



Amazon Web Services –palveluiden hyödyntäminen opetusympäristössä

Mikko Arjola

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2019

Tietojenkäsittely
Tietoverkkopalvelut

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tietojenkäsittely
Tietoverkkopalvelut

ARJOLA, MIKKO:

Amazon Web Services -palveluiden hyödyntäminen opetusympäristössä

Opinnäytetyö 47 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Joulukuu 2019

Opinnäytetyön aihe saatiin Tampereen ammattikorkeakoulun entiseltä lehtorilta. Työssä tutkittiin, voisiko pilvipalvelualustoja hyödyntää Tampereen ammattikorkeakoulun opetusympäristössä tietojenkäsittelyn koulutuksessa. Aihetta selvitettiin haastattelujen ja pilvipalveluvertailujen avulla.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, voiko pilvipalvelu alustojen palveluja hyödyntää opetusympäristössä. Opinnäytetyö oli tarkoitus toteuttaa opettajia haastatteleamalla ja verrata tuloksia toisen opinnäytetyöhön, joka käsittelee Azure-pilvipalvelualustaa. Haastattelun ja vertailun tuloksia hyödyntäen selvitettiin mitä toimenpiteitä opinnäytetyössä lähdettiin käsittelemään.

Työ toteutettiin haastatteleamalla Tampereen ammattikorkeakoulun tietojenkäsittelyn opettajia puolistrukturoidulla mallilla. Haastattelujen tulosten pohjalta tutkittiin juuri niitä asioita, joita opettajat halusivat alustoista tietää. Tutkimuskaavioissa vertailtiin Amazon Web Services ja Microsoft Azure -palveluja ja arvioitiin niiden keskinäistä hinta-laatusuhdetta. Vertailussa otettiin huomioon palveluiden hinnoittelu, alustakohtaiset palveluntarjonnat sekä koulun aikaisemmat sopimukset palveluntarjoajien välillä.

Opinnäytetyössä kuvattiin pilvipalveluiden toimintaa yleisesti toimintamallien, käsitteiden ja palveluntarjonnan näkökulmasta. Pilvipalvelutarjontaa toteutettiin myös vertailutyötä Microsoft Azure -pilvipalvelualustan kesken.

Opinnäytetyön lopputuloksena syntyi tutkimustietoa AWS-pilvipalvelusta sekä kahden pilvipalvelualustan vertailutietoa. Tulosten perusteella todettiin, että AWS-pilvipalvelun tarjonta kuten virtualisointi, soveltuu käytettäväksi opetusympäristössä esimerkiksi virtuaalisten palvelimien avulla. Myös opetuspolut voivat hyödyntää virtualisointia tarpeidensa mukaisesti esimerkiksi pilvitallennukseen. Kustannusvertailun sekä koulun aikaisemman yhteistyön takia todettiin Azure-pilvipalvelun olevan suositeltava vaihtoehto opetusympäristölle.

Asiasanat: virtualisointi, infrastruktuuri, laskenta

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Business Information Systems
Network Services

ARJOLA, MIKKO:
Utilization of Amazon Web Services in a Teaching Environment

Bachelor's thesis 47 pages, appendices 6 pages
December 2019

The subject for the Bachelor's thesis was given by a former senior lecturer of the Tampere University of Applied Sciences. The idea of the thesis was to investigate, whether Tampere University of Applied Sciences could start utilizing cloud computing platforms in the Degree Programme in Business Information Systems. Further investigation of the thesis was conducted with interviews and comparisons between cloud computing platforms.

The aim of the thesis was to research whether would be possible to utilize the services of a cloud platform in an educational environment. The working method of the thesis was to conduct interviews with teachers, and make comparisons with another thesis, which focuses on Azure cloud computing platform. The procedures that are included in the thesis comes from the interviews and comparisons.

The interviews were held using a semi-structured interview method with the teachers of the Business Information Systems. Further research was conducted on the topics that were brought up during the interviews. The comparison charts focused on comparing Amazon Web Services and Microsoft Azure services and their price to performance values.

This Bachelor's thesis describes the actions of the cloud computing providers through their business model, terminology and service offerings viewpoints. Comparisons between the services of the cloud computing providers is also conducted.

The result of the thesis were research data on the AWS cloud service, as well as comparison data between the two cloud platforms. Based on these results, a conclusion was made that services, such as virtualization, are suitable as a learning environment, to for example build virtualized servers. Different learning paths can also utilize virtualization according to their needs, for example to utilize cloud-storage. Based on the cost comparisons and the University's previous cooperation with Azure, it was discovered that Azure cloud computing platform was the preferable choice for the University environment.

Key words: virtualization, infrastructure, compute

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	YLEISKATSAUS PILVIPALVELUISTA	8
	2.1 Infrastrukturi palveluna	9
	2.2 Alusta palveluna	9
	2.3 Ohjelmisto palveluna	10
	2.4 Julkiset ja yksityiset pilvipalvelualustat	11
	2.4.1 Yksityinen pilvi	11
	2.4.2 Julkinen pilvi	11
	2.4.3 Hybridi pilvi	12
	2.5 Skaalautuvuus.....	12
	2.6 Pilvipalveluiden tuottajat.....	13
	2.7 Amazon Web Services	14
	2.8 Microsoft Azure	15
3	HAASTATTELUTUTKIMUS PILVIPALVELUALUSTOISTA.....	16
	3.1 Haastattelututkimuksen tausta	16
	3.1.1 Oppiympäristössä hyödynnettävien palveluiden kartoitus ..	16
	3.1.2 Hinnoittelun selvitys.....	17
	3.1.3 Koulun ja alustojen väliset sopimukset	17
	3.2 Haastattelun tulokset.....	18
4	AMAZON WEB SERVICES PALVELUNTARJONTA.....	19
	4.1 AWS-hallinta	19
	4.2 Simple Storage Server (S3)	20
	4.2.1 S3 tiedostokansion luominen AWS konsolin avulla	20
	4.2.2 AWS-komentorivin käyttöönotto	24
	4.2.3 AWS-komentorivin konfigurointi.....	26
	4.2.4 S3 tiedostokansion luominen AWS komentorivillä.....	27
	4.3 Elastic Compute Cloud (EC2)	28
	4.3.1 Amazon Machine Image.....	28
	4.3.2 Instanssityypit.....	29
	4.3.3 Tallennuspalvelut.....	30
5	AMAZON WEB SERVICES & MICROSOFT AZURE VERTAILU	32
	5.1 Palvelutarjonnan vertailu	32
	5.2 Virtualisointi.....	33
	5.3 Hybridi pilven toteutus AWS & Azure ympäristöissä	33
	5.4 Virtualisoinnin hinnoittelu	34
	5.4.1 Azure Hybrid Benefit.....	34

5.4.2 Linux instanssit	35
5.4.3 Hinta suhteessa laitteiden tehokkuuteen	35
5.5 Tallennustilan hinnoittelu	36
5.6 Tarjoukset	38
6 POHDINTA	39
LÄHTEET	40
LIITTEET	42
Liite 1. Haastattelurunko	42
Liite 2. Windows laitteen hinnoittelut Amazon Web Services & Microsoft Azure	43
Liite 3. Linux laitteen hinnoittelut Amazon Web Services & Microsoft Azure	44
Liite 4. Windows & Linux laitteiden teho/hinta -suhteet prosessorien tehokyvyn ja instanssien hinnoittelun kannalta	45
Liite 5. Tallennuslevyjen hintavertailu	47

LYHENTEET JA TERMIT

API	Application Programming Interface
AWS	Amazon Web Services
CLI	Command Line Interface
EBS	Elastic Block Store
EC2	Elastic Cloud 2
EFS	Elastic File System
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IaaS	Infrastruktuuri palveluna
IAM	Identity and Access Management
PaaS	Alusta palveluna
S3	Simple Storage Server
SaaS	Ohjelmisto palveluna
SQL	Strukturoitu kyselykieli
SQS	Simple Queue Server
SSD	Solid State Drive

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö toteutettiin Tampereen Ammattikorkeakoulua varten. Tampereen ammattikorkeakoulu on vuonna 1996 perustettu ammattikorkeakoulu, jonka tarjottava opetus painottuu erityisesti tekniikkaan, sosiaali- ja terveysalaan, liiketalouteen ja kulttuuriin. Opinnäytetyö saatiin tietojenkäsittelyn entiseltä lehtorilta ja opinnäytetyö toteutettiin Tampereen ammattikorkeakoululle.

Tavoitteena opinnäytetyössä oli tehdä tutkimustyötä AWS-pilvipalvelualustasta ja selvittää mitä toimintoja voitaisiin hyödyntää opetusympäristössä. Tutkimus rajoittui kolmen opintopolkuun; ohjelmistotuotanto, web-palvelut ja pelituotanto. Tavoitteeseen pääsemistä varten toteutettiin haastatteluja opintopolkujen opettajien kanssa, sekä tehtiin vertailuja toisen pilvipalvelualustan, Microsoft Azuren välillä. Tuloksena saatiin vertailukaavioita AWS- ja Azure-palveluiden välillä, sekä ohjeistusta AWS-ympäristön työkaluihin ja hallintaan.

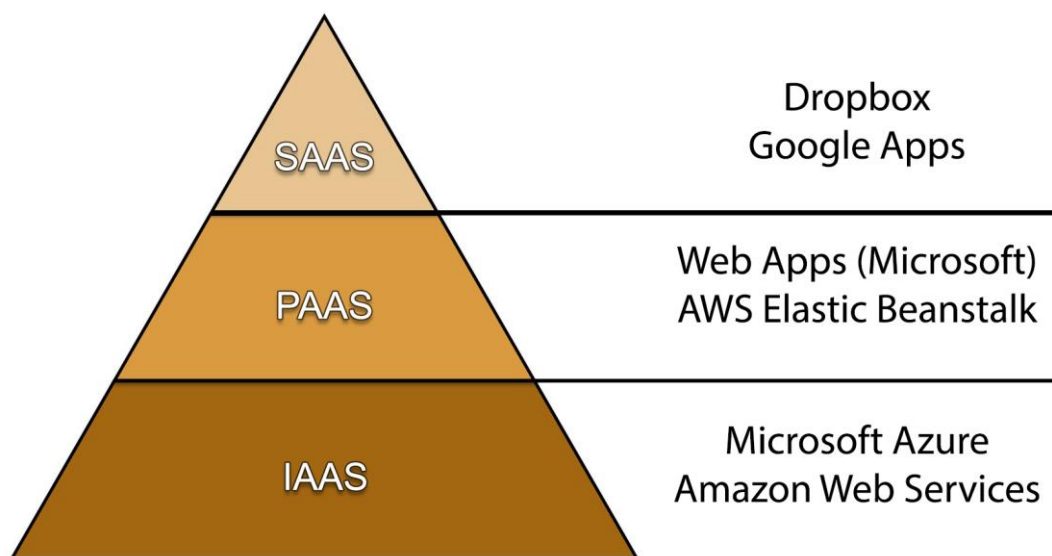
Amazon Web Services on markkinajohtaja pilvipalvelualalla, jonka palveluja on saatavilla 42 saatavuus vyöhykkeestä 16 eri maantieteellisellä alueella. Amazon Web Services julkaistiin alun perin vuonna 2002, jolloin se tarjosi yrityksille mahdollisuuden sisällyttää Amazon.com sivuston ominaisuuksia omille sivuillensa. Vuonna 2006 Amazon Web Services julkaistiin uudelleen, jolloin palvelu rupesi tarjoamaan pilvipalveluratkaisuja.

Opinnäytetyössä käsitellään pilvipalveluiden yleisiä termejä ja toimintamalleja, sekä AWS-pilvipalvelualustalle ominaisia toimintatapoja, käsitteitä sekä hinnoittelua.

2 YLEISKATSAUS PILVIPALVELUISTA

Pilvilaskenta on ajamassa IT-alan sovellusten työkulkua uuteen suuntaan (Gulabani 2018, 6). Pilvilaskennalla viitataan resurssien sekä palvelujen hankintaan ja hyödyntämiseen internetin välityksellä. Resursseja ovat esimerkiksi tietovarastot, joihin käyttäjät pystyvät tallentamaan tiedostoja. Palveluita on esimerkiksi Google Drive, joka tarjoaa käyttäjilleen tallennustilaa heidän ylläpitämistä tietovarastoista. Resurssien ja palveluiden välimaastossa toimii alustat, jotka tarjoavat valmiin toimintaympäristön, kuten käyttöjärjestelmän taikka tietokannan, jossa käyttäjä voi ylläpitää esimerkiksi omaa tietovarastoa.

Pilvipalvelu-alalla näiden resurssien, palvelujen ja alustojen palvelumallit luokitellaan termeihin; infrastruktuuri palveluna, alusta palveluna sekä ohjelmisto palveluna (kuvio 1). Palvelumallit kuvastavat mitkä laitteiston osat ovat käyttäjien hallinnassa, ja mitkä ovat pilvipalvelualustan tarjoajan hallinnassa.



KUVIO 1. Pilvipalveluiden palvelumallien tasot

2.1 Infrastrukturi palveluna

Pilvipalvelualustojen palvelumallit vähentävät loppukäyttäjän laitteiston hallinnan määrää verrattuna paikalliseen, täysin itse hallittavaan ympäristöön.

IAAS palvelumallissa käyttäjien hallittavana on laitteiston käyttöjärjestelmä, väliohjelmistot, ohjelmistojen ajoaika, sekä ajettavat ohjelmisto ja niiden käyttämät tiedot. (BMC, Stephen Watts 2018)

Amazon Web Services in Action –kirjassa käsite selostetaan näin; ”Infrastrukturi palveluna tarjoaa perusteelliset resurssit kuten laskennan, tallennuksen, sekä verkko-ominaisuudet, käyttäen virtuaalisia palvelimia kuten Amazon EC2, Google Compute Engine, tai Microsoft Azure virtuaalikoneita” (Wittig & Wittig 2015, 5).

