

# Cloud computing

TIE-23600 Palvelupohjaiset  
järjestelmät

## Vision of cloud computing

“As of now, computer networks are still in their infancy. But as they grow up and become more sophisticated, we will probably see the spread of ‘computer utilities’ which, like present electric and telephone utilities, will service individual homes and offices across the country.”

- Leonard Kleinrick, 1969

Tässä toinen lainaus, jossa kuvataan pilven idea:

“There was a time when every household, town, or village had its own water well. Today, shared public utilities give us access to clean water by simply turning on the tap. Cloud computing works a lot like our shared public utilities. However, instead of water coming from a tap, users access computing power from a pool of shared resources. Just like the tap in your kitchen, cloud computing services can be turned on or off as needed, and, when the tap isn’t on, not only can the water be used by someone else, but you aren’t paying for resources that you don’t use. Cloud computing is a new model for delivering computing resources – such as networks, servers, storage, or software applications.”

<http://www.whitehouse.gov/blog/2010/05/13/moving-cloud>

# Cloud computing

- Cloud computing providers offer seemingly infinite computing resources over the network
- Customers only pay for what they use
  - Similar to paying for water or electricity
- Resources are provided as services
  - The definition of service in cloud computing is broader than in SOA
  - Infrastructure as a Service, Platform as a Service, Software as a Service, ...

Pilvilaskennassa tarjotaan periaatteessa rajattomasti resursseja käytettäväksi verkossa. Pilvilaskennassa käsitettä ”palvelu” on tavallaan laajennettu käsittämään valmiiden ohjelmistopalvelujen (SW-palvelut) lisäksi myös infrastruktuuria (HW-palvelut), ohjelmistokehityksessä tarvittavaa palvelualustaa. Palvelut tarjotaan ”pilvessä”, jonka teknisiä yksityiskohtia palvelun käyttäjät eivät voi nähdä tai hallita. Pilvilaskenta kuvaa palveluiden tuottamisen, käyttämisen ja toimittamisen mallia, johon liittyy internetin yli palveluna tarjottuja dynaamisesti skaalautuvia ja virtuaalisia resursseja.

Pilvilaskennan periaatetta voidaan verrata vaikkapa veden tai sähkön tarjontaan: nämä palvelut ovat saatavilla kodeissa ja ko. palveluiden tarjoavat laskuttavat todellisen käytön mukaan.

# Defining cloud computing

- Stefan Tai, Karlsruhe Institute of Technology:
  - Cloud computing provides scalable, network-centric, abstracted IT infrastructure, platforms, and applications as on-demand services that are billed by consumption.
- Three important viewpoints
  - Business opportunities
    - Faster time-to-market and cost efficient innovation processes
    - Dynamically established open service and business networks
  - Internet scale service computing
    - Offering and using sophisticated platforms, infrastructure and business applications as modular (Web) services
  - Efficient management and utilization of systems
    - E.g. charging based on actual usage

Stefan Tai Karsruhen teknillisestä yliopistosta on yksi pilvilaskennan parhaista asiantuntijoista. Hän on määritellyt pilvilaskennan seuraavasti: ”se tarjoaa skaalautuvia ja verkkokeskeisiä ratkaisuja abstrahoidusta IT-infrastruktuurista, ohjelmistokehitysalustoista ja sovelluksista, joita voidaan käyttää tarpeen mukaan ja joista laskutetaan käytön mukaan.

Stefan Tai määrittelee edelleen kolme tärkeää näkökulmaa pilvilaskentaan:

## 1) Liiketoimintamahdollisuudet

Pilvilaskenta voit tarjota nopeamman pääsyn markkinoille ja mahdollistaa kustannustehokkaat innovaatioprosessit. Lisäksi verkostojen muodostaminen on dynaamista ja avointa.

## 2) Internet-skaalan palvelut

Tämä mahdollistetaan tarjoamalla ohjelmistokehitysalustoja, infrastruktuuri ja sovelluksia palveluina käytettäväksi verkon yli.

## 3) Järjestelmien tehokas käyttö ja hallinta

Tämä mahdollistetaan esim. ”maksu todellisen käytön mukaan” –laskutusperiaatteen noudattamisella.

## Defining cloud computing (cont.)

- Cloud service criteria
  1. The service is accessible via a Web browser or a Web interface
  2. Zero capital expenditure is necessary to get started
  3. You pay only for what you use

[CloudArchitectures]

## What's new and what's old?

- Cloud computing combines features of
  - SOA
  - Cluster computing
  - Grid computing
  - Utility computing
  - Web 2.0
  - Virtualization

Pilvilaskenta(kaan) ei kuitenkaan ole jotain täysin uutta. Se lainaakin esimerkiksi palvelun käsitteen SOA-konseptista laajentamalla sitä sopivasti. Lisäksi se lainaa ominaisuuksia muun muassa grid-laskennasta. Oleellista pilvilaskennassa on lisäksi virtualisointi.

