



UNIVERSITY OF TARTU

INSTITUTE OF COMPUTER SCIENCE



Veebiteenuste ja hajussüsteemide arendus

## Loeng 7: Pilvetehnoloogia

Pelle Jakovits, [jakovits@ut.ee](mailto:jakovits@ut.ee)

Märts 2025

# Pilvetehnoloogia

Interneti eellase ARPANET'i üks rajajaid **Leonard Kleinrock** ütles  
**1969** aastal:

"Praeguse seisuga on arvutivõrgud alles lapsekingades,  
kuid nende kasvades ja keerukamaks muutudes  
näeme tõenäoliselt nn. arvuti kommunaalteenuste levikut,  
mis sarnaselt praeguste elektri- ja telefoniteenustega  
teenindavad kodusid ja kontoreid kõikjal üle riigi"

# Pilveteenuste definitsioon

- Gartner'i definitsioon:

“Pilveteenused on tehnoloogia, kus  
**massiliselt skaleeritavaid IT ressursse** pakutakse  
**teenusena Interneti kaudu** paljudele **välistele klientidele**”

# Pilveteenused

- Arvutusressursside pakkumine mahupõhise teenusena
  - Nagu kommunaalteenused: vesi, elekter, gaas, jne
  - Tarbijad maksavad vastavalt nende kasutamise mahule
- Riistvara asub hiigelsuurtes andmekeskustes
- Kliendid saavad suvalisel hetkel ressursse juurde küsida

# Pilveteenuste ajalugu

1990

## Grid-arvutused

- Suuremahulised arvutused
- Ülikoolide/asutuste vaheline koostöö



1999

## Utiliitarvutused

- Arvutusressurside mahu põhine arveldus
- Serverite rentimine



2001

## Software-as-a-Service

- Rakenduste kasutamine üle interneti
- Brauseripõhised rakendused



~2006

## Pilvetechnoloogia

- Uue generatsiooni andmekeskused
- Automaatne skaleeruvus
- Automatiseerimine

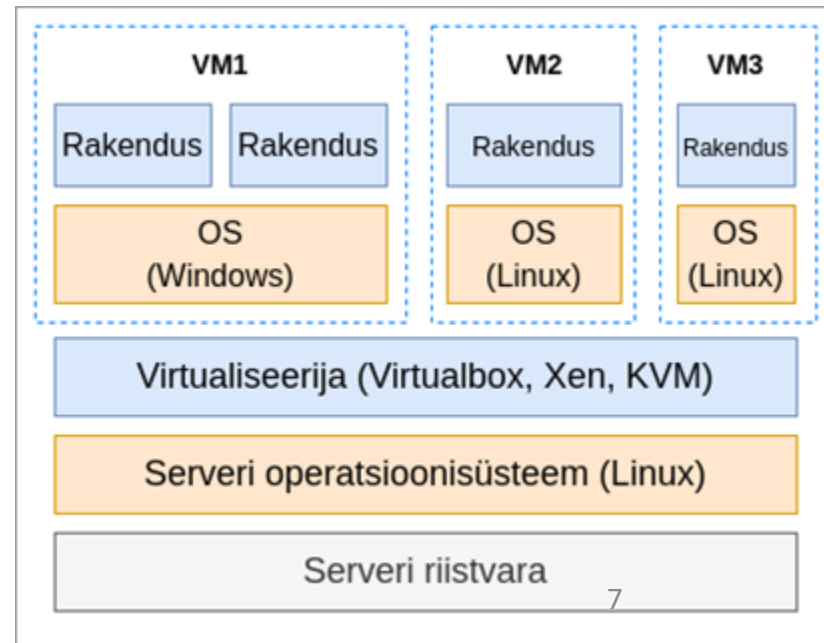


# Esimesed suured pilved

- Amazon Web Services (AWS)
- Alustas ~2006 aastal
- Amazon veebipoodide populaarsuse kasv
  - Suur arvuti ressursside vajadus pühade ajal
  - Väike vajadus muul ajal, eriti öisel ajal
- Idee: rentida mitte kasutatud arvutiressursid välja teistele firmadele
  - Infrastruktuur teenusena
  - Arvutusressursse hakati rentima välja virtuaalmasinatena

# Virtualiseerimine

- Virtualiseerimise tehnikad on pilvetehnoloogia aluseks
- Võimaldab pilveplatvormi haldajal jagada suured arvutid paljudeks väikesteks virtuaalseteks arvutiteks
  - Võimaldab pakkuda paindlikku ligipääsu arvutusressurssidele
- Virtuaalmasinate loomise lahendused
  - Virtualbox
  - VMware
  - Xen
  - KVM
  - Konteinerid (Docker)
    - Sarnane virtualiseerimisele, aga mitte sama
    - “väiksemad” ja “õhukesemad”
    - Ei ole eraldi virtualiseerimise kihti



# Virtualiseerimise Motivatsioon

- Alakasutatud riist- ja tarkvara ressursid
  - Serverist piisab tavaliselt rohkem kui ühe rakenduse jooksumiseks
- Lihtsustab keskkondade kohandamist rakenduste jaoks
  - Igal rakendusel oma individuaalne keskkond
- Keskkondade ja rakenduste teisaldatavus ja taaskasutavatus
  - Tihti piisab failisüsteemi koopia ja süsteemi konfiguratsiooni liigutamisest
- Lihtsustab haldust
  - riistvara jälgimine, defektse riistvara asendamine
  - serveri seadistamine ja värskendused, varukoopiate tegemine
- Turvalisus
  - Erinevates VM'des jooksvad rakendused on tugevalt üksteisest eraldatud