2.2 Alusta palveluna

Alusta palveluna toimii palvelumallien välimaastossa, ja sen suurin käyttäjäryhmä on ohjelmistokehittäjät, jotka rakentavat ohjelmistoja tai applikaatioita, joita voidaan hyödyntää internetin välityksellä. Alusta palvelumallissa käyttäjän hallinnassa ovat suoritettava applikaatio ja sen käyttämät tiedot.

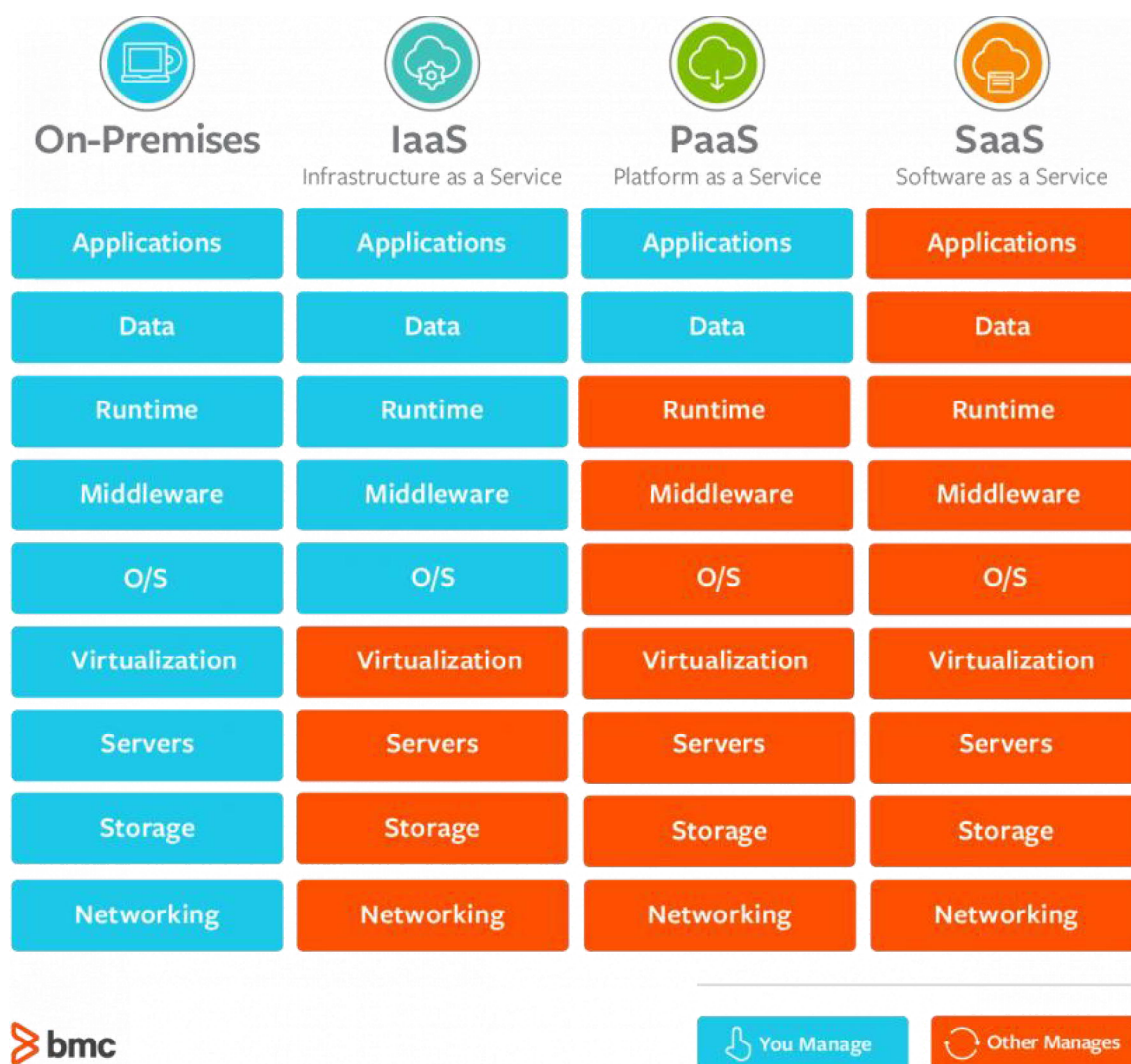
Alusta-palvelumallin etuna on sen helppo saatavuus useille käyttäjille samanaikaisesti, ilman että laitteiston ohjelmistoja tai suojausjärjestelmiä tarvitsee ylläpitäjän päivittää. Eroa infrastrukturi- ja alustapalveluiden välillä voi kuvailla seuraavalla esimerkillä: jos haluatte pitää jalkapallo-ottelun kaverien kanssa, alustamallin mukaisesti voitte vuokrata pelikentän, jossa kyseinen ottelu pidetään. Infrastrukturi mallissa taas rakentaisit oman pelikentän.

Alustapohjaisten palveluiden markkinaosuuden vuosittainen kasvu ennustetaan olevan 12,4% vuosien 2018-2022 aikana perustuen vuoden 2017 tuloksiin. Tämä tekee alustamallista nopeinten kasvavan palvelumallin (Apps Run the World 2018).

2.3 Ohjelmisto palveluna

Ohjelmisto palveluna –mallissa loppukäyttäjän ei tarvitse hallita laitteistoa tai sen ohjelmiston toimintaa lainkaan, vaan kaikki hallinta infrastruktuurista pyörittävään ohjelmistoon on tuotteen kehittäjän vastuulla. Esimerkiksi pilvessä olevat sähköpostipalvelut kuten Outlook 365 sekä Gmail voidaan luokitella ohjelmisto palveluiksi.

Pilvipalvelualustoissa ylläpidetään alusta- sekä infrastruktuuri palveluita, jotka itse konfiguroidaan ohjelmisto palveluiksi. Kuvio 2 osoittaa palveluiden käyttämisen vaadittavan hallinnan eron palvelumallien välillä.



KUVIO 2. Pilvipalvelumallien hallintamäärä kuvastettuna (BMC, Stephen Watts 2018)

2.4 Julkiset ja yksityiset pilvipalvelualustat

Valtiovarainministeriön julkisen hallinnon pilvipalvelu-linjaukset –julkaisussa pilvipalvelujen toteutusmallit jaetaan kolmeen päätoteutusmalliin; yksityinen pilvi, julkinen pilvi sekä näiden välimaastossa toimiva hybridi pilvi, perinteisen oman konesalin toteutusmallin lisäksi (Valtiovarainministeriön julkaisu 35/2018).

Yksityiset pilvet ovat palvelinlaitteepohjaisia, joissa valmistellaan palvelimet sekä virtuaaliset laitteistot, sekä toteutetaan applikaatioiden ja käyttöjärjestelmien käyttöönotot. Julkisissa pilvissä kuten AWS ympäristön infrastruktuuria voidaan hallita käyttäen AWS-konsolia selaimen avulla, tai hyödyntää Application Programming Interface (API) ohjelmointirajapintaa ja tehdä konfiguraatio komentoriviltä.

2.4.1 Yksityinen pilvi

Yksityinen pilvi on palvelu, jota tuotetaan tietylle organisaatiolle tai taholle. Yksityinen pilvi ei tarkoita itse ylläpidettävää konesalia, vaan palvelutyyppiä, jossa palveluntarjoaja tuottaa alustan, joka on räätälöity tiettyä käyttäjäryhmää varten (Fellows 2019).

Turvallisuus ja vaatimustenmukaisuuden asiantuntijoilla on tapana suositella yksityistä pilveä, sillä se voi tarjota etuja turvallisuuteen verrattuna julkiseen pilveen (Fellows 2019).

2.4.2 Julkinen pilvi

Julkinen pilvi on nimensä mukaisesti palvelu, joka on julkisesti tarjolla kaikille käyttäjille, jotka sitä haluavat hyödyntää. Julkinen pilvi on toteutustavoista tunnetuin, ja monet puhuvat vain pilvipalveluista, kun he tarkoittavat julkista pilveä (Wallenius 2016).

Julkinen pilviarkkitehtuuri on täysin virtualisoitu, ja se tarjoaa ympäristön, jossa resursseja voidaan jaotella käyttäjien tai ryhmien tarpeiden mukaisesti. Suurin hyöty pääkäyttäjille julkisesta pilvestä tulee sen saatavuudesta, sillä pääsy ympäristöön vaatii pelkästään internetiin yhdistyvän päätelaitteen.

2.4.3 Hybridi pilvi

Hybridipilvi on kahden tai useamman pilvialustan yhdistelmä. Esimerkiksi yrityksellä voi olla oma konesali tai yksityinen pilvi, jossa säilötään yrityksen arkaluonteiset ja salassa pidettävät tiedot, sekä julkinen alusta, jossa ylläpidetään asiakasportaalia, johon on avoin pääsy.

Hybridipilvi on tarkoitettu asiakkaille ”jotka haluavat pitää jonkin verran tai jopa kaiken datan hallussaan omissa konesaleissaan, mutta jotka samalla haluavat hyötyä julkisen pilven eduista” (Pervilä 2017).

2.5 Skaalautuvuus

Skaalautuvuus antaa sinun kasvaa ja pysyä perässä asiakkaiden tarpeiden mukana, kun työtaakka kasvaa. Kultainen keskitie sovelluksille ja niille vaadittaville resursseille on harvoin staattinen (Foulds, 2018). Hinnottelun tutkimuksen perusteella voisi ajatella, että virtuaalisen instanssin varaaminen pidemmälle aikajalalle on aina kannattavaa, sen tuomien hintaetuuksien takia, mutta jos laitetta ei tarvita jatkuvasti kyseisen varatun ajan aikana, käyttäjä joutuu silti maksamaan laitteesta tasaisen maksun.

Skaalautuvuus ja se, että voit maksaa vain laitteen käytöstä on yksi oleellisin etumitä pilvipalvelualustat tarjoavat. Esimerkiksi jos sinulla on verkkosivu, jossa myydään lasketteluvälineitä, sivuston ylläpitoon vaadittavat resurssit ovat luultavammin huomattavasti vähäisempiä kesä kautena, kun taas talviaikaan sivustolla on luultavammin enemmän kävijöitä, joita varten vaaditaan enemmän resursseja.

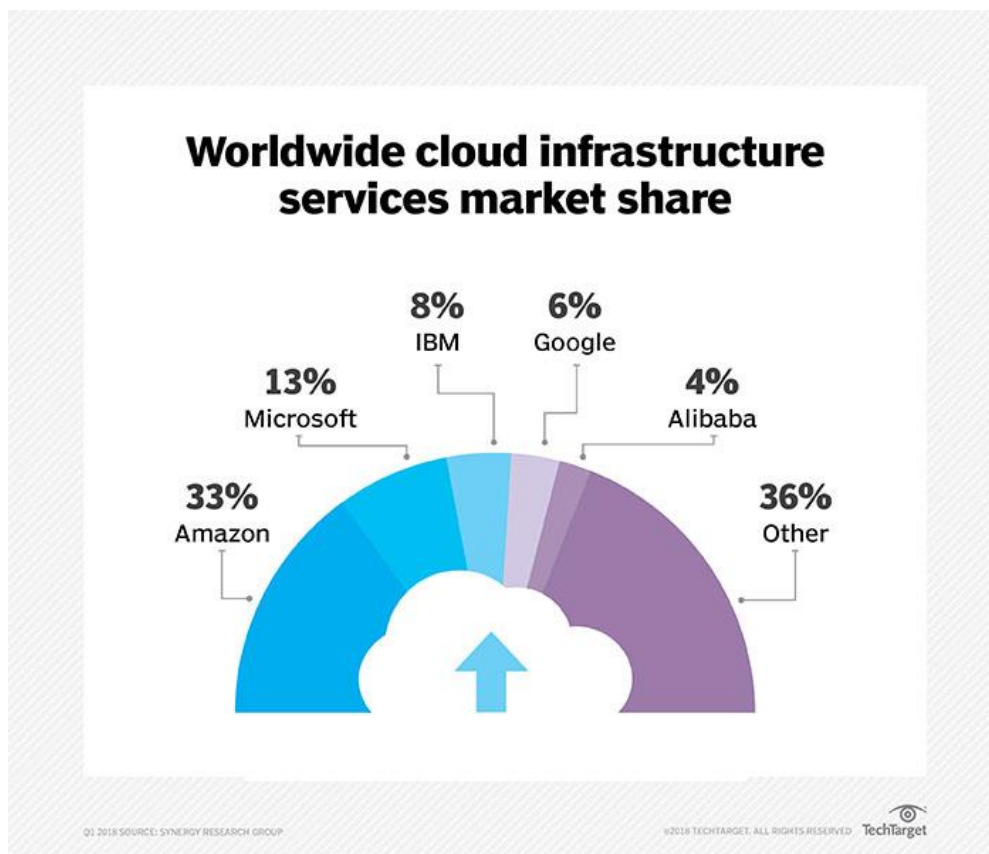
Samoin TAMK:n näkökulmasta laitteiden varaus pidemmälle aikajaksolle ei ole välttämättä kannattavaa, koska laitteille tulisi väistämättä aikoja, jolloin niitä ei hyödynnetä. Varsinkin kurssikohtaisissa toteutuksissa, jossa laitteita ei tarvita

kuin parina kuukautena vuoden aikana, ei ole mitään järkeä varata laitteita koko vuoden ajaksi.