Youseff, Butrico ja Da Silva (2008) ovat kuvanneet pilvilaskentaa eräänlaisena yhdistelmänä palvelukeskeistä arkkitehtuuria, hajautettua- ja hilalaskentaa (grid computing) sekä virtualisointia. Pilvilaskenta ei siis ole teknologisesti uutta tai mullistavaa vaan se on enemmänkin uusi konsepti, jossa on hyödynnetty olemassa olevia keksintöjä. Sen uutuusarvo siis piilee vanhojen tuttujen asioiden yhdistämisessä mielenkiintoisella tavalla.

Youseff L., Butrico M. & Da Silva D. 2008. Toward a Unified Ontology of Cloud Computing. In M. Pierce (eds.) Grid Computing Environments Workshop, GCE '08, 2008, IEEE, pages 1-10

# Cluster computing

- A cluster is a set of multiple interconnected computers
  - For example, a cluster can run a distributed service where the workload is divided among the computers in the cluster.
- The components of a cluster are commonly connected to each other through fast local area networks
- Reasons for clustering include
  - Performance
  - high availability
  - cost efficiency (compared to eg. supercomputers)

Klusteroinnissa joukko tietokoneita liitetään toisiinsa siten että ne muodostavat yhtenäisen kokonaisuuden. Useissa tapauksissa klusteroitavia koneita yhdistävä verkko on LAN.

Klustereita käytetään paljon laskentatehoa vaativissa tehtävissä. Klustereita voidaan käyttää supertietokoneen korvaajina: klusterit ovat yleensä halvempia ja helpommin laajennettavia.

# Grid computing

- Systems are run on multiple interconnected nodes
- The resources are pooled to form a computational grid
- Mostly utilized in complicated computational or data intensive tasks
- Cloud vs. grid computing
  - Grids and clouds are both intended to be utilised by multiple clients
  - Grids have typically multiple owners, while clouds and clusters are privately owned

Hilalaskennan eli grid-laskennan kehitys perustuu huomioon siitä, että verkon nopeus kasvaa prosessoreiden tehoa nopeammin. Tietokonekapasiteetin kasvua kuvaavan Mooren lain mukaan suorittimen transistorien määrä kaksinkertaistuu noin joka 18. kuukausi. Verkkojen kapasiteetti kasvaa vielä tätäkin nopeammin. Tällöin etäälläkin toisistaan olevat tietokoneet voidaan yhdistää yhdeksi ”hilaksi”.

Hilalaskentaa käytetään suurten, usein päiviäkin kestävien massiivista laskentaa edellyttäviin tehtäviin. Hilalaskenta tarvitsee riittävän nopean verkon, jotta datansiirtoon (laskennan tulosten lähettäminen ja vastaanotto) kuuluu merkittävästi vähemmän aikaa verrattuna laskentatyön keston. Käytännössä tämä ei kuitenkaan hankala vaatimus: vaikka datansiirtoon menisikin muutamia minutteja, on se vähän verrattuna itse laskennan keston, joka voi olla useita tunteja tai jopa päiviä.

Tietokoneiden tarjoamien resurssien hallinta ja käyttö poikkeaa kuitenkin resurssien käytöstä pilvilaskennassa, jossa käytössä olevien resurssien määrää hallinnoidaan aina tarpeen mukaan. Hilalaskennassa taas resurssien jakaminen on koordinoitu ja ennalta suunniteltu (kuinka paljon resursseja jaetaan käyttäjille) Lisäksi ”gridi” on usein usean osapuolen yhteisomistuksessa, kun taas pilvipalvelu on yhden tahon (esim. yritys) omistama. Kuitenkin verkkolaskennalla ja pilvilaskennalla on myös paljon yhteneväisyyksiäkin. Molemmissa esimerkiksi tarjottava palvelu on tarkoitettu usean asiakkaan käyttöön.