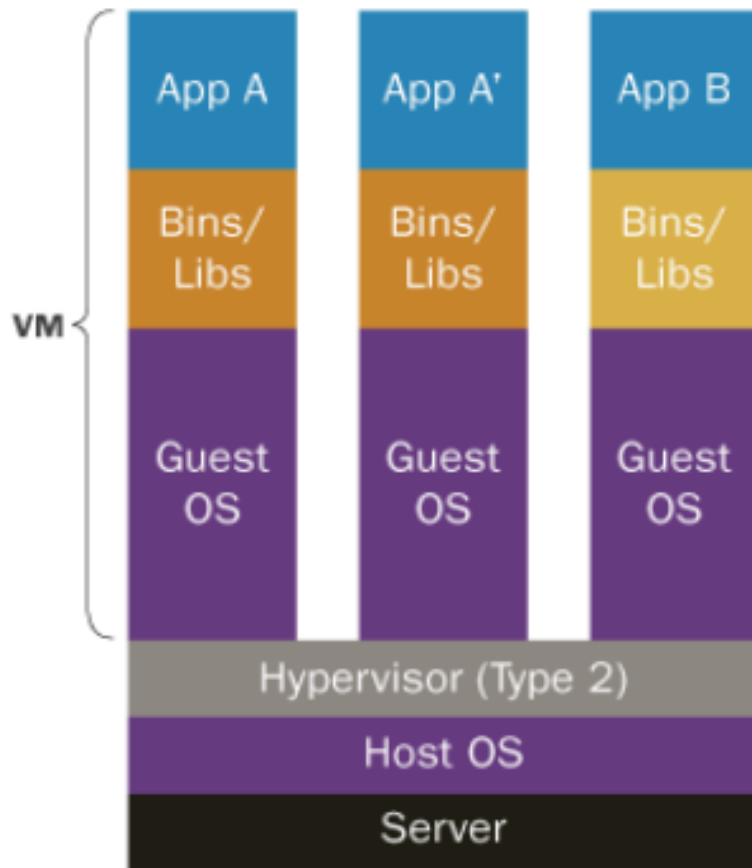


# Konteinerid

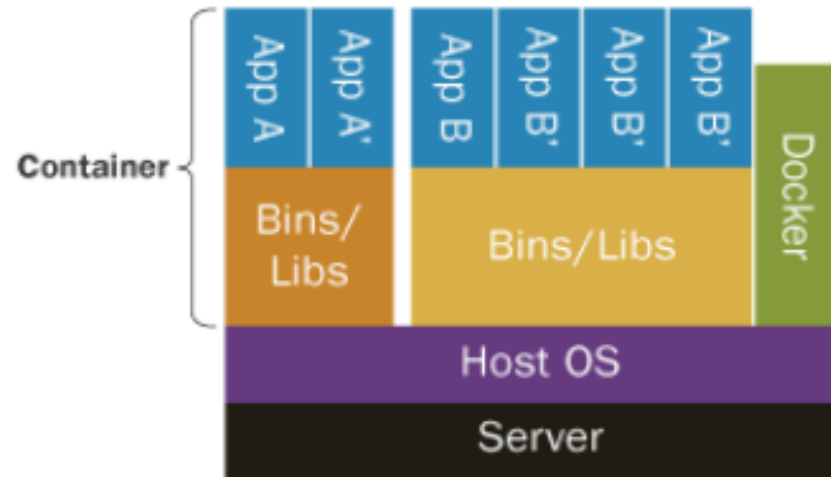
- On kergekaalulisemad
  - Saab otse kasutada OS'i kernelit
    - Ei ole vaja eraldi hüperviisorit (hypervisor)
  - Linux nimeruumid
  - Igal konteineril on komplekt talle eraldatud ressurssidest
- Kiire ülesseadmine
  - Konteineri alustamine on kiirem kui VM alustamine
- Jõudlus
  - Ligilähedane serveri tavajõudlusele, parem kui VM puhul
- Erinevad konteinerite raamistikud
  - LXC, Docker, Linux VServer, OpenVZ
  - Docker on avatud platvorm

# Virtualiseerimine vs konteineriseerimine

## Containers vs. VMs



Containers are isolated, but share OS and, where appropriate, bins/libraries



# Pilveplatvormide omadused

- NIST - National Institute of Standards and Technology
- Pilveteenuseid saab defineerida nende 5 peamise **omaduse** järgi:
  - Iseteenindus
  - Laiaulatuslik interneti ligipääs
  - Ressursside koondamine
  - Kiire elastsus
  - Mõõdetav mahupõhine kasutus

# Pilveteenuste omadus: Iseteenindus

- Kasutaja saab tellida ressursse ja teenuseid üle interneti veebiliideste kaudu
- Ressursside jooksvalt (on-demand) ja dünaamiliselt tellimine
  - Üldjuhul tellimuse vastuse saab kohe
  - Ligipääs teenustele samuti kohe
  - Ei ole kasutuses Inimene-Inimene “liidest”
    - nt. telefon, email
  - Pigem Inimene-pilveplatvorm või tarkvara-pilveplatvorm masinliides
- Kasutajal on kontroll ressursside üle
- Ressursside hankimist on võimalik automatiseerida
  - API kaudu

# Pilveteenuste omadus:

## Laiaulatuslik ligipääs üle interneti

- Ressurssidele pääseb ligi üle interneti
  - neid saab hallata üle interneti
  - asukohast sõltumatult
- Neile pääseb juurde standardsete mehhanismide kaudu, mis on laialdaselt kasutuses
  - Tavalised veebistandardid (HTTP, REST)
  - Saab kasutada ükskõik milliseid klient-seadmeid
    - Brauseri, mobiiltelefonid, tahvelarvutid, jms.
  - Saab automatiseerida ressursside haldust
    - Rakendused saavad ise vajadusel endale ressursse juurde tellida
    - API kaudu juhitud

# Pilveteenuste omadus:

## Ressursside koondamine

- Teenusepakkuja riistvaralised ressursid koondatakse, et pakkuda teenuseid paljudele klientidele samas keskkonnas
- Kasutusele võetud suured andmekeskused, mis asuvad tsentraalsetes asukohtades
  - Suur klientide arv
  - Odav elektri hind
- Klientide virtuaalmasinaid, rakendusi ja andmeid saab liigutada andmekeskuste vahel vastavalt vajadustele
  - NB! Lisaks liigutamisele saab ka replitseerida!