2.6 Pilvipalveluiden tuottajat

Pilvipalvelutarjonta on monipuolista ja pilvipalveluympäristö tulisi valita omien tarpeiden ja resurssien mukaisesti. Esimerkiksi Tampereella toimiva Magic Cloud on asiakaskeskeinen pilvipalveluntarjoaja, joka tuottaa räätälöityjä ratkaisuja asiakkailleen. Pienemmän skaalan ympäristöt voivat olla sopiva ratkaisu, jos haluat hankkia ympäristöllesi esimerkiksi ylläpitoa, monitorointia ja lokien seuranta. Tämä voi olla sopiva ratkaisu jos yrityksille jotka eivät halua palkata työtehtävää varten henkilöstöä.

Julkisten palvelun tarjoajien kuten Amazon Web Servicesin taikka Microsoft Azuren etuna on se, että niitä voi käytännössä kuka tahansa hyödyntää ilman pitkäaikaisia sopimuksia. Yleisesti julkiset pilvet veloittavat asiakkaitaan laitteiden käytön perusteella. Julkiset pilvipalvelualustat ovat suurin sektori pilvi-infrastruktuurista (kuvio 3).



KUVIO 3. Worldwide cloud infrastructure services market share (Synergy research group, TechTarget 2018)

2.7 Amazon Web Services

Amazon Web Services on vuonna 2002 ensimmäisen kerran julkaistu pilvipalvelualusta. Alkuvaiheissa AWS alusta tarjosi vain muutamia työkaluja ja palveluja, eikä käsitteitä kuten IaaS, PaaS tai SaaS oltu vielä määriteltynä. AWS alusta julkaistiin uudelleen vuonna 2006 pohjautuen Chris Pinkhamin sekä Benjamin Blackin laatimaan raporttiin. Black kertoi blogikirjoituksessaan raportista, jossa kuvailtiin visio Amazonin infrastruktuurista joka olisi täysin standardoitu, automaattinen ja hyödyntäisi laajasti web-palveluita esimerkiksi tallennukseen (Black, 2009. EC2 Origins). Tämä raportti esiteltiin Amazonin perustaja, toimitusjohtaja ja presidentti Jeff Bezosille, joka innostui ideasta tuottaa virtuaalisia palvelimia palveluna.

Uudelleenjulkaisun vaiheessa AWS tarjosi kolmea palvelua; S3 pilvitallennuspalvelun, Simple Queue Service (SQS) hajautetun viestin jonotuspalvelun, sekä Elastic Compute Cloud pilvilaskentapalvelun (EC2).

AWS-palveluntarjonta on laajentunut huomattavasti vuosien varrella, ja huhtikuussa 2019 AWS tarjosi käyttäjilleen 170 palvelua 23 eri kategoriasta (Park my cloud, 2019). Nykyisin palveluja tuotetaan huomioiden asiakasryhmien erilaisia tarpeita. AWS esimerkiksi tarjoaa useita eri analysointityökaluja riippuen siitä, missä niitä hyödynnetään. Tässä kappaleessa käsitellään miten AWS palveluja voidaan hallita sekä yleisten palveluiden rakentamista.

2.8 Microsoft Azure

Microsoft Azure on pilvipalvelualusta, joka julkaisiin kaupallisesti vuoden 2010 helmikuussa. Microsoft työsti omaa pilvipalvelualustaansa jo 2000-luvun puolivälissä koodinimellä "Project Red Dog" (Studysection, 2019). Siihen aikaan Amazon oli ainoa julkinen pilvipalveluntarjoaja, ja Microsoft halusi päästä mukaan pilvipalvelumarkkinoille (Studysection, 2019).

Alkuvaiheissa analytikot pitivät AWS-alustaa parempana, mutta Microsoftin kehitykset alustalleen kuten Linux tuki, useiden koodikielten tuki sekä Microsoftin tarjoama Hybrid Benefit (luku 5) toivat huomattavia etuuksia Azureen.

Nykyäänä Microsoft tarjoaa kehittyneitä palvelujaan asiakkailleen, ja on hankkinut isoja yrityksiä kumppanikseen, kuten Cisco, Red Hat sekä Canonical (Studysection, 2019).

3 HAASTATTELUTUTKIMUS PILVIPALVELUALUSTOISTA

3.1 Haastattelututkimuksen tausta

Opinnäytetyön taustana oli tarve selvittää, mitä pilvipalveluja voitaisiin hyödyntää tietojenkäsittelyn opetuksessa. Päätimme toteuttaa puolistrukturoidun yksilöhaastattelun, johon osallistui kolme tietojenkäsittelyn koulutuksen opettajaa.

Haastattelussa selvitettiin haastateltavien aiempaa tietämystä pilvipalveluista ja niiden käytöstä sekä käyttömahdollisuuksista (liite 1). Haastattelurunko sisältää haastattelun kysymykset, joista osa oli kohdistettu vain tiettyjen opettajien opintopolkua varten.

3.1.1 Oppiympäristössä hyödynnettävien palveluiden kartoitus

”Jos joku tulisi tarjoamaan, että meillä olisi tällaisia juttuja, ja te voisitte näitä hyödyntää, niin varmaan myöskin tartuttaisiin helposti” (Opettaja 2, 2019).

Ensimmäisessä suoritetussa haastattelussa esille nousi tarve selvittää mitä palveluja AWS sekä Azure tarjoavat, joita voitaisiin hyödyntää opetuksessa. Haastattelun yhteydessä huomattiin myös, että terminä pilvi on erittäin kattava, jonka takia esimerkiksi kysymys, käyttääkö haastateltava pilvipalveluiden palveluja oli liian väljä eikä se tuottanut aiheeseen relevanttia tietoa.

Pekkasen haastattelun tuloksena tajuttiin, että selvitystyötä pilvipalvelualustojen tarjonnasta, hinnoittelusta ja opintopolkujen erilaisista työmenetelmistä ja tarpeista tulisi tehdä jatkoselvittelyä.

Haastatteluissa tuli myös esille pilvitallennus ja kannattaako siirtyä käyttämään pilvipalvelualustojen tallennus tarjontaa. ”Drive on niin helppo käyttää, että olen tykästynyt siihen paljon enemmän kuin esimerkiksi Office 365:seen” Päätin selvittää miten AWS pilvitallennus toimii, sen hinnoittelua sekä kannattavuutta (luku 4.2).

3.1.2 Hinnoittelun selvitys

Palveluiden hinta tuli kaikissa haastatteluissa esille, koska se hinta vaikuttaa aika lailla siihen mihin koulu lähtee menemään (Opettaja 3, 2019). Haastattelijoille kerrottiin, että alustojen kulut tulevat vuokrattavien laitteiden tai palveluiden käytöstä.

Haastatteluissa myös mainittiin, että Microsoft tarjoaa opiskelijoille 100 dollarin arvosta krediittiä, jota voidaan hyödyntää vuoden ajan. Ongelmana tässä tarjouksessa on se, että opiskelu kestää kolme ja puoli vuotta, niin se on hallinnollisesti hankalaa, kun ne lisenssit raukeaa eri aikaan. Jos lisenssit raukeaa niin se aiheuttaa ongelmia opintojaksolle, kun ei päästä materiaaliin käsiksi (Opettaja 1 2019).

AWS tarjoaa myös käyttäjilleen ilmaisen tason laitteita, jotka ovat vähätehoisia mutta voisi soveltua hyvin opetukseen, jossa koulutetaan opiskelijoita rakentamaan omia ympäristöjään pilvipalveluihin.

Hinnoittelu on oleellinen kriteeri sille, kannattaako TAMKin ruveta hyödyntämään pilvipalvelualustoja, jonka takia sitä varten tehtiin vertailuja ja tutkimustöitä (luku 5).

3.1.3 Koulun ja alustojen väliset sopimukset

Implementointia varten tarvittaisiin siis sopimus, joka olisi voimassa koko opiskeluajan. Ongelmana on, että Tampereen ammattikorkeakoulun organisaatio sisältää useita koulutussuuntia, ja tietojenkäsittelyn koulutus on vain pieni yksikkö organisaation kokonaisuudessa, ja Tamkin näkökulmasta tietojenkäsittelyn polun tarpeet eivät näyttäyty kovin suurina. (Opettaja 1, 2019)

Opinnäytetyön kirjoittamisen aikaan koululla oli samalla tapahtumassa muutoksia Tampere3-hankeen takia, jossa Tampereen ammattikorkeakoulu, yliopisto sekä

teknillinen yliopisto yhdistyivät. Tämä muutos voisi mahdollistaa yhteisen virtuaalijärjestelmän koulujen välillä.

Opinnäytetyössä käsitellään alustojen mahdollista hyödyntämistä vain tietojenkäsittelyn polun opetuksen näkökulmasta.

3.2 Haastattelun tulokset

Haastatteluista ilmeni paljon asioita, joita tulee ottaa huomioon, jos pilvipalveluja haluttaisiin hyödyntää opetuksessa. Haastattelun perusteella nähtiin tarpeelliseksi tehdä tutkimustyötä hinnoittelun ja mahdollisten koulun ja palveluntarjoajien välisten sopimusten suhteen.

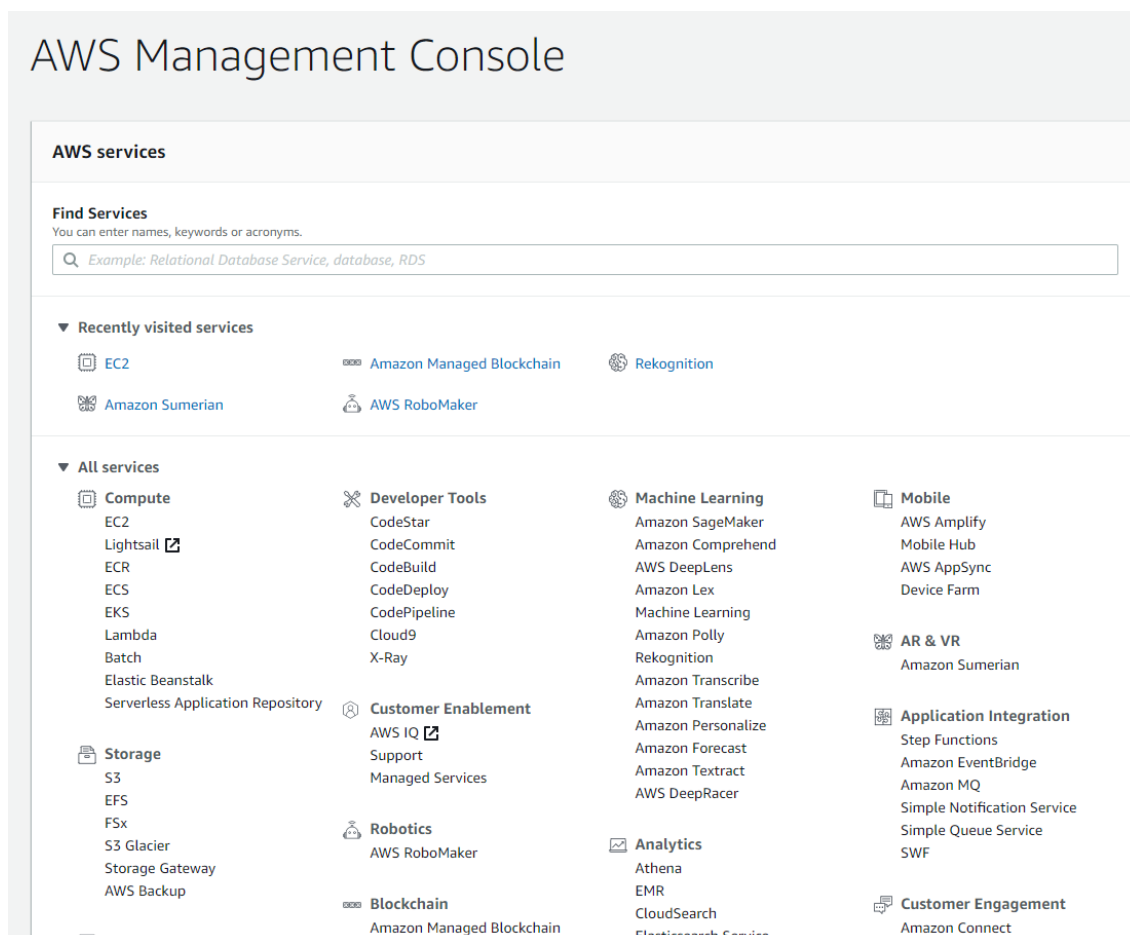
Palveluiden suhteen varsinkin opiskelijoiden käytössä olevat tietokannat voitaisiin siirtää tai luoda uudestaan pilviympäristöön. Koulun tiukat palomuurivaatimukset ympäristössä vaikeuttaa koulun laitteiston hyödyntämistä esimerkiksi tapauksissa, jossa mobiilisovellus tai ylläpidettävä sivusto haluaa tallentaa tietoja koulun palvelimille. Tämänkaltaiset tapaukset voitaisiin siirtää pilvipalvelualustalle, joka voisi olla omistettu opiskelijoiden projekteja varten.

4 AMAZON WEB SERVICES PALVELUNTARJONTA

Amazon web services palveluntarjonta on kattavaa; tarjonta koostuu 170 palvelusta 23 eri kategorian välillä. Tässä luvussa ohjeistetaan AWS-hallintaa AWS-konsolin sekä komentorivin avulla, Simple Storage Server (S3) tiedostokansion luontia, sekä Amazonin virtualisointi palvelua Elastic Compute (EC2).

4.1 AWS-hallinta

AWS-ympäristöä voidaan hallita joko suoraan AWS-sivustolta <https://console.aws.amazon.com> AWS-konsolipaneelin avulla, tai hyödyntäen komentoriviä, joka on ladattavissa sivustolta <https://aws.amazon.com/cli/> Windows, Mac ja Linux laitteille. Kuvassa 1 on AWS-konsolin oletusnäkyvä, johon on listattuna kaikki palvelut, joita Amazon tarjoaa.