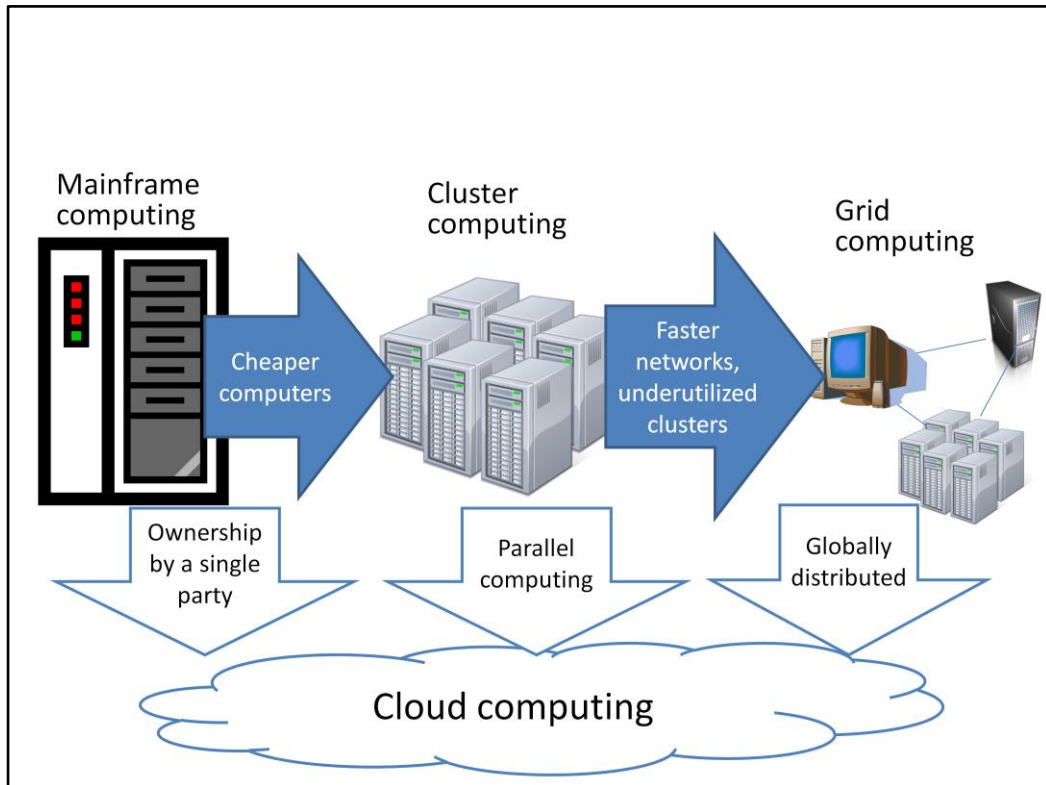
Gridiin kuuluvat *solmut* on tyypillisesti hajautettu globaalisti, kun taas klusteriin



kuuluvat tietokoneet ovat usein (mutta eivät aina) yhdessä fyysisessä tilassa ja ne on yhdistetty tehokkaan paikallisverkon avulla.

Lisäksi klusterit, kuten pilvipalvelutkin, ovat yleensä yksityisomisteisia ja ne on rakennettu jotain tiettyä tarkoitusta varten, vastoin kuin gridit. Viimeisenä huomiona voidaan todeta, että klusterit ovat usein huomattavasti pienempiä kokonaisuuksia verrattuna grideihin, ja joskus myös verrattuna pilveen.

Yksi esimerkki hilalaskennasta on Nordic Grid (NDGF), kts.  
<http://www.ndgf.org/ndgfweb/home.html>



Tässä kuvassa (erittäin kapeakatseinen) katsaus raskaan laskennan historiaan. Ensin oli suuria "mainframe"-tietokoneita, jotka suorittivat niille annettuja laskutehtäviä. Henkilökohtaisten tietokoneiden hinnan lasku teki mahdolliseksi koostaa niistä klustereita, mikä tuli usein halvemmaksi kuin vastaava yksi suurtietokone. Tietoverkkojen kehitys sekä se seikka että monet klusterit olivat usein alikäyttöllä johti hilalaskentaan, jossa klustereita ja muita tietokoneita yhdistetään verkko-yhteydellä muodostamaan yksi kokonaisuus.

Näistä aineksista sekä mm. virtualisointitekniikoiden kehityksen myötä luotiin edellytykset pilvilaskennalle.

Tarkasteltaessa klusteroinnin, hilalaskennan ja pilvilaskennan eroja voidaan havaita esimerkiksi, että gridiin kuuluvat *solmut* on tyypillisesti hajautettu globaalisti, kun taas klusteriin kuuluvat tietokoneet ovat usein (mutta eivät aina) yhdessä fyysisessä tilassa ja ne on yhdistetty tehokkaan paikallisverkon avulla.

Lisäksi klusterit, kuten pilvipalvelutkin, ovat yleensä yksityisomisteisia ja ne on rakennettu jotain tiettyä tarkoitusta varten, vastoin kuin gridit. Viimeisenä huomiona voidaan todeta, että klusterit ovat usein huomattavasti pienempiä kokonaisuuksia verrattuna grideihin, ja joskus myös verrattuna pilveen.

## Utility computing

- Computing resources are offered on a pay-per-use basis
- Pooling of resources in differs from that of grid computing
  - In grid computing, resource usage is planned in advance and resources are allocated to the users according to their needs.

## Web 2.0

- Web as an application platform
- Enables instant worldwide delivering of (web) applications
  - No installations
  - Automatic updates
- -> Software can be offered as a service

# Virtualization

- Allows separation of an operating system, and thus the management of resources in a computer, from hardware.
  - This is possible by allowing a host operating system, the system that runs on the hardware, to create a virtual environment that can run any machine code that the hardware supports.
  - In practice, a host operating system runs other operating systems as guests. The guest system is called a virtual machine (VM).
- Allows an easy and secure way to split the resources of a computer among users or software.