# Pilveteenuste omadus:

## Kiire elastsus

- Kasutame ainult seda, mida vaja – Elastne
  - Ettemakseid ei ole vaja, kasutada saab lühiajaliselt
- Ressursside mahtu ja teenuseid saab juurde tellida ja vabastada kiirelt ja reaalsajas
  - Et skaleerida kiiresti, kui kasutusvajadus suureneb või väheneb
  - Võimaldab järsu kasutajate tõusuga hakkama saada
  - Võimaldab kulusid kokku hoida
- Olemasolevate ressursside maht on näiliselt lõpmatu
- Massiivselt skaleeritav

# Pilveteenuste omadus:

## Mõõdetav mahupõhine kasutus

- Kasutatud arvutusressursid on täpselt mõõdetavad
  - Kasutatud protsessori “aeg”
  - Salvestusruumi maht ajaühikus (GB/kuus)
  - Interneti ribalaius (MB/s) ja maht (MB)
- Ligipääs teenustele ilma ettemaksuta
  - Tihti saab kasutama hakata tasuta, väikese ressursi kasutuse korral
    - Heroku, Google App Engine, Azure static websites
- Saab täpse ülevaate kasutusest, saab kontrollida ja piirata
  - Läbipaistvus nii teenusepakkuja kui ka kliendi jaoks
- Väikese granulaarsusega arveldusühikud
  - Tunnis – Virtuaalmasinad (alguses)
  - Minutis – Virtuaalmasinad tänapäeval
  - Millisekundis – Pilve funktsioonid



# Pilveplatvormide omadused

- Eraldatud keskkonnad
  - Tänu virtualiseerimisele
- Eeldatud efektiivsus
  - Teenuse pakuja kes haldab suurt hulka seadmeid ja palju kliente oskab tõenäoliselt paremini tagada IT-teenuste kvaliteedi taset

# Pilved – Miks ei loodud varem?

- Kogemuse kasv suurte andmekeskuste ehitamisel
  - Enneolematu mastaap
  - Riskide ülekandmine andmekeskuste haldajatele
- Tehnoloogilised tegurid
  - Lairiba Interneti laiaulatuslik levik
  - Virtualiseerimise tehnoloogia küpsus
- Ärilised tegurid
  - Suurem nõudlus arvutusvõimsuse järele
  - Andmekeskuste ehitamise kõrge hind

# Andmekeskused

- Globaalsete pilveteenuste serveerimiseks on vaja palju arvutusvõimsust
- Eeldab ülisuurte ja kallite andmekeskuste ehitamist
  - Hooned
  - Serverid, võrguseadmed, kettad
  - Massiivsed jahutussüsteemid, -jaamad
  - Elektri jaotus, varujaamad, lisajaamad (päikesesse paneelid)



# Google andmekeskus Belgias





# Google andmekeskus Belgias





# Suuremad pilveandmekeskused (2020)



# Pilve andmekeskuste asukoha valik

- Mõistlik ehitada sinna kus kulud on väiksemad
- Elekter on suur osa pilvekeskuste kuludest:

KWh hind (\$ senti)	Asukoht	Võimalikud põhjused
10.07	Idaho	Hüdroelektrijaamad, ei pea kaugele saatma
26.71	California	Elekter transporditakse kaugelt; piiratud ülekande liinid; Söekivi elektrijaamad ei ole lubatud
39.97	Hawaii	Vajab kütuse kohaletoimetamist laevadega

- Ka jahutus on kallisk
  - Jõgede lähedale ehitamine
  - Google ehitas andmekeskuse Soome
  - Lumi superarvuti Soomes

# Pilveteenuste mõju elektri kasutusele

- Pilvandmetöötlus tarbib kogu maailmas rohkem energiat kui enamik riike
  - Aastane elektritarbimine on hinnanguliselt vahemikus:
    - 200 terawatt tundi (TWh) ([Jones, 2018](#))
    - 500 TWh ([Bashroush & Lawrence, 2020](#)).
  - Ainult 9 riiki (sh USA, Hiina, Venemaa ja Jaapan) ületasid pilvede kogu elektritarbimist 2020 aastal
- Bitcoin energia hinnanguline kulu 2022 aastal: 200 TWh (aastate maksimum)