KUVA 1. AWS Management Console oletusnäkyvä

4.2 Simple Storage Server (S3)

"Amazon S3 pohjautuu ideaan, että laadukas internet-pohjainen tallennus pitäisi olla itsestäänselvyys" (Jassy, A. 2006). Simple Storage Server -palvelu oli yksi ensimmäisistä ja skaalautuvimmista pilvipalveluista, jota AWS rupesi tarjoamaan asiakkailleen vuoden 2006 maaliskuusta lähtien.

S3 on tyypillinen web-pohjainen palvelu, joka antaa käyttäjälle mahdollisuuden tallentaa ja hakea tietoa API:n läpi, joka on saavutettavissa hyödyntäen HTTPS-protokollaa. (Wittig & Wittig, 2015)

Amazon käyttää termiä "Bucket" eli ämpäri termiä kuvastamaan S3 palvelun tiedoston varastointiympäristöä. Ämpärit toimivat samalla periaatteella kuin tyypilliset tiedostokansiot, joihin voidaan lisätä tiedostoja.

AWS tarjoaa kaikille käyttäjille ilmaiseksi 5 gigatavua tallennustilaa 12 kuukaudeksi. Tallennus on rajoitettu 20,000 Get-pyyntöön, sekä 2,000 Put-pyyntöön. Get-pyyntöraja viittaa siihen, kuinka monta kertaa käyttäjä kykenee lataamaan tiedostoja pilvitallennukseen. Put-pyyntöraja osoittaa, kuinka monta kertaa tiedostoja voidaan siirtää pilvitallennukseen.

4.2.1 S3 tiedostokansion luominen AWS konsolin avulla

Tiedostokansion eli ämpäriin teko selaimen sisältä AWS Management Consolen eli konsolin avulla on nopea ja yksinkertainen prosessi, jossa ainut vaatimus tiedostokansion luontia varten on määritellä nimi kyseiselle ämpäriin (kuva 2).

1 Name and region 2 Configure options 3 Set permissions 4 Review

Name and region

Bucket name ⓘ

testiamparj

Region

EU (Stockholm) ▾

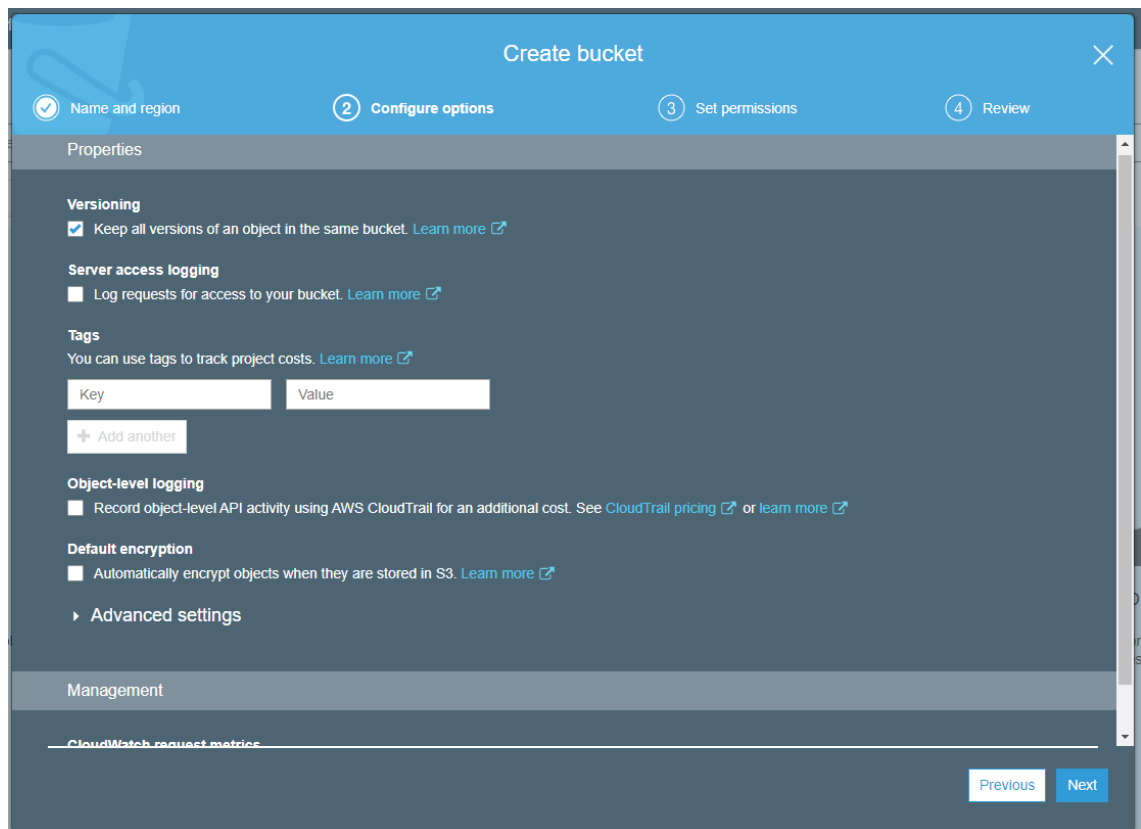
Copy settings from an existing bucket

You have no buckets0 Buckets ▾

Create Cancel Next

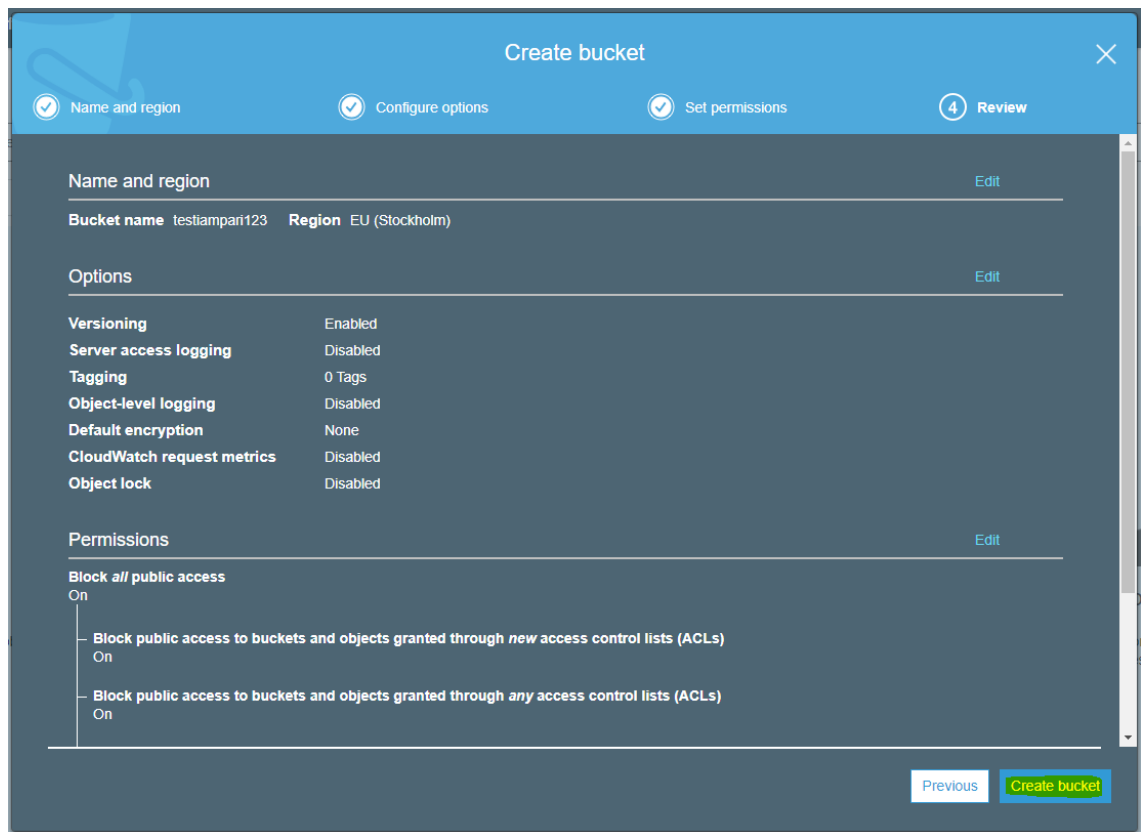
KUVA 2. "Create bucket" -näkyvä tiedostokansiota luotaessa

Seuraavissa vaiheissa tiedostokansiolle voidaan tehdä lisämääryksiä versionhallinnan, lokiseurannan, suojauksien, oikeuksien ja hallinnan kannalta (kuva 3). Osa lisämäärysten ominaisuuksista voi lisätä kustannuksia tiedostokansion ylläpitoon. "Set permissions" vaiheessa voidaan määrittellä kenellä ja mistä lokatiosta voidaan sallia pääsy tiedostokansion sisältöön.



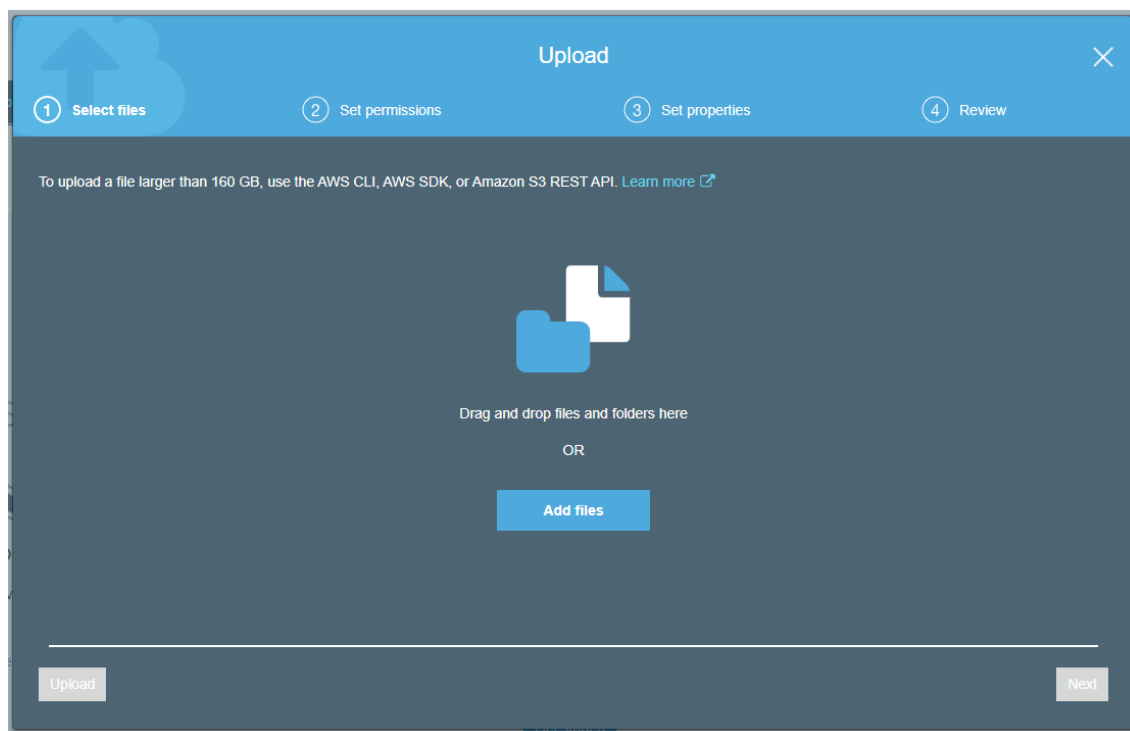
KUVA 3. Configure options -näkömä tiedostokansiota luotaessa

Kun tiedostokansion määritelmät ovat valmiina, päästään "Review" osioon, josta voidaan luoda tiedostokansio painamalla "Create bucket" näppäintä (kuva 4).