Virtualisointi on avaintema pilvilaskennassa. Se myös erottaa sen aiemmista teknologioista kuten hilalaskennasta. Hilalaskennassa hyödynnetään kyllä virtualisointia, mutta siinä ei tukeuduta siihen kuten pilvilaskennassa.

Douglas ja Gehrman (2010) määrittelevät virtualisoinnin järjestelmän abstrahointina, jossa virtualisointilogiikan kerros käsittelee ja tarjoaa ”virtualisoidut” resurssit sen yläpuolella toimivaan asiakaskerrokseen (client layer). Asiakas voi käyttää resursseja standardien rajapintojen kautta. Nämä rajapinnat eivät kuitenkaan kommunikoi suoraan resurssien kanssa, vaan virtualisointikerros käsittelee oikeita resurssia ja se voi myös joissain tapauksissa moninkertaistaa ne useamman asiakkaan kesken.

Pilvilaskennassa virtualisoinnin avulla voidaan erottaa laitteisto käyttöjärjestelmästä. Tämä mahdollistetaan siten, että laitteistoa käyttävä käyttöjärjestelmä luo virtuaaliympäristön, jossa voidaan ajaa mitä tahansa laitteiston tukemaa koodia. IaaS-tasolla virtualisointia hyödynnetään käytännössä siten, että pilvipalveluyritysten asiakkaat saavat valita käyttämilleen pilvipalvelimille haluamansa käyttöjärjestelmän. Tähän palataan vielä myöhemmin. Ajettavia ”vieraskäyttöjärjestelmiä” kutsutaan *virtuaalikoneiksi*. Tarkemmin sanottuna virtuaalikoneen monitori (virtual machine monitor, VMM) virtualisoi kaikki oikean koneen resurssit, mukaan lukien prosessorin, laitteet, muistin ja prosessit. Näin muodostuu virtuaalinen ympäristö eli virtuaalikone. Kaikkiin oikealla koneella oleviin resursseihin päästään käsiksi tietyn rajapinnan kautta. Virtuaalikoneen monitori

käsittelee oikeat resurssit ja tarjoaa ne virtuaalikoneille.

Virtualisoinnin avulla pilvilaskennassa joukosta fyysisiä palvelimia saadaan useita virtuaalisia palvelininstansseja, jotka näkyvät niiden vuokraajille kuten fyysiset palvelimet. Tällä tavalla fyysiset resurssit jaetaan useiden asiakkaiden kesken.

Douglas H. & Gehrmann C. 2010. Secure Virtualization and Multicore Platforms State-of-the-Art Report. Swedish Institute of Computer Science (SICS). Technical Report T2009:14A.

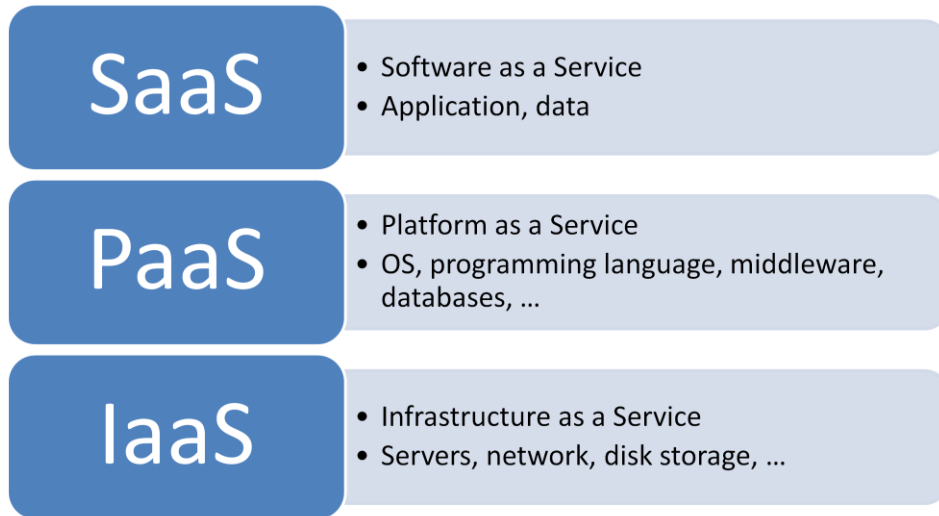
## Levels of cloud computing

Software as a Service (SaaS)

Platform as a Service (PaaS)

Infrastructure as a Service (IaaS)

# Levels of cloud computing



Yleinen käytäntö on jakaa pilvipalvelut kolmeen eri tasoon

## 1)IaaS-taso

Tämä alin taso tarjoaa tietyssä mielessä ”HW-tason”. Se tarjoaa infrastruktuurin, joka yleensä sisältää verkkoyhteydet, tallennustilan, palvelimet sekä niiden ylläpitopalvelun. Infrastruktuuri tarjotaan käytännössä virtuaalikoneinstanssina, jonka avulla voidaan ajaa omia sovelluksia ja palveluita. Infrastruktuurin kaksi päätehtävää ovat tallennustilan ja laskentatehon tarjoaminen asiakkaille.