# Suurim andmekeskus Baltikumis



**Pindala 14500 m<sup>2</sup>  
kompleksi koguvõimsus  
31,5 MW**

<https://www.greenenergydatacenters.com/est/avaleht>

# HPC andmekeskus TÜ's

TARTU ÜLIKOOLI  
TEADUSARVUTUSTE  
KESKUS

#UNITARTUDELT  
#UNITARTUCS

neic  Estonian Scientific  
Computing Infrastructure

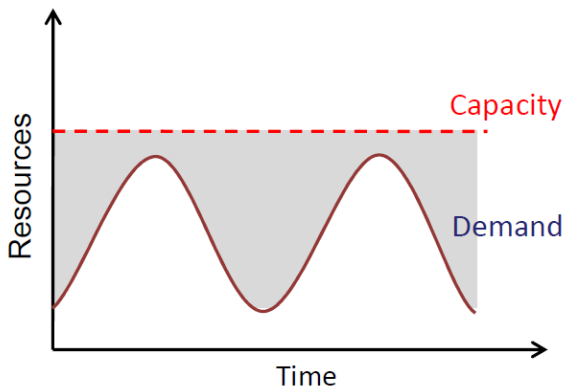


# Pilvetehnoloogiate kasutuselevõtu lühiajalised tagajärjed

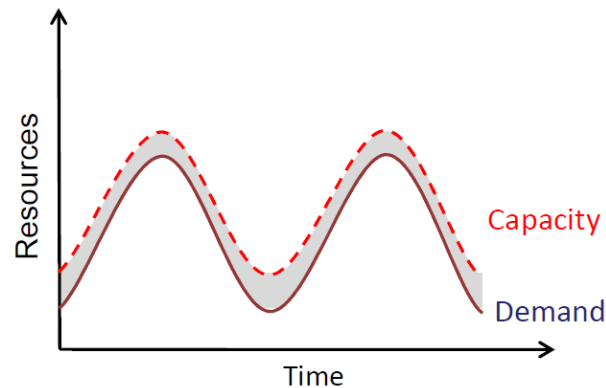
- Startupid ja prototüüpimine
  - Esialgse infrastruktuuri ostmise riski minimeerimine
  - Madalam sisenemiskulu
- Ülesannete skaleerimine
  - Jagame suured arvutusülesanded paljudeks väiksemateks ülesanneteks
- Ühekordsete ülesannete skaleerimine
  - New York Times pidi konverteerima 11 miljonit artiklit PDF-vormingusse
    - IT-osakonna hinnanguline aeg: 7 nädalat (2008. aastal).
    - Seda õnnestus teha 24 tunniga, kasutades 100 EC2 virtuaalmasinat

# Pilve kasutamise ökonoomika

- Paljudel rakendustel on tsüklilised nõudluskõverad
  - Päeva kaupa, nädala kaupa, kuu kaupa, ...



Static data center



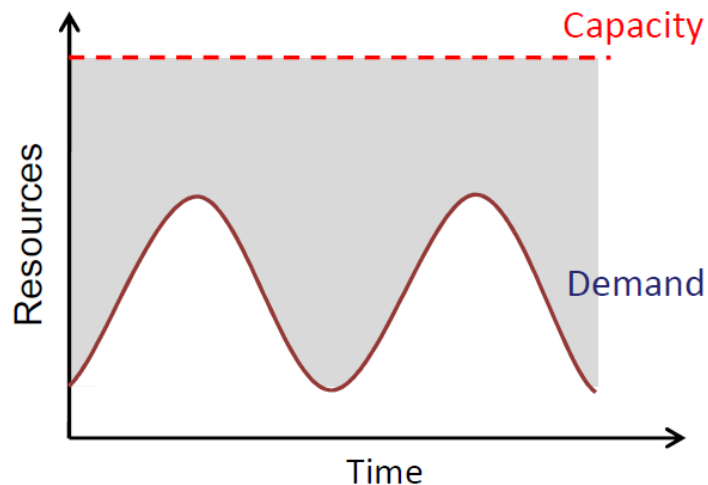
Data center in the cloud



Unused resources

# Pilve kasutamise ökonoomika

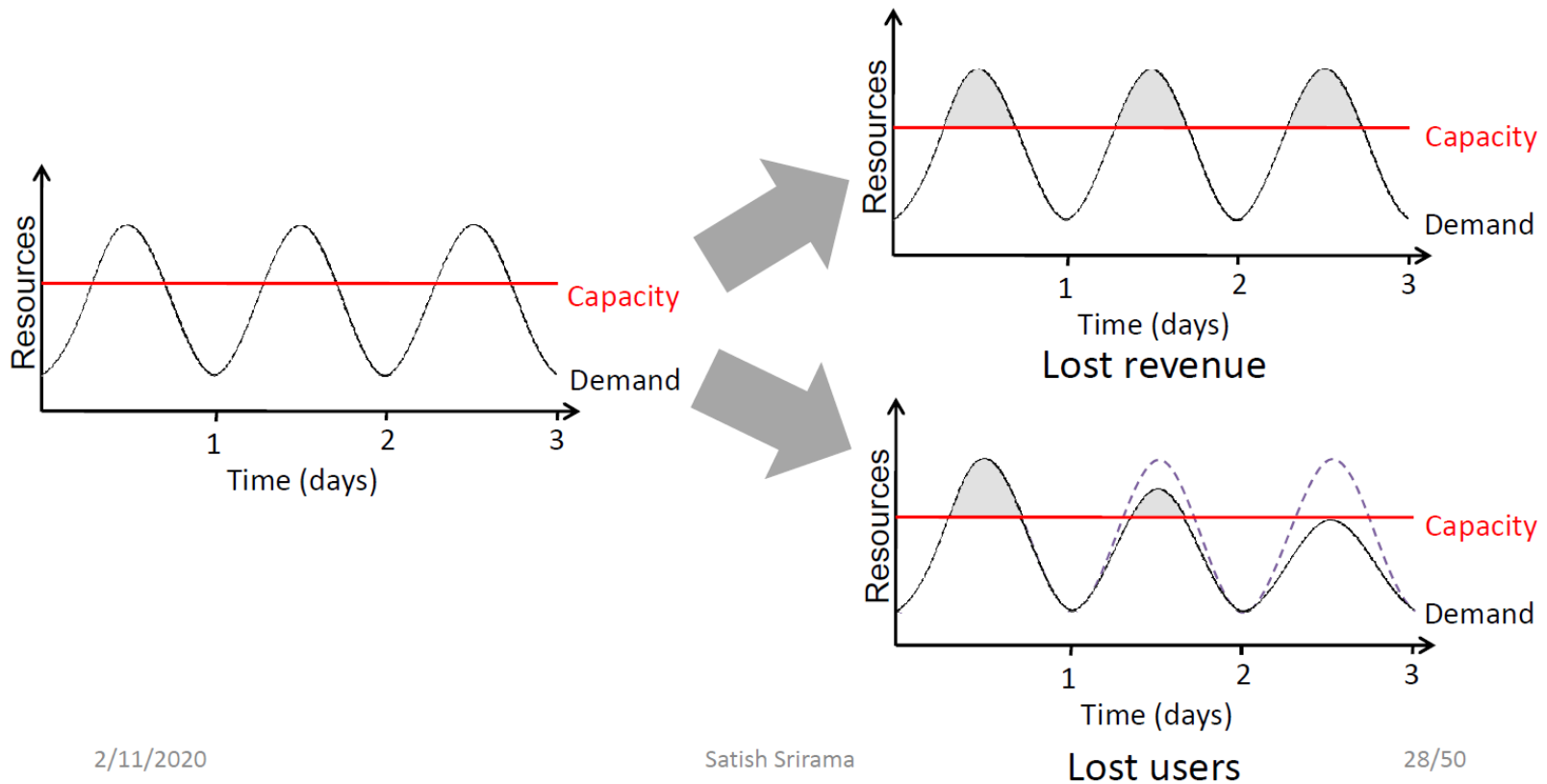
- Ülevarustamise oht: alakasutamine
- Suured pöördumatud kulud infrastruktuurile