KUVA 4. Review -näkömä tiedostokansion luonnin loppuvaiheessa

Kun tiedostokansio on luotuna, sinne voidaan siirtää tiedostoja, ja tiedostoille voidaan erikseen määritellä oikeuksia ja määriytyksiä. Tiedostoja voidaan lisätä valitsemalla juuri luotu tiedostokansio, ja sen jälkeen "Upload" näppäintä painamalla voidaan tuoda uusia tiedostoja tiedostokansioon. (kuva 5)



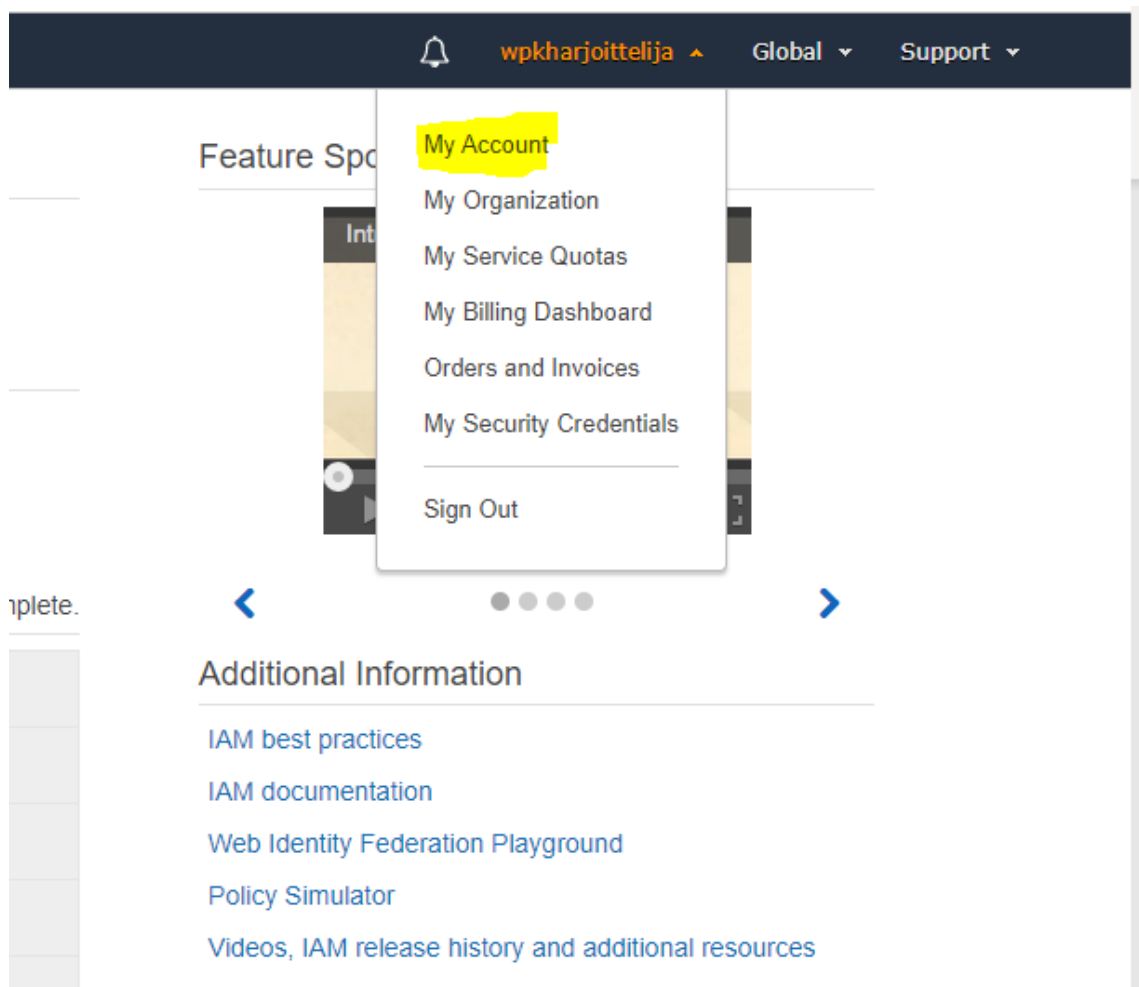
KUVA 5. Select files -näkyvä lisättäessä tiedostoja tiedostokansioon

Kun tiedosto on viety tiedostokansion sisään, se on saatavilla käyttäjille joilla siihen on lupa niin kauan, kunnes tiedosto tai sen kansio poistetaan. Tiedostoille voidaan tehdä laajasti määriksiä jotka vaikuttavat sen tallentamisen hinnoitteluun, kuten Infrequently Accessed (IA) määritys, jos tiedostolle ei usein tarvita pääsyä.

4.2.2 AWS-komentorivin käyttöönotto

AWS palvelut voidaan pystyttää myös komentorivin (CLI) avulla. Amazon tarjoaa useita eri ohjelmien ohjelmointi työkaluja (SDK) käyttäjilleen, riippuen siitä millä ohjelmointikielellä tai alustalla käyttäjä haluaa konfiguroinnin tehdä. (2019. What Is the AWS Command Line Interface?)

Päästäkseen konfiguroimaan asetuksia komentorivin avulla, käyttäjän tulee ensin luoda AWS Identity and Access Management (IAM) käyttäjä sekä ryhmä AWS-tunnistautumista ja pääsyä varten verkkopohjaisen konsolin avulla. Käyttäjän luontia varten vaaditaan IAM pääsyn sallimista, joka tapahtuu AWS konsolin käyttäjän "My Account" eli oman tilin asetuksien sisältä (kuva 6).



KUVA 6. AWS oman tilin asetusten määrittämissijainti

Kun IAM pääsy on sallittuna, voidaan edetä luomaan käyttäjää valitsemalla navigaatiopaneelista **Palvelut (Services)** ja sen sisältä **IAM**. IAM palvelusivuston oikeassa reunassa (kuva 7) valitaan **"Users"** eli käyttäjäpaneelista, jonka sisällä tehdään yleiset määritelmät kuten käyttäjän nimi, salasana, oikeudet sekä valinnaisesti merkintöjä (Tag) sekä ryhmäkohtaisia määriytyksiä.

Kun käyttäjä on luotuna, sille pitää luoda ryhmä kuvan 6 mukaisesti **"Permissions"** eli oikeudet käyttäjänluonti vaiheessa.

Add user


 ▾ Set permissions

Add user to group

Copy permissions from existing user

Attach existing policies directly

Get started with groups

You haven't created any groups yet. Using groups is a best-practice way to manage users' permissions by job functions, AWS service access, or your custom permissions. Get started by creating a group. [Learn more](#)

[Create group](#)

 ▶ Set permissions boundary

KUVA 7. Ryhmän luonti käyttäjän luomisen jälkeen

Ryhmän luonti ikkunassa pitää valita ”AdministratorAccess” politiikka, joka antaa täyden pääsyn AWS palveluihin ja resursseihin kyseiselle ryhmälle. Kun tämä on tehtynä, on mahdollista aloittaa komentorivin määrittely.

4.2.3 AWS-komentorivin konfigurointi

Kun AMI tunnukset ovat luotuna, kyseiselle käyttäjälle luodaan myös pääsyn tunnistautumista varten yleisavain (Access key) sekä piilotettu avain (Secret key). Nämä avaimet voidaan luoda IAM käyttäjä valikon ”Security credentials” eli turvallisuus valtuuksien osiossa. Nämä avaimet tulee aina luoda uudestaan, ja piilotettua avainta voi tarkastella vain sen luonnin yhteydessä.

Cli:n käyttöönotossa vaaditaan neljä eri tietoa, jotta se voidaan konfiguroida; AWS-yleisavaimen koodi, piilotetun avaimen koodin, maa-alueen nimen (esim. Stockholm), sekä tiedon ulostulon kieli (oletuksena json formaatti). Nämä kun on hallussa, voidaan ladatulla ohjelmointityökalulla tehdä määrytykset salliakseen komentorivin käytön (kuva 8).

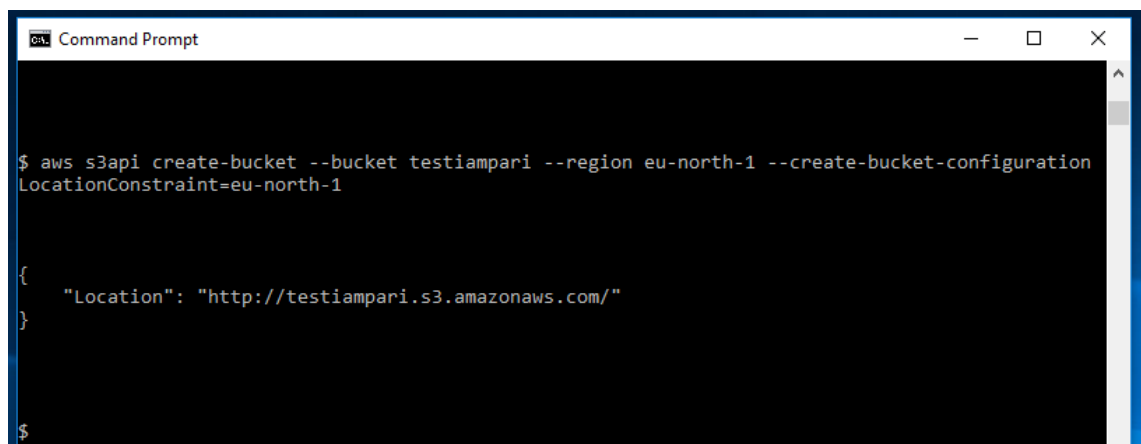
```
$ aws configure
AWS Access Key ID [None]: AKIAIOSKTG0940Z
AWS Secret Access Key [None]: wJalrXUtnFEMI/K7MDENG/bFD0Jri0D
Default region name [None]: eu-north-1
Default output format [None]:
```

KUVA 8. AWS-komentorivin konfigurointi

Tämän määrittelyn jälkeen AWS-komentoriviä voidaan käyttää palveluiden luomiseen ja määrittämiseen samankaltaisilla toimivuuksilla kuten AWS-verkossa hallittavan konsolin avulla.

4.2.4 S3 tiedostokansion luominen AWS komentorivillä

Komentorivin hyödyntäminen AWS-ympäristön hallinnassa voi nopeuttaa ja yksinkertaistaa palveluiden määrittelytyötä mahdollistamalla useiden eri palveluiden toteutus komentoriviä käyttäen. ”Komentorivillä voit hallita palveluja manuaalisesti tai automatisoida ne hyödyntäen tehokkaita skriptejä” (Stringfellow, 2017.)



```
Command Prompt

$ aws s3api create-bucket --bucket testiampari --region eu-north-1 --create-bucket-configuration
LocationConstraint=eu-north-1

{
  "Location": "http://testiampari.s3.amazonaws.com/"
}

$
```

KUVA 9. AWS-komentorivin komento, jolla s3 tiedostokansio luodaan

Kuvassa 9 on esimerkki siitä, miten voit luoda S3 ämpäri eli tiedostokansion käyttämällä komentoriviä. AWS-konsolin käyttö on suositeltavaa uusille käyttäjille, sillä se antaa sinulle helposti ymmärrettävät vaihtoehdot, joilla luoda palveluja, mutta kokeneemmalle käyttäjälle palvelujen rakentaminen konsolin kautta on nopeampaa ja mahdollisesti helpompaa, koska kaikki palvelut voidaan luoda yhden näkymän sisällä.

4.3 Elastic Compute Cloud (EC2)

”On vaikuttavaa, mitä taskussasi olevan älypuhelimien tai laukusta löytyvän kannettavan tietokoneen laskentateholla voidaan saada aikaiseksi. Mutta jos työsi vaatii valtavaa määrää laskentatehoa, suurta verkkoliikkeitä tai sen tarvitsee pyöriä 24/7, virtuaalinen palvelin on parempi ratkaisu” (Wittig & Wittig, 2015.).


AWS-ympäristön yksi keskeisimmistä palveluista on Elastic Compute Cloud, jolla voidaan vuokrata virtuaalisia laitteita, jossa voidaan ajaa ohjelmistoja ja applikaatioita.

4.3.1 Amazon Machine Image

Amazon käyttää termiä ”instance” eli instanssia kuvastamaan virtuaalilaitteistoa, joka on luotu käyttäen Amazon Machine Image (AMI) virtuaalista kuvaa. Tämä kuva sisältää laitteiston käyttöjärjestelmän, mahdolliset ohjelmistot käyttöjärjestelmälle, sekä määrittelyt ympäristölle kuten laitteen juuren volyymit sekä oikeudet käyttäjille, joilla on oikeudet päästä laitteelle.

Hyödyntäen AMI-kuvia, voi käyttäjä luoda nopeasti haluamansa ympäristön niillä ominaisuuksilla, mitkä ovat itselleen tarpeellisia. Esimerkiksi jos käyttäjä haluaa luoda Microsoft Windows Server 2019 instanssin, joka pyörittää SQL Server 2017 Enterprise palvelua. AMI-kuvia hyödyntäen hän voi valita kuvan, jossa kyseiset palvelut ovat määriteltynä, ja kun käyttäjä saa instanssin luotua, ei hänen tarvitse erikseen asentaa SQL-ohjelmistoa hänen ympäristöönsä, vaan kuva luo määrittelyt instanssille automaattisesti.

1 to 10 of 96 Products



WordPress Certified by Bitnami and Automattic


★★★★★ (114) | 5.2.3-0 on Ubuntu 16.04 [Previous versions](#) | By [Bitnami](#)

Linux/Unix: Ubuntu 16.04 | 64-bit (x86) Amazon Machine Image (AMI) | Updated: 9/5/19

WordPress is the world's most popular content management platform. It includes the new Gutenberg editor and over 45,000 themes and plugins. This image is certified by Bitnami as secure, up-to-date, and packaged using industry best practices, and approved by Automattic, the experts behind WordPress.

[More info](#)

[Select](#)



WordPress with NGINX and SSL Certified by Bitnami and Automattic


★★★★★ (3) | 5.2.3-1 on Ubuntu 16.04 [Previous versions](#) | By [Bitnami](#)

Linux/Unix: Ubuntu 16.04 | 64-bit (x86) Amazon Machine Image (AMI) | Updated: 10/3/19

WordPress with NGINX and SSL enhances WordPress with SSL auto-configuration and the high-performance NGINX web server. This image is certified by Bitnami as secure, up-to-date, and packaged using industry best practices, and approved by Automattic, the experts behind WordPress.

[More info](#)

[Select](#)



WordPress Multisite Certified by Bitnami and Automattic

★★★★★ (23) | 5.2.3-0 on Ubuntu 16.04 [Previous versions](#) | By [Bitnami](#)

Linux/Unix: Ubuntu 16.04 | 64-bit (x86) Amazon Machine Image (AMI) | Updated: 9/5/19

WordPress Multisite makes it simple to manage multiple WordPress websites from the same server and interface. This image is certified by Bitnami as secure, up-to-date, and packaged using industry best practices, and approved by Automattic, the experts behind WordPress.

[More info](#)

[Select](#)

KUVA 10. WordPress AMI-kuvia, joilla virtuaalinen instanssi voidaan luoda

AMI-kuvat vähentävät loppukäyttäjän työtaakkaa huomattavasti, ja sen avulla voi vuokrata laitteiston, joka on suunniteltu tiettyä toimintoa varten. Esimerkiksi WordPress-sivuston luontia varten käyttäjä voi itse vuokrata Linux/Unix virtuaalikoneen, määrittellä laitteiston komponentit ja yhteydet, ja asentaa vaadittavat ohjelmistot ja päivitykset laitteistolle. Toinen ratkaisu on käyttää WordPress-ympäristön AMI-levykettä, joka osaa automaattisesti tehdä määrittelyt laitteistolle, ja loppukäyttäjä voi tehdä kaikki haluamansa määrittelyt AWS-konsolin avulla virtuaalilaitetta luodessa (kuva 10).