## 2)PaaS-taso

PaaS-taso tarjoaa kehitysalustan, joka mahdollistaa ohjelmistokehityksen ja pilvimallin mukaisen teknisen kehityksen antamalla kehittäjille välineet ladata omia sovelluksiaan osaksi kokonaisuutta. Kehittäjien ei tarvitse huolehtia ohjelmiston skaalautuvuudesta tai lisääntyneestä tehotarpeesta käyttäjämäärien kasvaessa, koska alustaa on periaatteessa mahdollista laajentaa tarpeen mukaan joustavasti.

## 3) SaaS-taso

Tämän tason palvelut muistuttavat – ja usein ovatkin – hyvin lähellä SOA-palveluiden käsitettä, tosin laajennettuna pilvilaskennan liiketoimintamallilla. IaaS- ja PaaS-tasot on tarkoitettu ohjelmisto- /palvelukehittäjien käyttöön, kun taas SaaS-taso on usein tarkoitettu loppukäyttäjän käyttöön. Asiakkaat käyttävät SaaS-palveluja yleensä Internet-selaimella, joten palveluiden käyttöönotto on käyttäjille helppoa.



## Infrastructure as a Service (IaaS)

- Type of service in which an organization offers the equipment used to support operations,
  - *Servers*
  - *Storage*
  - *Networking*
  - ...
- IaaS provider owns the equipment and is responsible for housing, running and maintaining it

IaaS-palvelujen tarjoajat tarjoavat infrastruktuurin yleensä virtuaalikoneinstanssina, josta saadaan laskentatehoa ja jonka avulla voidaan ajaa omia sovelluksia ja palveluita. Muita IaaS-tason palveluita ovat esimerkiksi tietovarastopalvelu ja palvelut, joilla voidaan valvoa pilvessä olevien resurssien käyttöä. Palvelun tarjoaja on vastuussa näiden palvelujen ajamisesta ja ylläpidosta, mikä saattaa tietenkin olla myös ongelmallista ko. palvelujen käyttäjälle: käyttäjä on riippuvainen palvelun tarjoajasta eikä sillä ole kontrollia esim. ylläpidosta.

## IaaS: Some reasons why to use

- Scalability
  - Pay-as-you-go model, which allows you to scale up or down depending on your needs.
- Error Recovery
  - Your hardware and the data located on your IAAS provider and are housed in (hopefully) secure data centers that are mirrored and backed up.
- Time Back
  - With the infrastructure being hosted offsite, you can focus on value-added tasks such as planning and development
- Efficient payment model
  - Instead of possibly unnecessarily big investments, e.g. in terms of not utilizing efficiently the hardware invested in, you only pay based on the actual use

IaaS-palveluilla on useita väitettyjä etuja. Yksi näistä on skaalautuvuus; käyttäjä voi skaalata käyttöä tarpeen mukaan ja maksaa todellisen käytön mukaan. Virheistä toipuminen ja erilaiset sitä tukevat toimenpiteet riippuu vahvasti palvelun tarjoajasta. Nämä(kin) kannattaa huolellisesti selvittää ennen IaaS-palvelun tarjoajaan sitoutumista. Kolmantena tärkeänä etuna voidaan pitää sitä, että infrastruktuuriin satsaamisen (hankinta, ajaminen, ylläpito jne.) yritys voi keskittyä varsinaisten liiketoiminnan kannalta oleellisten ohjelmistoratkaisujen toteuttamiseen. Neljäntenä etuna mainitaan kustannusmallin tehokkuus, johon pureudumme seuraavaksi tarkemmin.

Myös seuraaviin lähteisiin kannattaa tutustua:

- <http://searchcloudcomputing.techtarget.com/definition/Infrastructure-as-a-Service-IaaS>
- <http://www.zhen.org/zen20/2008/06/03/defining-saaspaas-iaas-etc/>
- <http://technology.ezinemark.com/choosing-the-rightcloud-iaas-provider-16f5f664bc3.html>

## IaaS: Business model

- Charging based on the resources and services used
  - time,
  - bandwidth,
  - transactions,
  - storage
  - etc.
- Custom units and different measuring methods make the comparison of the provider prices hard

IaaS-palvelun tarjoajat voivat laskuttaa esimerkiksi resurssien käyttöajan, kaistan käytön, transaktioiden määrän ja/tai tietokannan käytön perusteella. Toisaalta joillakin palveluiden tarjoajilla on käytössä sekä edellä mainitun kaltainen Pay-as-you-go (“Pay only for the resources you deploy”) –malli että Pre-paid price –malli (esimerkiksi fiksattu kuukausitaksa).