Static data center

# Pilve kasutamise ökonoomika

- Alavarustamise tulemus võib olla karm



# Pilve kasutamise ökonoomika

- Suuremahulise andmekeskuse ehitamine on väga kallis
  - 100+ miljonit dollarit (minimaalne).
- Suured Interneti-ettevõtted on ehitanud tohutuid andmekeskusi
  - Google, Amazon, Microsoft...
- 5-7x mastaabisääst [Hamilton **2008**]

Resource	Cost in Medium DC	Cost in Very Large DC	Ratio
Network	\$95 / Mbps / month	\$13 / Mbps / month	7.3x
Storage	\$2.20 / GB / month	\$0.40 / GB / month	5.5x
Administration	≈140 servers/admin	>1000 servers/admin	7.1x

# Pilve kasutamise ökonoomika

- Elekter:

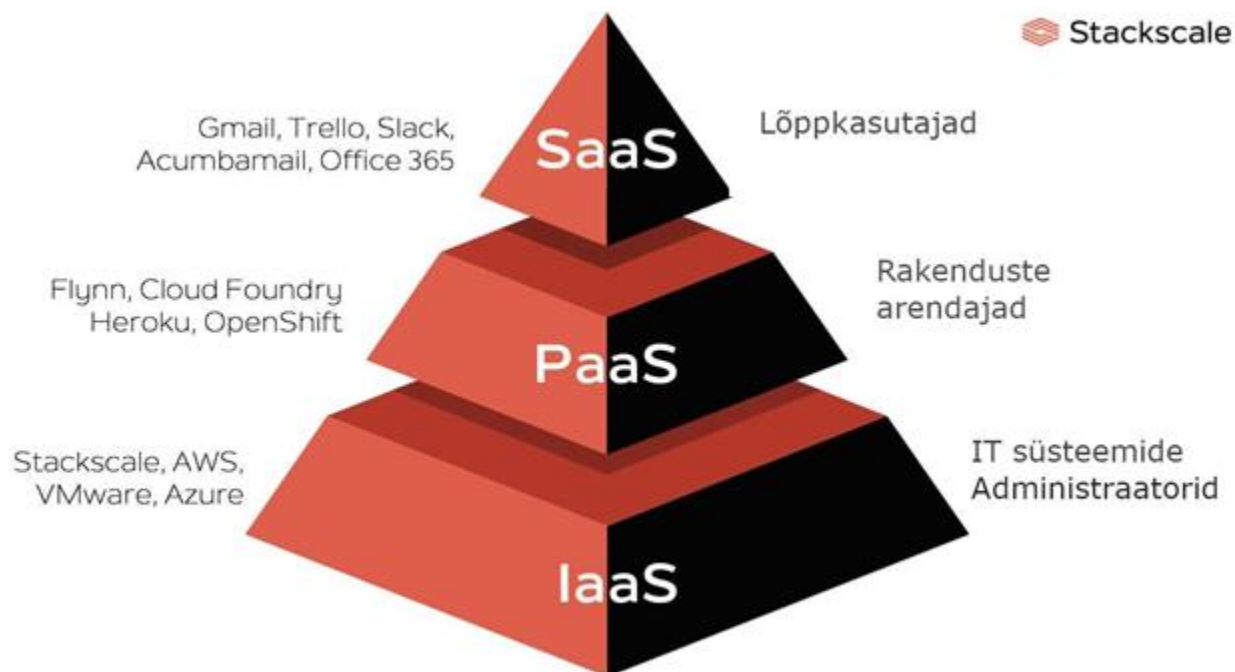
Price per KWH	Where	Possible Reasons Why
3.6¢	Idaho	Hydroelectric power; not sent long distance
10.0¢	California	Electricity transmitted long distance over the grid; limited transmission lines in Bay Area; no coal fired electricity allowed in California.
18.0¢	Hawaii	Must ship fuel to generate electricity

- Ka jahutus on kallis
  - Jõgede lähedale ehitamine
  - Google Ehitas soome andmekeskuse
  - Lumi superarvuti Soomes



# Pilveteenuste mudelid

- **Tarkvara (pilve)teenusena** - *Software as a Service (SaaS)*
  - Pilves üles seatud rakenduste kasutamine veebibrauseri kaudu
- **Platvorm (pilve)teenusena** - *Platform as a Service (PaaS)*
  - Pakub hallatud täis-platvormi rakenduste üles seadmise jaoks
- **Infrastruktuur (pilve)teenusena** - *Infrastructure as a Service (IaaS)*
  - Pakub võimalust rentida virtuaalmasinaid ja muid arvutus- või andmete ressursse üle interneti



# Tarkvara teenusena

- Software as a Service (SaaS)
- Mingi rakendustarkvara pakkumine teenusena üle interneti
  - Tavaliselt brauseri kaudu
  - Ei nõua tarkvara installeerimist
- Teiste pilveteenuste mudelite eesmärk on tihti SaaS tarkvara arendamise jaoks keskkonna pakkumine

# SaaS: Google Mail (GMail)



- Avalikustati 2004 aastal
- Enam ei pidanud kasutama eraldi programmi emailide lugemiseks
- Esialgu jooksis 300 Pentium III arvutil, mida Google töötajad enam ei kasutanud
- Algused saadeti kutsed 1000 inimesele
  - Neile anti õigus teisi kutsuda
- EBays müüdi kutseid kuni \$150 eest