4.3.2 Instanssityypit

Amazon tarjoaa useita eri instanssi vaihtoehtoja, jotka ovat kategorisoitu niiden käyttötarpeiden mukaisesti. Kun käynnistät instanssin, valitsemasi instanssin tyyppi päättää minkälaista laitteistoa päätelaite käyttää instanssissa (2019. Instance Types)

Amazon on lajitellut instanssi tyyppi viiteen eri kategoriaan;

General Purpose - Yleiseen käyttöön tarkoitettut instanssit, jotka tarjoavat tasapainon laskennan, muistin ja verkkoresurssien välillä, ja niitä voidaan hyödyntää useihin eri työtehtäviin. (Amazon, Instance types. 2019)

Compute Optimized – Ideaali laskentariippuvaisiin ohjelmistoihin, jotka hyötyvät tehokkaista prosessoreista. Tämän instanssityypin instanssit soveltuvat hyvin

esimerkiksi korkean tason verkko palvelimille, mediatiedostojen uudelleenpakointiin (Transcoding), taikka videopeleille dedikoiduille palvelimille (Amazon, Instance types. 2019).

Memory Optimized – Instanssityyppi, jota voidaan hyödyntää, kun on tarvetta käsitellä suuria määriä tietojoukkoja. Muistioptimoidussa instanssityypin instansseissa on myös tehostetut verkko-ominaisuudet, jotka mahdollistavat huomattavasti paremmat paketinsiirto arvot (Packet Per Second, PPS) ja pienemmän latenssin. (Amazon, Instance types. 2019)

Storage Optimized – Instanssityyppi, joka on suunniteltu työtehtäville, jotka vaativat suuren määrän nopeasti saatavilla olevaa tietoa. Instanssin laitteet ovat myös optimoitu Amazon Elastic Block Storage volyymien hyödyntämiseen, jotka ovat tarkoitettuja tehtäväkriittisiin operaatioihin, jossa laitteiden saatavuus ja tiedon eheys ovat oleellisia. (Amazon, Instance types. 2019)

Accelerated Computing – Kiihdytetyn laskennan instanssityyppi, jonka instanssit hyödyntävät laitekiihdyttimiä tai varaprosessoria, suorittamaan toimintoja kuten liukulukujen laskentaa, graafista prosessointia ja tiedon kuvioiden vastaavuushakua. (Amazon, Instance types. 2019)

4.3.3 Tallennuspalvelut

Amazon tarjoaa neljä eri pilvitallennus palvelua; kappaleessa 4 esitetty Simple Storage Server (S3), Elastic Block Store (EBS), Elastic File System (EFS) sekä Glacier tallennuspalvelun.

Virtuaaliset laitteistot tarvitsevat tallennus volyymin, johon laitteiston tiedot asennetaan. Amazon käyttää sekä EBS- että EFS-volyymeja luomaan virtuaalisen kovalevyn laitteistoille.

EBS-volyymeja voidaan ajatella tyypillisinä tietokoneiden kovalevyinä, joka pitää sisällään laitteiston käyttöjärjestelmän. Niissä hyödynnetään tiedostojen jakamista useisiin pienempiin volyymeihin, joita kutsutaan lohkoiksi, (block) ja ne

käyttäytyvät kuin erilliset kovalevyt (Maayan, 2017). EBS tallennusta käytetään vain EC2 virtuaali-instansseissa.

EFS on jaettu joustava tallennusjärjestelmä, jonka koko kasvaa ja kutistuu, kun siltä lisätään tai poistetaan tiedostoja (Maayan, 2017). EFS tallennusta voidaan käyttää useissa EC2-instansseissa samanaikaisesti, mutta yleisin käyttötarkoitus on SaaS-ympäristöissä, joissa käsitellään niin suuria määriä tietoja, ettei niitä pystytä tallentamaan yhteen EC2-instanssiin käyttäen EBS-tallennusta.

Glacier on edullinen tallennuspalvelu, jota voidaan käyttää tiedon arkistointiin ja harvoin käytettävän tiedon tallentamiseen. Glacier tarjoaa luotettavaa, turvallista ja vähäkuluista tallennuspalvelua (Gulabani, 2018. 8) Esimerkiksi sairaalat joiden täytyy arkistoida potilaiden tiedot pitkällä ajanjaksolla voisivat hyödyntää Glacier palvelun tarjontaa, sillä Amazon lupaa asiakkailleen korkean saatavuuden (High Availability) 99.999999999% ("Eleven nines") tiedostoille. Glacier tallennustiedot säilytetään aina vähintään kolmessa fyysisessä saatavuusalueessa, jotka ovat maantieteellisesti eroteltuna yhden maanosan sisällä. (Amazon)

5 AMAZON WEB SERVICES & MICROSOFT AZURE VERTAILU

Opinnäytetyön aihe tarjottiin myös Joonas Sjöbergille, joka keskittyi työssään Microsoftin Azure pilvipalvelualustaan. Koska työmme keskittyivät samaan tarkoitukseen, päätimme tehdä alustojen välisiä vertailuja niiden tarjonnan, hinnoittelun ja käytettävyyden välillä.

Vertailua varten tuotettiin myös hintaseuranta kaavioita (liitteet 3, 4, 5, 6), joissa verrataan Amazonin ja Microsoftin tarjontaa virtuaalilaitteiden sekä tallennuslevykeiden välillä.

Microsoft Azure on yksi suurimmista julkisen pilvipalvelun tarjoajista, joka tarjoaa palveluita kuten virtuaalisia laitteita, säiliö-ympäristöjä (container), palvelimettomia laskenta-alustoja sekä koneoppia. (Foulds, 2018. 3) Alunperin alustaa kutsuttiin nimellä Windows Azure, ja se julkaistiin kaupalliseen tarkoitukseen vuonna 2010. Vuonna 2014 Microsoft päätti vaihtaa nimen heijastamaan heidän strategiaansa sekä pilvipalvelu alustana asiakkailleen, kuten myös omille palveluilleen kuten Office 365, Bing, Onedrive ja Xbox Live. (Azure, 2014)

5.1 Palvelutarjonnan vertailu

Amazonin ja Microsoftin pilvipalvelutarjonnassa on paljon palveluja, jotka toimivat samoilla periaatteilla molemmissa alustoissa, mutta toimintatavat kuten hinnoittelun laskeminen toimii eri periaatteilla ympäristöissä.

Molemmissa alustoissa laskutus perustuu ns. ”pay as you go” käytäntöön, jossa käyttäjä maksaa palveluiden käytöstä. AWS laskuttaa Linux-laitteissa sekuntien perusteella, ja muissa laitteissa käytön tuntien perusteella. Azure laskuttaa minuuttien perusteella, joka tarjoaa tarkemman hinta-arvion verrattuna AWS laskutukseen.

5.2 Virtualisointi

AWS EC2-virtuaalilaitteiden luontipalvelua vastaava palvelu Azure-ympäristössä on Azure Virtual Machines. Virtuaalilaitteiden luonnissa Amazon sallii käyttäjien luoda sekä AMI-virtuaalikuvien avulla, että tehdä täysin oman AMI-virtuaalikuvan ja vaikka jakaa sen vapaasti käytettäväksi muille AWS-ympäristöä käyttäville henkilöille. Azuren käyttäjien tulee valita virtuaalikuva, joka on esikonfiguroitu kolmannen tahon puolesta, eikä käyttäjät voi itse luoda tai jakaa virtuaalikuvia.

Azure on jakanut virtuaalilaitteiden instanssityypit suurimmaksi osaksi samalla tavalla kuin AWS. Poikkeuksena instanssityyppeihin on GPU eli graafisen prosessoinnin sekä high performance compute (HPC) eli korkean suoritustehon laskennan instanssit, joita AWS kutsuu kiihdytetyn laskennan eli accelerated computing instansseiksi.

5.3 Hybridi pilven toteutus AWS & Azure ympäristöissä

Yleinen ratkaisu pilvipalvelualustoiden implementoinnissa on pitää tietyt palvelimet kuten Active Directory -käyttäjänhallinnan taikka arkaluontoiset tiedot omilla palvelimillaan.

Tässä Microsoft tarjoaa selkeän etuuden hybridi pilviin, sillä heidän juurensa ovat tulleet yrityksiensä tiloissa toimivista ohjelmistoratkaisuista kuten Windows Server, SQL Server ja Exchange sähköpostialusta (Otey, 2018). Tämä mahdollistaa Azuressa Windows-ympäristöjen siirron hybridi pilveen. Tietyt ominaisuudet kuten Azure Hybrid Cloud antavat käyttäjille mahdollisuuden käyttää omien palvelimien Windows Server lisenssejä Azuren pilvessä.

Amazonin tarjonta hybridipilvi ratkaisulle on kehittynyt viime aikoina, mutta ennen AWS kykeni vain tekemään varakopion Windows Serveristä, mutta sen hybridiominaisuudet eivät päässeet sen pidemmälle (Otey, 2018). Nykyisin AWS tarjoaa kaksi ratkaisua hybridipilven käyttöönottoon; VMware Cloud on AWS Outposts sekä natiivi Amazon Outposts.

VMware Cloud on AWS Outposts on virtualisointiratkaisu, joka mahdollistaa oman laitesalin virtualisoitujen laitteiden siirron AWS-ympäristöön, olettaen että laitteet hyödyntävät VMwaren tarjoamaa hypervisorina, eli ohjelmistoa, jolla rakennetaan ja pyöritetään virtuaalisia laitteita.

Natiivi Amazon Outposts tuo AWS-palvelut, infrastruktuurin ja operointimallit käytännössä mihin tahansa tietokeskusten, jaettujen tilojen ja omien palvelusalien käytettäväksi (Amazon, 2018). Natiivissa hybridiratkaisussa yritys tilaa Amazonilta palvelinräkin, joka liitetään fyysisesti palvelimiin, jotka halutaan yhdistää AWS-ympäristöön. Tässä ratkaisussa voidaan hyödyntää tismalleen samoja API-käyttöjärjestelmiä ja konsolia mitä käytetään AWS-pilven ajamisessa, mutta paikallaan päällä.

5.4 Virtualisoinnin hinnoittelu

Liitteiden 2 ja 3 kaavioon on valittu instansseja yleisen käyttötarkoituksen, laskentaan optimoidun sekä muisti optimoiduista laitteista, joiden laitetehot ovat verrattavissa toisiinsa.

Kaavioissa on otettu huomioon eri maksutavat, tavallisesta käyttöön perustuvasta pay-as-you-go mallista alustojen tarjoamien varattujen instanssien hinnoitteluun, jossa käyttäjä lupautuu omistamaan laitteen joko vuodeksi tai kolmeksi vuodeksi, sekä AWS-ympäristön mahdollisuuden maksaa laitteet etukäteen joko osittain tai kokonaan. Azuren Windows-laitteiden hankinnassa Microsoft tarjoaa myös Azure hybrid benefit hinnoittelumallia, jossa laite tulee varata kolmeksi vuodeksi, mutta säästöt verrattuna tavalliseen pay-as-you-go malliin ovat huomattavia.

5.4.1 Azure Hybrid Benefit

"AWS is 5 times more expensive than Azure for Windows Server and SQL Server" (Microsoft). Windows-laitteissa edullisimmaksi ratkaisuksi jokaisessa instanssityypissä tuli hybrid benefit-vaihtoehto, ja kalleimmat vaihtoehdot olivat AWS pay-as-you-go tarjonta yleisen laskennan instansseissa, ja Azuren pay-as-

you-go laskenta- ja muistioptimoiduissa instansseissa. Microsoft pystyy tarjoamaan Server- ja SQL-ratkaisujaan edullisesti, koska he voivat antaa käyttäjilleen lisenssit palveluihin ilman veloitusta.

Hintaa laskee myös se, että hybrid benefit laitteet eivät ole skaalautuvia, kun taas AWS tarjoaa "Convertible" eli muunnettavissa olevia laitesopimuksia, jossa instanssin voi varata pidemmälle aikavälille, mutta sen laiteominaisuuksia voidaan muokata sopimuksen aikana.

5.4.2 Linux instanssit

Microsoftilla oli huomattava etuasema Windows-ympäristön laitteiston hankinnan suhteen, mutta avoimen lähdekoodin laitteiston hankinnassa ero Amazonin ja Azuren hinnoittelussa on tasaisempi.

Jokaisessa Linux instanssityypissä kallein vaihtoehto oli Azuren pay-as-you-go tarjous, mutta kolmen vuoden varauksilla Azure silti päihittää AWS-tarjonnan yleisen käytön sekä laskentaoptimoitujen instanssien suhteen, tosin hinnoittelu on hyvin tasaista Linux instansseja verratessa.

5.4.3 Hintasuhteessa laitteiden tehokkuuteen

Vaikka laitteiden tekniset tiedot olivat lähestulkoon identtiset paperilla, tulee ottaa huomioon myös eroavaisuudet esimerkiksi laitteiden prosessorien välillä. Liitteessä 4 on laskettu liitteiden 2 ja 3 hintalaatu-suhde, jossa otettiin huomioon laitteen prosessorien yksittäisen säikeen (thread) tehokkuus (kuva 11).

	Intel Xeon E5-2673 v4 @ 2.30GHz	Intel Xeon Platinum 8175M @ 2.50GHz
Price	Search Online	Search Online
Socket Type	FCLGA2011-3	FCLGA3647
CPU Class	Server	Server
Clockspeed	2.3 GHz	2.5 GHz
Turbo Speed	Up to 3.3 GHz	NA ²
# of Physical Cores	20 (2 logical cores per physical)	24 (2 logical cores per physical)
Max TDP	135W	NA ²
Yearly Running Cost	\$24.64	NA
First Seen on Chart	Q4 2016	Q2 2018
# of Samples	14	2
Single Thread Rating	1792	1796
CPU Mark	21474	28103

² - Information not available. Do you know? Notify Us.