Näiden palveluiden tarjoajien vertailu (hinnan suhteen) saattaa kuitenkin olla hankalaa, koska laskutustavat ja toisaalta myös tarjottavat palvelut poikkeavat toisistaan.

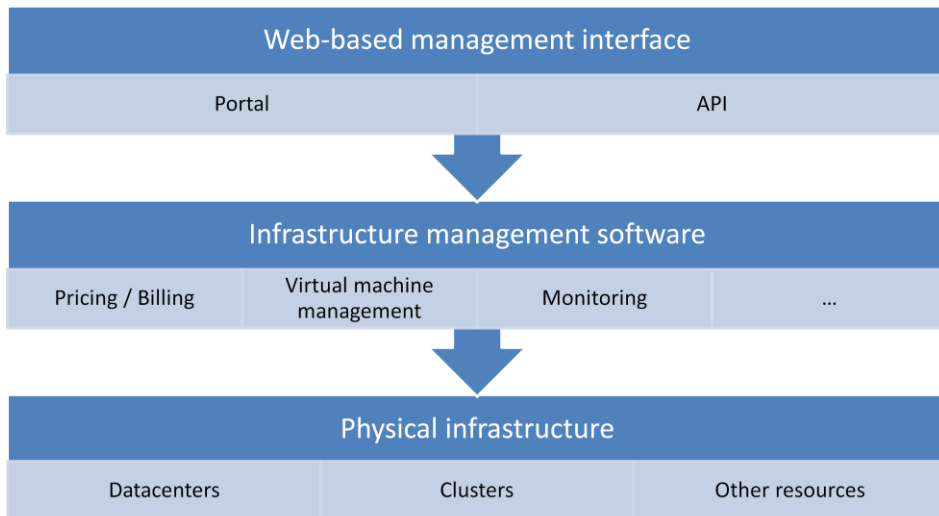
Eri IaaS-tarjoajien hintojen vertailu ei siis ole ihan yhtä helppoa kuin vaikka sähkön (€/kwh) tai veden (€/m<sup>3</sup>)...

Esimerkkejä:

<http://aws.amazon.com/ec2/pricing/>

<http://www.gogrid.com/pricing>

# IaaS reference implementation



Tässä esimerkinomainen kuva tyypillisestä IaaS-palvelun toteutuksesta. (Adaptoitu kirjasta Buyya et.al: Mastering Cloud Computing)

Ensinnäkin täytyy olla fyysinen infrastruktuuri eli datakeskuksia, klustereita ja muuta laitteistoa.

Laitteiston lisäksi IaaS-palvelun toteutuksessa tarvitaan erilaisia ohjelmistoja, jotka mm. hallinnoivat laitteiston päällä ajettavia virtuaalikoneita, pitävät kirjaa resurssien käytöstä asiakkaiden laskutusta varten ja muutenkin valvovat laitteiston toimintaa.

IaaS-palveluilla täytyy lisäksi olla liittymä, jonka kautta asiakas voi ostaa ja hallinnoida resursseja. Useimmiten tarjotaan sekä web-pohjainen käyttöliittymä ("portaali") sekä ohjelmallinen rajapinta (esim. SOAP tai REST), jonka kautta voi esim. käynnistää/sammuttaa virtuaalikoneita.

# How to choose an IaaS provider

- Financial stability
  - Obtain records that can prove the financial stability of the cloud vendor
- Make sure that the security policies and measures that the cloud vendor has established correspond with your security requirements
- Find out who is allowed access to your data
- The IaaS vendor should allow you to assess the quality of the back end systems
- Find out if cloud provider's data center infrastructure is highly ranked (Tier 2 or Tier 3 standards)

<http://www.bizcloudnetwork.com/choosing-the-right-cloud-iaas-provider/>

Tällä ja seuraavalla kalvolla esitetyt näkökulmat ovat seuraavasta lähteestä:  
<http://www.bizcloudnetwork.com/choosing-the-right-cloud-iaas-provider/>

IaaS-palveluiden tarjoajaa valittaessa kannattaa tarkastella useita palveluiden laatuun ja palvelun tarjoajan luotettavuuteen (kuten talouden vakaus ja ranking) liittyviä seikkoja. Kannattaa mm. tarkistaa että ja palvelun tarjoajan tietoturvakäytännöt ovat riittävät yrityksen tietoturvavaatimusten kannalta, esim. keillä on oikeus käsitellä tai lukea palvelun tarjoajan tietokantaan yrityksen tallettamia tietoja ja millainen backup-järjestelmä on käytössä tietojen säilyttämiselle.

