage-classes/>. [Pokušaj pristupa 12. 6. 2023.].
- [20] Amazon Web Services, »Organizing objects in the Amazon S3 console by using folders,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/using-folders.html>. [Pokušaj pristupa 12. 6. 2023.].
- [21] Amazon Web Services, »What is Amazon Relational Database Service (Amazon RDS)?,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonRDS/latest/UserGuide/Welcome.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [22] Amazon Web Services, »Using the query editor for Aurora Serverless v1,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonRDS/latest/AuroraUserGuide/query-editor.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [23] Amazon Web Services, »Quotas and constraints for Amazon RDS,« [Mrežno]. Available: https://docs.aws.amazon.com/AmazonRDS/latest/UserGuide/CHAP_Limits.html. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [24] Amazon Web Services, »Amazon RDS Instance Types,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/rds/instance-types/>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [25] Amazon Web Services, »What is IAM?,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/introduction.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [26] Amazon Web Services, »What is Amazon CloudWatch?,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudWatch/latest/monitoring/WhatIsCloudWatch.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [27] Amazon Web Services, »Collect metrics and logs from Amazon EC2 instances and on-premises servers with the CloudWatch agent,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudWatch/latest/monitoring/Install-CloudWatch-Agent.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].

- [28] Amazon Web Services, »Working with log groups and log streams,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonCloudWatch/latest/logs/Working-with-log-groups-and-streams.html>. [Pokušaj pristupa 16. 6. 2023.].
- [29] Amazon Web Services, »Airbnb Case Study,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/airbnb-case-study/>. [Pokušaj pristupa 18. 6. 2023.].
- [30] Amazon Web Services, »Saving 80% on Costs While Improving Reliability and Performance Using Amazon Aurora with Panasonic Avionics,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/solutions/case-studies/panasonic-avionics-amazon-aurora-case-study/>. [Pokušaj pristupa 18. 6. 2023.].
- [31] Google Cloud Platform, »Google Cloud infrastructure,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/infrastructure>. [Pokušaj pristupa 21. 6. 2023.].
- [32] Google Cloud Platform, »Google Cloud products,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/products>. [Pokušaj pristupa 21. 6. 2023.].
- [33] Pluralsight, »The History of Google Cloud Platform,« 8. 6. 2023.. [Mrežno]. Available: <https://www.pluralsight.com/resources/blog/cloud/history-google-cloud-platform>. [Pokušaj pristupa 21. 6. 2023.].
- [34] Google Cloud Platform, »Cloud locations,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/about/locations>. [Pokušaj pristupa 21. 6. 2023.].
- [35] Google Cloud Platform, »Compute Engine,« [Mrežno]. Available: https://cloud.google.com/compute/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=emea-emea-all-en-dr-bkws-all-all-trial-e-gcp-1011340&utm_content=text-ad-none-any-DEV_c-CRE_253480901193-ADGP_Hybrid%20%7C%20BKWS%20-%20EXA%20%7C%20Txt%20~%20Compute%20~%20Com. [Pokušaj pristupa 22. 6. 2023.].
- [36] Google Cloud Platform, »Committed use discounts for Compute Engine,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/instances/committed-use-discounts-overview>. [Pokušaj pristupa 1. 7. 2023.].
- [37] Google Cloud Platform, »Images,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/images>. [Pokušaj pristupa 23. 6. 2023.].
- [38] Google Cloud Platform, »Storage options,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/disks>. [Pokušaj pristupa 23. 6. 2023.].
- [39] Google Cloud Platform, »Quotas & limits,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/quotas>. [Pokušaj pristupa 24. 6. 2023.].
- [40] Google Cloud Platform, »Product overview of Cloud Storage,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/docs/introduction>. [Pokušaj pristupa 24. 6. 2023.].
- [41] Google Cloud Platform, »Storage classes,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/docs/storage-classes>. [Pokušaj pristupa 24. 6. 2023.].
- [42] Google Cloud Platform, »What is Cloud SQL?,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/sql/docs/introduction>. [Pokušaj pristupa 24. 6. 2023.].
- [43] Google Cloud Platform, »About instance settings,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/sql/docs/mysql/instance-settings>. [Pokušaj pristupa 24. 6. 2023.].
- [44] Google Cloud Platform, »IAM Overview,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/iam/docs/overview>. [Pokušaj pristupa 25. 6. 2023.].
- [45] Google Cloud Platform, »Identity and Access Management (IAM),« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/iam>. [Pokušaj pristupa 25. 6. 2023.].
- [46] Google Cloud Platform, »IAM basic and predefined roles reference,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/iam/docs/understanding-roles#compute.admin>. [Pokušaj pristupa 25. 6. 2023.].