KUVA 11. Yleisen käyttötarkoituksen laitteiden prosessorien vertailu (Cpu-benchmark)

Prossessorien tehokkuuden huomioon ottamisesta huolimatta hybrid benefit instanssit olivat silti kannattavimmat hinta-laatusuhteeltaan.

Laitteiden konkreettisen tehokkuuden selvittäminen on jokseenkin hankalaa, koska virtualisoidut instanssit voivat siirtyä fyysisiltä laitteilta toisiin, ja riippuen siitä mihin instanssi on sijoitettuna fyysisesti, esimerkiksi verkkonopeuksissa saattaa ilmetä vaihtelua.

5.5 Tallennustilan hinnoittelu

Virtuaalilaitteita varten joudutaan valitsemaan myös tallennuslevy, jonka kulut ovat erillisiä virtuaalilaitteista, ja niiden hinnoittelu perustuu kuukausimaksuihin, joka määräytyy tallennustyyppin ja sen koon perusteella.

Liitteen 5 kaaviossa tutkittiin kahta eri tallennuslevyke vaihtoehtoa kummaltakin palveluntarjoajalta; tyyppillisiä SSD eli Solid State Drive-kovalevyjä, sekä provisioituja, korkeamman tehon omaavia SSD-kovalevyjä.

Tyypillisissä kovalevyissä hintavertailussa otettiin huomioon kovalevyjen hinta, koko sekä niiden suorituskyky (Throughput). Provisioiduissa kovalevyissä otettiin myös kovalevyjen syöte ja tuloste arvot (IOPS).

Jos vertailussa oltaisiin otettu pelkästään hinta ja kovalevyjen koko, Azuren tarjonta olisi vaikuttanut lähes jokaisessa tapauksessa edullisimmalta vaihtoehdolta. Mutta kun laitteiden suorituskyky otetaan huomioon, huomataan että Azuren levynopeudet ovat rajoitettu paljon hitaampiin arvoihin varsinkin pienemmissä levyissä (taulukko 1).

TAULUKKO 1. AWS ja Azuren tyypillisten levykkeiden suorituskyky korostettuna

Azure - Standard SSD Managed Disks				AWS - General Purpose SSD (gp2)		
DISK SIZE	IOPS PER DISK	PRICE PER MO	THROUGHPUT PER DISK	IOPS PER DISK	PRICE PER MONTH	THROUGHPUT PER DISK
32 GiB	120	\$2.40	25 MB/second	120	\$0.21	128 MB/second
64 GiB	240	\$4.80	50 MB/second	192	\$3.54	128 MB/second
128 GiB	500	\$9.60	60 MB/second	384	\$10.20	128 MB/second
256 GiB	500	\$19.20	60 MB/second	768	\$23.51	192 MB/second
512 GiB	500	\$38.40	60 MB/second	1,536	\$50.13	250 MB/second
1 TiB	500	\$76.80	60 MB/second	3,072	\$103.38	250 MB/second
2 TiB	500	\$153.60	60 MB/second	6,144	\$209.88	250 MB/second
4 TiB	500	\$307.20	60 MB/second	12,288	\$422.87	250 MB/second
8 TiB	2,000	\$614.40	400 MB/second	16,000	\$848.85	250 MB/second
16 TiB	4,000	\$1,228.80	600 MB/second	16,000	\$1,870.91	250 MB/second
32 TiB(32767 GiB)	6,000	\$2,457.60	750 MB/second		Ei Saatavilla	Ei Saatavilla

Vertailussa on hyvä ottaa huomioon, että yleisen käyttötarkoituksen 32 GiB kovalevyssä AWS tarjoaa ilmaisen tason alennuksen, joka vähentää kovalevyjen hintaa kolmella dollarilla kuukaudessa. Tämä antaa kovalevyke vaihtoehdolle suuren etuaseman hinta-laatusuhdetta ajatellen.

5.6 Tarjoukset

Tällä hetkellä Microsoft Azure tarjoaa TAMKin opiskelijoille 100 euroa ilmaista krediittia käytettäväksi opiskelijoille, ilman että kirjautuessa vaaditaan luottokortti tietoja. TAMK ei ole sopinut minkäänlaista sopimusta Amazonin kanssa, joka olisi pakollinen implementointia varten. Ilman sopimusta opiskelijoiden tulisi luoda oma AWS tili, joka vaatisi luottokorttitiedot. Pelkästään se, että opiskelijoiden tulisi luoda omat tilinsä sulkee AWS alustan käyttöönoton kokonaan. Lisenssien pitäisi olla koko opiskeluajan, kun se alkaa ja päättyy (Opettaja 1, 2019).

Koska TAMKin ja Microsoftin välillä on jo sopimus, joka kattaa Azure-ympäristön käytön, on koulun kannalta helpompaa ruveta käyttämään Microsoftin ympäristöä, joka on jo olemassa.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön ”Amazon Web Services –palveluiden hyödyntäminen opetusympäristössä” aihe oli erittäin laaja, ja päätin lähteä toteuttamaan aihetta yleisellä tutkimustyöllä AWS-ympäristöstä. Haasteena työssä oli rajoittaa aihetta tiettyihin palveluihin tai pilvipalvelualustan ominaisuuksiin, sillä AWS palveluntarjonta on niin kattava, ettei kaikkia palveluja voisi mitenkään tutkia.

Päätin lähteä tutkimaan AWS-ympäristön suosituimpia palveluja haastattelujen tulosten perusteella, sillä haastatteluista tuli ilmi, että AWS-ympäristö on monille vieras. Haastatteluissa nousi ylös myös alustojen palvelujen hinnoittelumallit, joiden selvittely oli oleellinen osa sitä, kannattaako toimeksiantajan lähteä investoimaan hankkeeseen.

Opiskeluympäristöä voitaisiin kehittää hyödyntämällä pilvipalvelualustoja esimerkiksi siirtämällä koulun paikalliset tietokannat pilvipalvelualustalle, joka mahdollistaisi opiskelijoille pääsyn ympäristöihin koulun alueen ulkopuolelta. Pilvipalveluiden opetusta voitaisiin myös lisätä opintopoluissa. Opinnäytetyön tuloksia voitaisiin hyödyntää ohjeistuksena siitä, mikä AWS-pilvialusta on, ja miten sitä voidaan käyttää.

Jatkokehitystä varten olisi hyvä tehdä lisäselvitystä tiettyjen opintopolkujen tarpeista. Pelituotannon opintopolulla pilvipalvelualustoja voitaisiin hyödyntää esimerkiksi verkkopeleille vaadittavien palvelimien rakentamisessa. Ohjelmointituotannossa tietokantojen siirtoa pilvipalvelualustalle voitaisiin toteuttaa jatkossa. AWS-pilvipalvelualustasta löytyy myös ratkaisuja verkkosivujen luontiin, joka soveltuisi hyvin web-palveluiden opetuspolkuun.

LÄHTEET

Aalto, J. Opettaja 1. 2019. Haastattelu 2.5.2019. Haastattelijat Arjola, M. & Sjöberg, J. Tampereen ammattikorkeakoulu

Amazon, 2019. Instance Types. Käyttöopas
<https://docs.aws.amazon.com/AWSEC2/latest/UserGuide/instance-types.html>

Amazon, 2019. What Is the AWS Command Line Interface? Käyttöopas
<https://docs.aws.amazon.com/cli/latest/userguide/cli-chap-welcome.html>

Azure, 2014. Upcoming Name Change for Windows Azure. Blog.
<https://azure.microsoft.com/en-us/blog/upcoming-name-change-for-windows-azure/>

Black, B. 2009. EC2 Origins. Luettu 12.10.2019
<https://blog.b3k.us/2009/01/25/ec2-origins.html>

Cpubenchmark. Työkalu prosessorien vertailuun.
<https://www.cpubenchmark.net/singleCompare.php>

Fellows, J. 2019. What is Private cloud? Liquidweb.
<https://www.liquidweb.com/blog/private-cloud/>

Foulds, I. 2018. Learn Azure in a Month of Lunches. 1 edition. US: Manning Publications.

Gulabani, S. 2018. Amazon Web Services Bootcamp. Birmingham, UK: Packt Publishing

Jassy, A. 2006. Amazon Web Services Launches. Press Release
<https://press.aboutamazon.com/news-releases/news-release-details/amazon-web-services-launches-amazon-s3-simple-storage-service/>

Maayan, G.D. 2017. Confused by AWS Storage Options? S3, EBS, EFS Explained.
<https://dzone.com/articles/confused-by-aws-storage-options-s3-ebs-amp-efs-explained>

Marinescu, D. C. 2018. Cloud Computing. Theory and Practice. 2nd Edition. Morgan Kaufmann.

Otey, M. 2018. Hybrid Cloud: Microsoft Azure vs Amazon AWS. Petri
<https://www.petri.com/hybrid-cloud-microsoft-azure-vs-amazon-aws>

Pang, A. 2019. First look at 2017-2022 PaaS, IaaS, SaaS Markets As 14 Top Cloud Computing Billionaires Expand Across Enterprise IT.
<https://www.appsruntheworld.com/first-look-at-2017-2022-paas-iaas-saas-markets-as-14-top-cloud-computing-billionaires-expand-across-enterprise-it/>

Park My Cloud, 2019. AWS Services List.
<https://www.parkmycloud.com/aws-services-list/>

Pekkanen, P. Opettaja 2. 2019. Haastattelu 15.4.2019. Haastattelijat Arjola, M. & Sjöberg, J. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Pervilä, M. 2017. Hybridi pilvitalennus, lyhyt oppimäärä. TIVI
<https://www.tivi.fi/uutiset/hybridi-pilvitalennus-lyhyt-oppimaara/180fc16a-370f-38ec-a7a1-320acf368890>

Raza, M. 2018. Public Cloud vs Private Cloud vs Hybrid Cloud: What's The Difference? BMC.
<https://www.bmc.com/blogs/public-private-hybrid-cloud/>

Sjöberg, J. 2019. Microsoft Azure ja sen palveluiden hyödyntäminen opetusympäristössä. Tampere

Stringfellow, A. 2017. What is AWS CLI? Understanding the Command Line Tool. Stackify.
<https://stackify.com/what-is-aws-cli/>

Studysection, 2019. History of Microsoft Azure
<https://blog.studysection.com/history-of-microsoft-azure>

Watts, S. 2017. SaaS vs PaaS vs IaaS: What's the difference and how to choose. BMC.
<https://www.bmc.com/blogs/saas-vs-paas-vs-iaas-whats-the-difference-and-how-to-choose/>

Wittig, A. & Wittig, M. 2015. Amazon Web Services in Action. Greenwich, CT, USA: Manning Publications Co.

Yliruusi, P. Opettaja 3. 2019. Haastattelu 15.4.2019. Haastattelijat Arjola, M. & Sjöberg, J.

LIITTEET

Liite 1. Haastattelurunko

1. Selostus opinnäytetyön aiheesta

Opinnäytetyömme aiheena ovat pilvipalvelut, Azure ja AWS, ja niiden hyödyntäminen tietojenkäsittelyn koulutusohjelman koulutuksessa.

Haastattelun tarkoituksena on kartoittaa pilvipalveluiden tarvetta tikon opetuksessa.

2. Kysymykset

Yleiset

Ovatko pilvipalvelualustat kuten Azure & AWS entuudestaan tuttuja? Mitkä palvelut on jo entuudestaan tuttuja (virtualisointi, tietokannat, verkkosivujen luonti, mobiilisovellukset, tietoverkkopalvelut)

Käytättekö julkisten pilvipalveluiden palveluita opetuksessa jo ennestään?

WEB kysymykset

Haluaisitteko luoda ja ylläpitää verkkosivuja hyödyntäen pilvipalvelualustoja?

Hyödynnättekö jo ennestään SQL-tietokantoja?

Olisiko tarvetta siirtää jo luotuja SQL-tietokantoja pilveen?

OT kysymykset

Mobiilisovellusten ja Web applikaatioiden luonti ja ylläpito pilvipalvelualustassa.

Voisitteko hyödyntää Microsoft Visual studio ohjelmankehitysympäristöä pilvipalveluympäristössä?

PELI kysymykset

Useat pelit hyödyntävät nykyisin pilvipalvelualustojen resursseja, voitaisiinko niitä hyödyntää tietojenkäsittelyn pelikoulutuksessa?

Olisiko tarvetta tuottaa dokumentteja kuten ohjeita palveluiden käyttämisessä?

Microsoft tarjoaa tietojenkäsittelyn opiskelijoille 100:n dollarin edestä arvoa käytettäväksi Azureen. Oletteko tietoinen tästä? Voitaisiinko tätä tarjousta hyödyntää opetuksen toteutuksessa?