Data center tiers: [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_center#Data\\_center\\_tiers](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_center#Data_center_tiers)

## How to choose an IaaS provider

- Ensure that the infrastructure can be configured to meet the changing needs.
- Cloud vendor should provide high Service Level Agreement (SLA) guarantees for their services.
- Learn about the cloud provider's key risks and performance indicators.
- Learn if you can easily switch to another provider if the need arises.
- Check the quality of customer service and support.

Lisäksi kannattaa tarkistaa kuinka konfiguroitava tarjottava infrastruktuuri on. Tämä on tärkeää esimerkiksi tulevaisuudessa mahdollisesti – ja usein jopa todennäköisesti – muuttuvat vaatimukset ja tarpeet. Tämän vuoksi on tärkeää myös tarkastella kuinka helppoa palvelun tarjoajan vaihtaminen tarvittaessa olisi.

Joskus on myös tärkeää, että palvelun tarjoaja pystyy antamaan korkean tason SLA-vakuudet. Myös tarkastelemalla (mikäli mahdollista) muiden palvelun käyttäjien kokemuksia palvelun tarjoajasta ja tarjotusta infrastruktuurista on usein hyödyllistä, kuten myös tutustuminen palvelun tarjoajan riskeihin ja tehokkuusindikaattoreihin. Luonnollisesti myös asiakastukeen ja sen laatuun tutustuminen on tarpeellista.

# Platform as a Service (PaaS)

- Adds a layer of abstraction over the actual infrastructure
- A PaaS platform at least provides the hosting infrastructure, development tools and deployment tools.
- Sandboxed, more locked-in access to interfaces and resources...
- ...but also more tasks handled by provider
  - E.g. load-balancing
- Payment based on
  - Outgoing bandwidth
  - Incoming bandwidth
  - CPU time
  - Data storage space used (per time unit, e.g. month)
  - Recipients emailed
  - ...

PaaS-palvelut muodostavat seuraavan abstraktiotason, joka hyödyntää alla olevaa IaaS-tasoa. PaaS tarjoaa ajoympäristön ohjelmakoodille. Toisin sanoen pelkästään ohjelmakoodi lähetetään palvelun tarjoajalle, jonka toimesta se käynnistetään ja ajetaan. PaaS-palvelun tarjoaja tarjoaa ajoympäristön ja sitä kautta myös laskentatehoa. Palvelu tarjotaankin yleensä pakettina, joka sisältää ohjelmistokoodin tai jonkin käännetyn version ohjelmistokoodista. Ohjelmistopakettien kooditiedostot ohjelmoidaan PaaS-palvelun tarjoajan tarjoamalla ohjelmointiympäristöllä. Esimerkiksi Bungee Connect tukee seuraavia ohjelmointikieliä: Java, C++, C#, Objective-C, Ruby-on-Rails. Lisäksi se tukee MySQL- ja PostgreSQL-tietokantoja. Googlen App Engine puolestaan tukee Javaa (Servlets, JSP) ja Pythonia.

Useimmat PaaS-palvelujen tarjoajat tarjoavat lisäksi palveluita tiedon tallentamiseksi (tietokanta), yhteyden ottamiseksi muihin palveluihin, asiakkaiden laskuttamiseksi ja käyttäjän tunnistuksen hoitamiseksi. Nämä palvelut luonnollisesti helpottavat ko. palvelujen käyttäjän tehtäviä, koska niistä ei tarvitse itse huolehtia. Toisaalta käyttäjällä ei tällöin myöskään ole omaa kontrollia niihin.

Laskutus PaaS-palvelujen käytöstä perustuu usein esim. kaistan käyttöön, CPU-ajan käyttöön ja tietovaraston käyttöön. Osittain siis maksatusperusteet ovat yhtenäisiä IaaS-palveluiden maksatusperiaatteiden kanssa.



## Platform as a Service (PaaS)

- Services build on the platform promoted in the PaaS providers store (e.g. Google Apps Marketplace)
  - -> PaaS revenue from both providing resources and helping to bill/sell services
- PaaS customers can be also sources of innovation and targets for acquirement
  - it is easy to integrate services, which already utilize the same platform

Joissain tapauksissa PaaS-palvelun tarjoaja voi tarjota myös varaston ja markkinapaikan tarjotun alustan päälle tehdyille SaaS-palveluille (vrt. palvelurekisterien rooli SOA-konseptissa). Tällainen on esimerkiksi Google Apps Marketplace. Tällöin PaaS-palvelun tarjoaja voi hyötyä paitsi itse PaaS-palveluiden käytöstä myös näiden varastoitujen SaaS-palveluiden myymisestä ja laskutuksesta.

Esimerkiksi PaaS-palvelun tarjoajaa valittaessa on syytä kiinnittää huomiota siihen, että samalle alustalle toteutettuja palveluita on potentiaalisesti suhteellisen helppoa integroida keskenään.