- [47] Google Cloud Platform, »Google Cloud's operations suite (formerly Stackdriver),« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/products/operations?hl=en>. [Pokušaj pristupa 30. 6. 2023.].
- [48] Google Cloud Platform, »Cloud Logging overview,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/logging/docs/overview>. [Pokušaj pristupa 30. 6. 2023.].
- [49] Google Cloud Platform, »Cloud Monitoring overview,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/monitoring/docs/monitoring-overview>. [Pokušaj pristupa 30. 6. 2023.].
- [50] Google Cloud, »Arquivei Case Study,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/customers/arquivei/>. [Pokušaj pristupa 20. 6. 2023.].
- [51] Google Cloud, »HSBC Case Study,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/customers/hsbc/>. [Pokušaj pristupa 20. 6. 2023.].
- [52] Google Cloud, »Alstom Case Study,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/customers/alstom/>. [Pokušaj pristupa 20. 6. 2023.].
- [53] Gentoo Linux Wiki, »Sysbench,« [Mrežno]. Available: <https://wiki.gentoo.org/wiki/Sysbench>. [Pokušaj pristupa 12. 7. 2023.].
- [54] Amazon Web Services, »AWS Shield Features,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/shield/features/>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [55] Google Cloud Platform, »Google Cloud Armor overview,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/armor/docs/cloud-armor-overview>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [56] Google Cloud Platform, »Secret Manager conceptual overview,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/secret-manager/docs/overview>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [57] Amazon Web Services, »What is AWS Secrets Manager,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/secretsmanager/latest/userguide/intro.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [58] Amazon Web Services, »Secret encryption and decryption in AWS Secrets Manager,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/secretsmanager/latest/userguide/security-encryption.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [59] Amazon Web Services, »Data protection in AWS Secrets Manager,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/secretsmanager/latest/userguide/data-protection.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [60] Google Cloud Platform, »Default encryption at rest,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/docs/security/encryption/default-encryption>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [61] Google Cloud Platform, »Enable Customer-Managed Encryption Keys for Secret Manager,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/secret-manager/docs/cmek>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [62] Amazon Web Services, »IAM and AWS STS Quotas,« [Mrežno]. Available: https://docs.aws.amazon.com/IAM/latest/UserGuide/reference_iam-quotas.html. [Pokušaj pristupa 12. 7. 2023.].
- [63] Google Cloud Platform, »IAM Quotas and Limits,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/iam/quotas>. [Pokušaj pristupa 12. 7. 2023.].
- [64] Amazon Web Services, »Amazon S3 Encrypts New Objects By Default,« 5. 1. 2023.. [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/blogs/aws/amazon-s3-encrypts-new-objects-by-default/>. [Pokušaj pristupa 12. 6. 2023.].
- [65] Google Cloud Platform, »Data encryption options,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/docs/encryption>. [Pokušaj pristupa 8. 7. 2023.].
- [66] Google Cloud Platform, »Google-managed encryption keys,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/docs/encryption/default-keys>. [Pokušaj pristupa 8. 7. 2023.].

- [67] Amazon Web Services, »Scale the size of your Auto Scaling group,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/userguide/scale-your-group.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [68] Amazon Web Services, »Dynamic scaling for Amazon EC2 Auto Scaling,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/userguide/as-scale-based-on-demand.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [69] Amazon Web Services, »Predictive scaling for Amazon EC2 Auto Scaling,« [Mrežno]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/autoscaling/ec2/userguide/ec2-auto-scaling-predictive-scaling.html>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [70] Google Cloud Platform, »Autoscaling groups of instances,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/autoscaler>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [71] Google Cloud Platform, »Scaling based on predictions,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/compute/docs/autoscaler/predictive-autoscaling>. [Pokušaj pristupa 11. 7. 2023.].
- [72] Google Cloud Platform, »Google Cloud Pricing Calculator,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/products/calculator>. [Pokušaj pristupa 6. 7. 2023.].
- [73] Amazon Web Services, »Amazon S3 Pricing,« [Mrežno]. Available: <https://aws.amazon.com/s3/pricing/>. [Pokušaj pristupa 12. 7. 2023.].
- [74] Google Cloud Platform, »Cloud Storage Pricing,« [Mrežno]. Available: <https://cloud.google.com/storage/pricing>. [Pokušaj pristupa 12. 7. 2023.].