Liite 2. Windows laitteen hinnoittelut Amazon Web Services & Microsoft Azure

GENERAL PURPOSE	WINDOWS	2 vCPU	4 GB RAM					
SERVICE	INSTANCE	PAYMENT OPTION	TYPE	UPFRONT COST	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	3 YEAR RESERVED WITH AZURE HYBRID BENEFIT (% SAVINGS)
AZURE	B2S	On-Demand		\$0	\$0.056/hour	\$0.0361/hour (~36%)	\$0.0261/hour (~53%)	\$0.0181/hour (~68%)
AWS	t3.medium	On-Demand		\$0	\$0.0616/hour			
	t3.medium	No Upfront	Standard	\$0		\$0.049/hour (~20%)		
AWS								
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Standard	\$209		\$0.048/hour (~23%)		
AWS	t3.medium	All Upfront	Standard	\$413		\$0.047/hour (~23%)		
	t3.medium	No Upfront	Convertible			\$0.054/hour (~13%)		
AWS				\$0				
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Convertible	\$228		\$0.052/hour (~16%)		
AWS	t3.medium	All Upfront	Convertible	\$450		\$0.051/hour (~17%)		
AWS	t3.medium	No Upfront	Standard	\$0			\$0.040/hour (~35%)	
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Standard	\$506			\$0.039/hour (~37%)	
AWS	t3.medium	All Upfront	Standard	\$981			\$0.037/hour (~39%)	
AWS	t3.medium	No Upfront	Convertible	\$0			\$0.043/hour (~30%)	
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Convertible	\$546			\$0.042/hour (~33%)	
AWS	t3.medium	All Upfront	Convertible	\$1,080			\$0.041/hour (~33%)	

COMPUTE OPTIMIZED	WINDOWS	8 vCPU	16 GB RAM					
SERVICE	INSTANCE	PAYMENT OPTION	TYPE	UPFRONT COST	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	3 YEAR RESERVED WITH AZURE HYBRID BENEFIT (% SAVINGS)
AZURE	F8s v2	On-Demand		\$0	\$0.74/hour	\$0.5978/hour (~19%)	\$0.5080/hour (~31%)	\$0.1400/hour (~81%)
AWS	c5.2xlarge	On-Demand		\$0	\$0.7320/hour			
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Standard	\$0		\$0.619/hour (~15%)		
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Standard	\$2,658		\$0.608/hour (~17%)		
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Standard	\$5,274		\$0.602/hour (~18%)		
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Convertible	\$0		\$0.656/hour (~10%)		
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$2,815		\$0.642/hour (~12%)		
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Convertible	\$5,581		\$0.6376/hour (~13%)		
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Standard	\$0			\$0.544/hour (~26%)	
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Standard	\$6,978			\$0.532/hour (~27%)	
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Standard	\$13,699			\$0.521/hour (~29%)	
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Convertible	\$0			\$0.568/hour (~22%)	
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$7,275			\$0.554/hour (~24%)	
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Convertible	\$14,452			\$0.550/hour (~25%)	

MEMORY OPTIMIZED	WINDOWS	16 vCPU	128 GB RAM					
SERVICE	INSTANCE	PAYMENT OPTION	TYPE	UPFRONT COST	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	3 YEAR RESERVED WITH AZURE HYBRID BENEFIT (% SAVINGS)
AZURE	E16 v3	On-Demand		\$0	\$2.016/hour	\$1.4889/hour (~26%)	\$1.2175/hour (~40%)	\$0.4815/hour (~76%)
AWS	r5.4xlarge	On-Demand		\$0	\$1.8080/hour			
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Standard	\$0		\$1.411/hour (~22%)		
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Standard	\$6,041		\$1.380/hour (~24%)		
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Standard	\$11,969		\$1.366/hour (~24%)		
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Convertible	\$0		\$1.513/hour (~16%)		
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$6,463		\$1.476/hour (~18%)		
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Convertible	\$12,797		\$1.461/hour (~19%)		
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Standard	\$0			\$1.222/hour (~32%)	
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Standard	\$15,587			\$1.186/hour (~34%)	
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Standard	\$30,464			\$1.159/hour (~36%)	
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Convertible	\$0			\$1.295/hour (~28%)	
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$16,475			\$1.254/hour (~31%)	
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Convertible	\$32,677			\$1.243/hour (~31%)	

Liite 3. Linux laitteen hinnoittelut Amazon Web Services & Microsoft Azure

GENERAL PURPOSE SERVICE	LINUX INSTANCE	2 vCPU PAYMENT OF	4 GB RAM TYPE	UPFRONT COST	CPU MODEL	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)
AZURE	B2S	On-Demand		\$0	Intel Xeon E5-2673 v4, 2.3 GHz	\$0.048/hour	\$0.0281/hour (~42%)	\$0.0181/hour (~62%)
AWS	t3.medium	On-Demand		\$0	Intel Xeon Skylake P-8175 Variable ECUs, 2 vCPUs, 2.5 GHz	\$0.0432/hour		
	t3.medium	No Upfront	Standard	\$0			\$0.031/hour (~29%)	
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Standard	\$128			\$0.029/hour (~32%)	
AWS	t3.medium	All Upfront	Standard	\$251			\$0.029/hour (~34%)	
AWS	t3.medium	No Upfront	Convertible				\$0.035/hour (~18%)	
AWS				\$0				
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Convertible	\$148			\$0.034/hour (~22%)	
AWS	t3.medium	All Upfront	Convertible	\$289			\$0.033/hour (~24%)	
AWS	t3.medium	No Upfront	Standard	\$0				\$0.022/hour (~50%)
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Standard	\$264				\$0.020/hour (~53%)
AWS	t3.medium	All Upfront	Standard	\$497				\$0.019/hour (~56%)
AWS	t3.medium	No Upfront	Convertible	\$0				\$0.025/hour (~42%)
AWS	t3.medium	Partial Upfront	Convertible	\$304				\$0.023/hour (~46%)
AWS	t3.medium	All Upfront	Convertible	\$596				\$0.023/hour (~48%)

COMPUTE OPTIMIZED SERVICE	LINUX INSTANCE	8 vCPU PAYMENT OF	16 GB RAM TYPE	UPFRONT COST	CPU MODEL	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)
AZURE	F8s v2	On-Demand		\$0	Intel Xeon® Platinum 8168 (SkyLake) processor	\$0.388/hour	\$0.2298/hour (~41%)	\$0.1400/hour (~64%)
AWS	c5.2xlarge	On-Demand		\$0	Intel Xeon Scalable Processors (Cascade Lake) or Xeon Platinum 8000 series (SkyLake-SP) processor	\$0.364/hour		
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Standard	\$0	Intel Xeon Platinum 8124M, 34 ECUs, 8 vCPUs, 3 GHz		\$0.251/hour (~31%)	
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Standard	\$1,046			\$0.238/hour (~35%)	
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Standard	\$2,050			\$0.234/hour (~36%)	
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Convertible	\$0			\$0.288/hour (~21%)	
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$1,203			\$0.274/hour (~25%)	
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Convertible	\$2,357			\$0.269/hour (~26%)	
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Standard	\$0				\$0.176/hour (~52%)
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Standard	\$2,143				\$0.164/hour (~55%)
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Standard	\$4,028				\$0.153/hour (~58%)
AWS	c5.2xlarge	No Upfront	Convertible	\$0				\$0.200/hour (~45%)
AWS	c5.2xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$2,439				\$0.186/hour (~49%)
AWS	c5.2xlarge	All Upfront	Convertible	\$4,781				\$0.182/hour (~50%)

MEMORY OPTIMIZED SERVICE	LINUX INSTANCE	16 vCPU PAYMENT OF	128 GB RAM TYPE	UPFRONT COST	CPU MODEL	PAY AS YOU GO	ONE YEAR RESERVED (% SAVINGS)	THREE YEAR RESERVED (% SAVINGS)
AZURE	E16 v3	On-Demand		\$0	2.3 GHz Intel XEON® E5-2673 v4 (Broadwell) processor	\$1.28/hour	\$0.7529/hour (~41%)	\$0.4815/hour (~62%)
AWS	r5.4xlarge	On-Demand		\$0	Up to 3.1 GHz Intel Xeon® Platinum 8175 processors	\$1.072/hour		
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Standard	\$0			\$0.675/hour (~37%)	
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Standard	\$2,817			\$0.644/hour (~40%)	
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Standard	\$5,522			\$0.630/hour (~41%)	
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Convertible	\$0			\$0.777/hour (~28%)	
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$3,240			\$0.740/hour (~31%)	
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Convertible	\$6,350			\$0.725/hour (~32%)	
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Standard	\$0				\$0.486/hour (~55%)
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Standard	\$5,916				\$0.450/hour (~58%)
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Standard	\$11,122				\$0.423/hour (~61%)
AWS	r5.4xlarge	No Upfront	Convertible	\$0				\$0.559/hour (~48%)
AWS	r5.4xlarge	Partial Upfront	Convertible	\$6,804				\$0.518/hour (~52%)
AWS	r5.4xlarge	All Upfront	Convertible	\$13,335				\$0.507/hour (~53%)

Liite 4. Windows & Linux laitteiden teho/hinta -suhteet prosessorien tehokyvyn ja instanssien hinnoittelun kannalta

Windows General Purpose				Linux General Optimized		
32000	49839.8892	68659.00383	99005.52486	37333.33333	63772.24199	99005.52486
29155.84				41574.07407		
	36653.06				57935.48387	
	37416.67				61931.03448	
	38212.77				61931.03448	
	33259.26				51314.28571	
	34538.46				52823.52941	
	35215.69				54424.24242	
		44900.00				81636.36364
		46051.28				89800
		48540.54				94526.31579
		41767.44				71840
		42761.90				78086.95652
		43804.88				78086.95652

Windows Compute Optimized				Linux Compute Optimized		
2801.351351	3467.714955	4080.708661	14807.14288	5342.783505	9020.887728	14807.14286
2685.79235				5401.098901		
	3176.090468				7832.669323	
	3244.224422				8260.504202	
	3265.780731				8401.709402	
	2996.95122				6826.388889	
	3062.305296				7175.182482	
	3083.437892				7308.550186	
		3613.970588				11170.45455
		3695.488722				11987.80488
		3773.512476				12849.6732
		3461.267606				9830
		3548.736462				10569.89247
		3574.545455				10802.1978

Windows Memory Optimized				Linux Memory Optimized		
890.8730159	1203.573108	1471.868583	3721.703011	1400	2380.130163	3721.703011
991.1504425				1675.373134		
	1270.021262				2660.740741	
	1298.550725				2788.819876	
	1311.859444				2850.793651	
	1184.401851				2311.454311	
	1214.092141				2427.027027	
	1226.557153				2477.241379	
		1466.448445				3695.473251
		1510.961214				3991.111111
		1546.160483				4245.862884
		1383.783784				3212.880143
		1429.027113				3467.181467
		1441.673371				3542.406312

Liite 5. Tallennuslevyjen hintavertailu

		Azure - Premium SSD Managed Data		AWS - Provisioned IOPS SSD (io1)		Performance/Price Ratio - MB/second per Dollar -> higher is better			
DISK SIZE	IOPS PER DISK	PRICE PER MONTH	THROUGHPUT PER DISK	PRICE PER MONTH	THROUGHPUT PER DISK	Azure	AWS	Azure	AWS
32 GB	120	\$8.81	25 MB/second	\$12.41	30 MB/second	4.30	2.42	25	30
64 GB	240	\$11.23	50 MB/second	\$24.81	60 MB/second	4.48	2.42	50	60.00
128 GB	500	\$21.65	100 MB/second	\$50.07	120 MB/second	4.61	2.45	100	120
256 GB	1,100	\$41.82	125 MB/second	\$108.78	275 MB/second	2.99	2.53	150	175
512 GB	2,300	\$80.54	150 MB/second	\$224.40	575 MB/second	1.98	2.68	200	1000
1 TB	5,000	\$148.06	200 MB/second	\$479.16	1000 MB/second	1.25	2.10	250	1000
2 TB	7,500	\$234.64	250 MB/second	\$781.09	1000 MB/second	0.88	1.26	250	1000
4 TB	7,500	\$645.10	250 MB/second	\$1,794.08	1000 MB/second	0.45	0.68	500	1000
8 TB	18,000	\$1,040.04	500 MB/second	\$2,534.80	1000 MB/second	0.48	0.39	750	1000
16 TB	18,000	\$1,062.17	750 MB/second	\$3,716.27	1000 MB/second	0.38	0.27	900	1000
32 TB/32767 GB	20,000	\$3,954.34	900 MB/second	\$7,731.49 - 2 16 TB volumes	1000 MB/second	0.23	0.13		\$7,731.49

		Azure - Standard SSD Managed Data		AWS - General Purpose SSD (gp2)		Performance/Price Ratio - MB/second per Dollar -> higher is better		Performance/Price Ratio - IOPS per Dollar -> higher is better		
DISK SIZE	IOPS PER DISK	PRICE PER MONTH	THROUGHPUT PER DISK	IOPS PER DISK	PRICE PER MONTH	THROUGHPUT PER DISK	Azure	AWS	Azure	AWS
32 GB	120	\$2.40	25 MB/second	120	\$3.21	120 MB/second	10.42	800.83	50.00	671.43
64 GB	240	\$4.80	50 MB/second	192	\$3.54	120 MB/second	10.42	38.18	50.00	64.24
128 GB	500	\$9.60	60 MB/second	384	\$10.20	150 MB/second	5.25	12.65	90.00	17.45
256 GB	600	\$19.20	80 MB/second	768	\$23.81	192 MB/second	3.13	8.17	26.04	32.67
512 GB	600	\$38.40	80 MB/second	1,536	\$50.10	260 MB/second	1.99	4.99	13.02	30.84
1 TB	600	\$76.80	80 MB/second	3,072	\$103.36	260 MB/second	0.78	2.42	8.61	29.72
2 TB	600	\$153.60	80 MB/second	6,144	\$209.88	260 MB/second	0.39	1.19	3.39	29.27
4 TB	600	\$307.20	80 MB/second	12,288	\$422.87	260 MB/second	0.20	0.69	1.83	29.06
8 TB	2,000	\$614.40	400 MB/second	18,000	\$848.80	260 MB/second	0.65	0.29	3.25	18.65
16 TB	4,000	\$1,228.80	500 MB/second	18,000	\$1,670.90	260 MB/second	0.46	0.13	1.29	15.65
32 TB/32767 GB	6,000	\$2,457.60	750 MB/second		Ei Saatavilla	Ei Saatavilla	0.21	Ei Saatavilla	2.44	Ei Saatavilla