# SaaS: MicroSoft Office 365



- MS Word, PowerPoint, Excel, jt. pilveteenusena
- Läbi brauseri kasutamine
- Kui kasutaja avab lehe, pannakse ajutiselt tarkvara pilves tööle (konteineritena)
- Lisavõimalused: **Automaatsed päästikud**
  - Sarnased makrotele, aga integreeritav teiste teenustega
  - **Näide:** Kui saabub email, lisa kirjas saadetud info automaatselt Exceli tabelisse
  - **Näide:** Kui andmebaasis lisatakse kirje, lisa info ka Excelisse

# Infrastruktuur teenusena

- Infrastructure as a Service (IaaS)
- Arvutiressursside rentimine üle interneti
- Arvutusressursid on virtualiseeritud
  - Üldjuhul ei saa ligipääsu riistvarale
  - Virtuaalmasinad ja konteinerid
- Amazon EC2
- Google Cloud
- Microsoft Azure
- OpenStack (pakutakse ka TÜ HPC poolt)

# Amazon EC2

- *Amazon Elastic Compute Cloud*
- *Võimaldab reaajas ja dünaamiliselt tellida virtuaalmasinaid ja neid konfigureerida*
- *Väga suur valik erinevateks vajadusteks optimeeritud valikuid*
  - Väikesed VM'd, GPU, suure mäluga, jne.
- Võimaldab konfigureerida ligipääsu reegleid, tule müüre, privaatsid võrke, staatilisi IP aadresse, jms.
- Seada üles monitoorimine, koormuse jaotus, automaatne skaleerimine.
- Kõige laialdasemalt kasutatud platvorm

# Platvorm teenusena

## *(Platform as a Service - PaaS)*

- Täis-platvorm rakenduste majutamiseks pilves
- Infrastruktuur ja tarkvara hallatakse platvormi omaniku poolt
- Ettevõtted saavad jooksvalt (on-demand) üles seada veebipõhiseid rakendusi
- Eemaldab riist- ja tarkvara valimise, ostmise, konfigureerimise ja haldamise keerukuse
- Vähendab märkimisväärselt esialgseid kulusid
- Sisseehitatud skaleeritavus
- Integreeritud teiste pilveteenuste ja andmebaasidega
- **Näited:** Google App Engine, AWS BeanStalk, Heroku

# PaaS Näide:

## Azure staatilised veebilehed

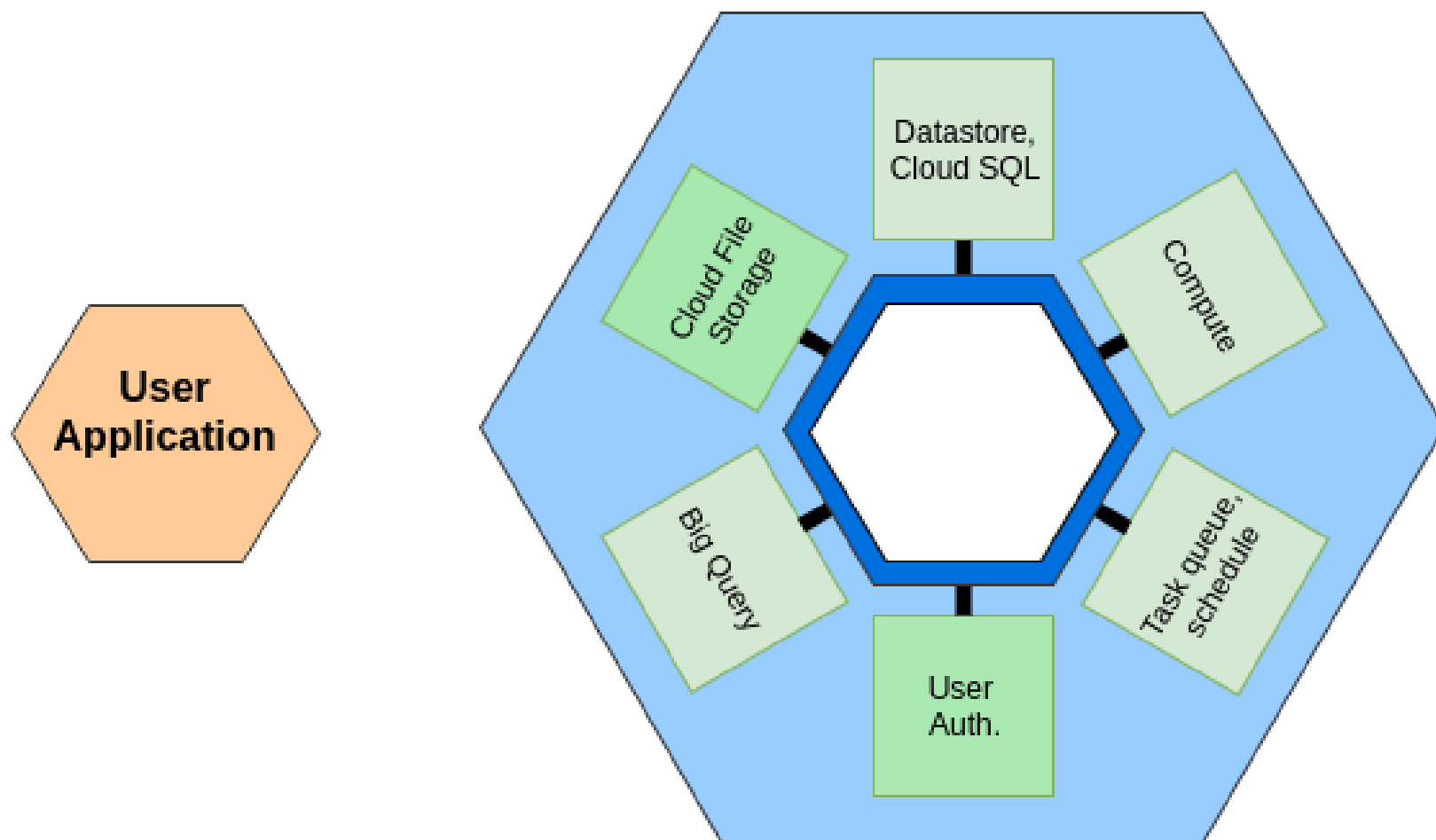
- Teenus staatiliste veebilehtede üles seadmiseks
- Mis on staatiline veebirakendus?
  - HTML, JavaScript (**PHP, Python jms ei ole lubatud**)
  - Rakendus jookseb kliendi brauseris (mitte serveris)
  - Üldjuhul, ei kasuta andmebaasi
- Integratsioon GitHub'ga
  - Sisu hoidmiseks
  - Automaatseks üles seadmiseks kui sisus muudatusi teha
- Tasuta teenus isiklikuks kasutamiseks, hobi tarbeks
  - Sobib näiteks kodulehe, CV üles seadmise jaoks



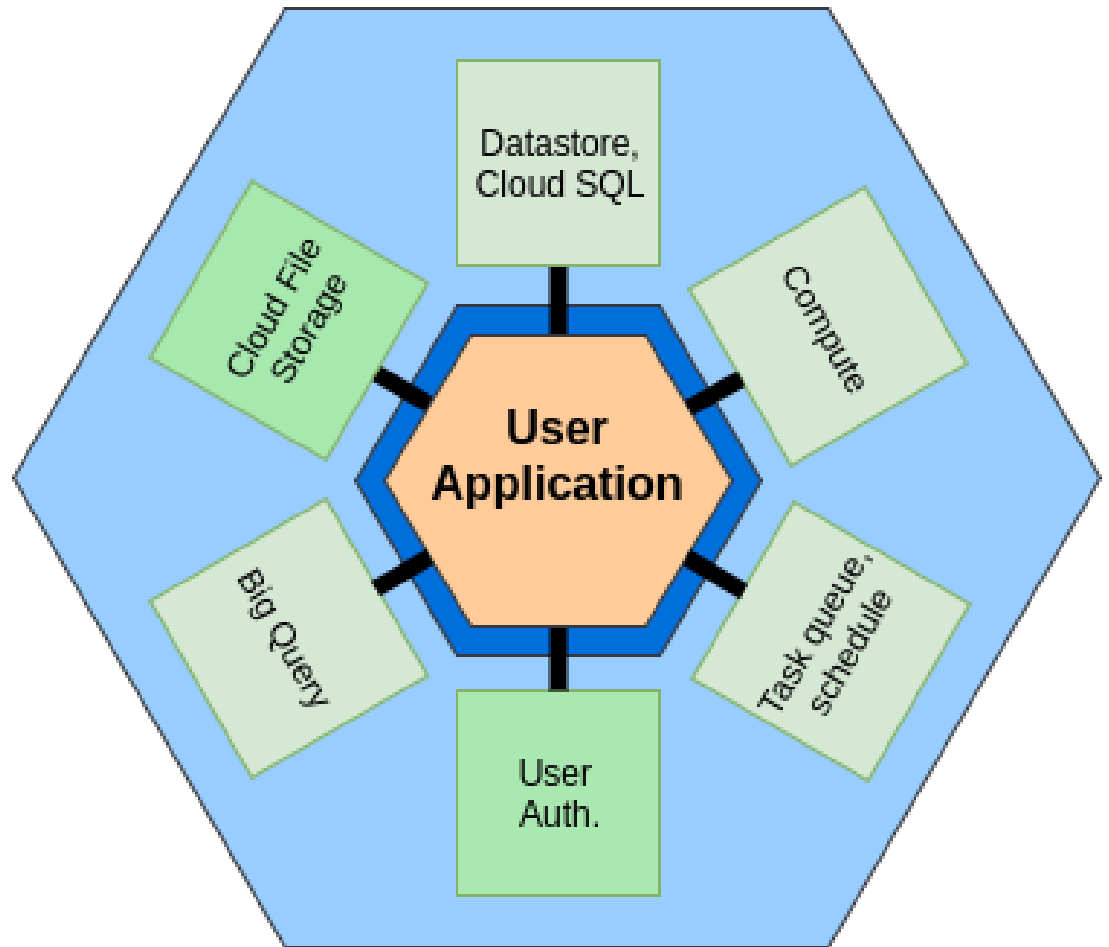
# Google App Engine

- PaaS veebirakenduste arendamiseks ja hostimiseks Google'i hallatavates andmekeskustes
- Rakendusi on lihtne ehitada, hooldada ja skaleerida
- Pole servereid, mida on vaja ise hooldada või seadistada
- Toetatud keeled: Python, Java, PHP, Go, ...
- **Integratsioon** kõigi teiste Google'i pilveteenuste ja API-dega
- Jagab kliendi-päringuid mitmete serveri vahel ja skaleerib servereid, et dünaamilist ressursside vajadust
- Rakendus töötab turvalises ja usaldusväärses konteineriseeritud keskkonnas

# Google App Engine keskkond



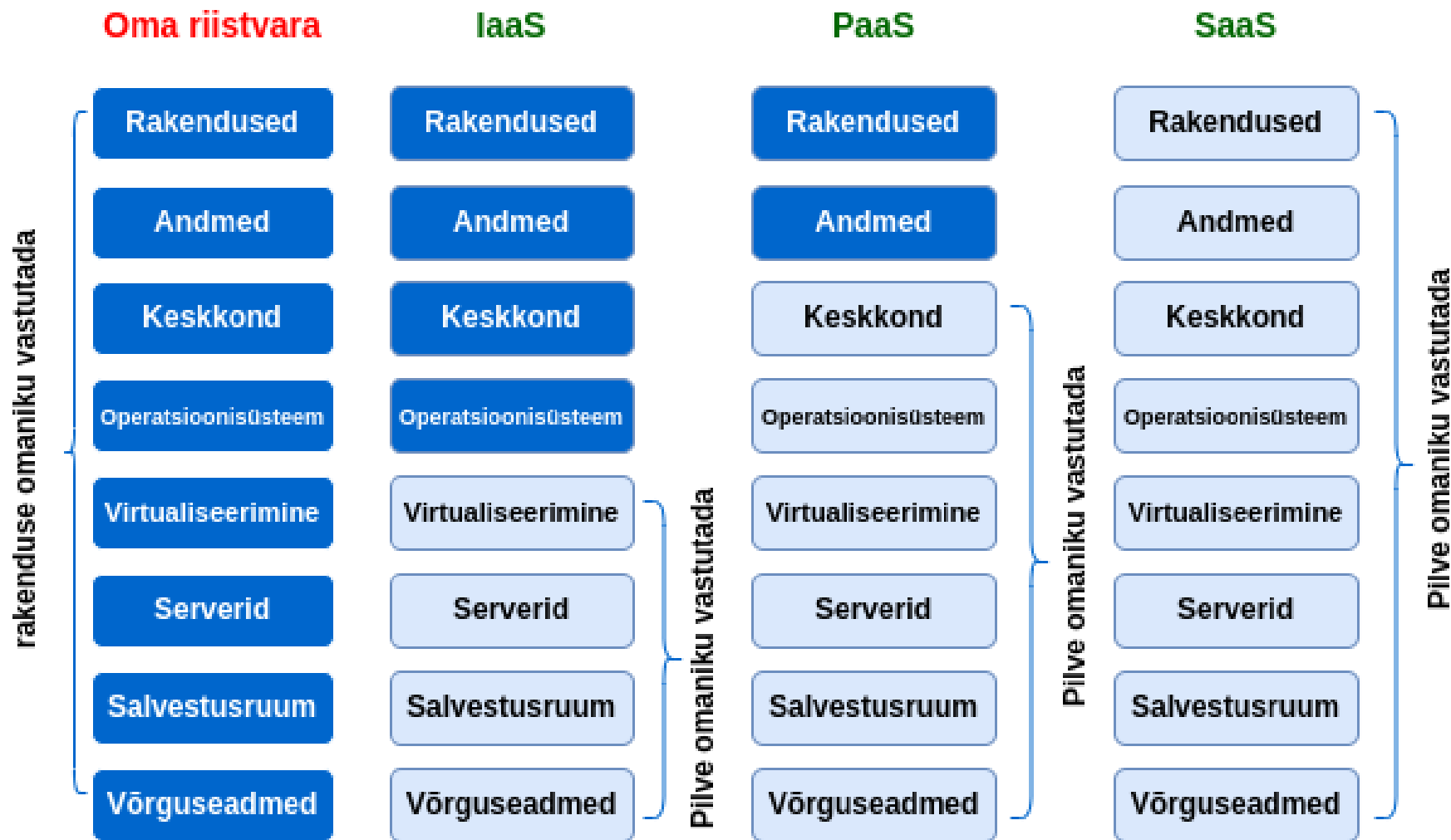
# Rakenduse integratsioon pilveteenustega



# PaaS Eelised

- Ei pea ise haldama madalatasemelisi ressursse ja teenuseid
- Paljud teenused on kasutamiseks valmis ilma üles-seadmise ja konfigureerimiseta
- Teenusepakkuja hoolitseb enamiku rakenduste mittefunktsionaalsetest nõuete tagamise eest
  - Teenuse kättesaadavus, tõrketaluvus, latentsus
- Platvorm hoolitseb skaleerimise eest automaatselt
- Lihtsustab prototüüpimist ja rakenduste/teenuste ülesseadmist
- Platvormi pakkujal on parimad teadmised oma riistvara peal üles seatud teenuste ja tarkvara optimeerimiseks

# Pilvemudelite rakendamise keerukus



# Pilveteenuste eelised

- Ressursside ja teenuste reaalajas ja nõudel ülesseadmine
- Ettemaks puudub ja tihti kasutusel tasuta kvoodid
- Vähem halduskoormust süsteemide seadistamisel
  - Kasutuslihtsus
- Paljud kohandatud teenused on koheselt kasutusvalmis
- Automaatne skaleeritavus – sageli teenuse pakkuja poolt hallatud
- Teenuseid saab seada üles üle kogu maailma, et neid kasutajatele lähemale viia

# Pilveteenuste puudused

- Piiratud kontroll alusressursside ja riistvara üle
- Kulusid võib olla raske ette hinnata
  - Kulude optimeerimine võib muutuda keeruliseks probleemiks
- Andmete konfidentsiaalsuse kaotamise oht
- Juurdepääsupoliitikate haldamine suure kasutajarühma jaoks muutub väga väikese granulaarsuse tõttu keeruliseks.
- Lukustatavus platvormi (Vendor lock-in)
- Mis juhtub, kui kellelgi õnnestus pääseda juurde asutuse pilvekontole?

# Kokkuvõte

- Pilveteenused on kujunenud kaasaegse majanduse selgrooks
- Lühendab tehnoloogiliste iduettevõtete alustamiseks vajaminevat aega
- Lihtsustab globaalsete rakenduste loomist ja skaleerimist
- Pilveteenuste tulek on võimaldanud luua spetsialiseeritud ja lihtsasti hallatavaid teenuseid väga erinevate vajaduste jaoks
  - Everything as a Service (XaaS)



# Selle nädala Praktikum

- Azure Pilveteenused
  - Azure staatilised veebilehed
  - Azure Virtuaalmasinad
    - Flask API üles seadmine Pilveserveris

# Järgmine loeng

- Konteinerite tehnoloogiad
- Virtuaaliseerimine vs Konteineriseerimine
- Mikroteenused