## PaaS may provide support for...

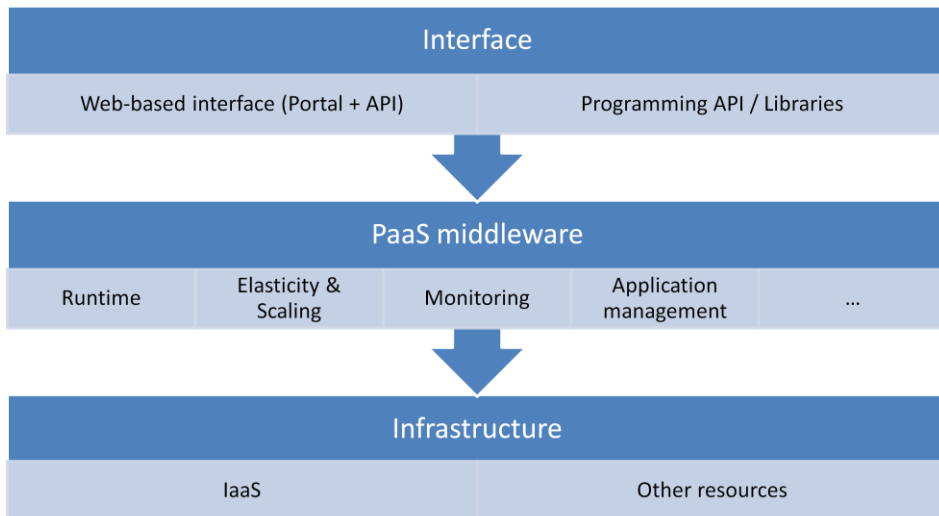
- Application design
- Application development
- Testing
- Deployment
- Hosting
- Team collaboration
- Web service integration
- Database integration
- Security
- Scalability
- Storage
- Persistence
- State management
- Application versioning
- Application instrumentation
- ...

Kalvolla on esitetty lista mahdollisista palveluista, joita PaaS-palvelun tarjoaja saattaa tarjota. Tämä lista ei tietenkään ole täydellinen ja lista saattaa vaihdella huomattavastikin palvelun tarjoajasta toiseen. Palvelun tarjoajaa valittaessa kannattaakin siis tutustua huolella eri kandidaatteihin. Kuten IaaS-palvelun tarjoajaa valittaessa, myös tässä tapauksessa kannattaa kiinnittää huomiota sekä palveluiden että niiden tarjoajan laatuun ja luotettavuuteen.

<https://developers.google.com/appengine/pricing>

<http://azure.microsoft.com/en-us/pricing/calculator/>

# PaaS reference implementation



Tässä esimerkinomainen kuva tyypillisestä PaaS-palvelun toteutuksesta. (Adaptoitu kirjasta Buyya et.al: Mastering Cloud Computing)

PaaS tarjoaa työkaluja paitsi sovellusten hallintaan myös niiden kehittämiseen erilaisten ohjelmointirajapintojen ja –kirjastojen muodossa.

PaaS-middleware (keskimmäinen kerros kuvassa) sisältää ajoympäristön asiakkaan tekemille sovelluksille. Lisäksi siinä on tarvittavat skaalaustyökalut, joilla varmistetaan että asiakkaiden sovelluksille on riittävästi resursseja saatavilla.

PaaS-ympäristö on usein ajossa jonkun IaaS-ympäristön päällä. PaaS-middleware voi esimerkiksi luoda ja tuhota virtuaalikoneita IaaS-ympäristön tarjoamien rajapintojen kautta.

## Why use PaaS

- Jump start development: No headache of setting up hardware or software environment, development skills are still however needed
- No maintenance cost: Host company maintains the hardware and development environment
- Lower risk factor: If your project fails, just free the reserved resources and pay the usage bill.

PaaS-palvelun käytön yksi ilmeinen etu – kuten on myös IaaS-palvelun käytön tapauksessa – on se, että yrityksessä voidaan keskittyä liiketoiminnan kannalta oleellisiin asioihin kehitysympäristöön satsaamisen sijaan. Tämä ei tietenkään kuitenkaan tarkoita sitä, että ohjelmistokehitystä ja siinä tarvittavaa asiantuntijuutta ei lainkaan tarvittaisi.

Toisena etuna mainitaan säästöt ylläpitokustannuksissa. Tämä on etuna jokseenkin kiistanalainen etu, koska tällöin riippuvuus palvelun tarjoajasta kasvaa. PaaS-palvelun tarjoajaa valittaessa kannattaakin tarkistaa kuinka konfiguroitavia ja luotettavia tarjotut palvelut ovat, mitä vaihtoehtoja palvelun tarjoaja tarjoaa ja miten helppoa palvelun tarjoajan vaihtaminen tarvittaessa on.

Myös viimeisenä mainittu etu, matala riski, on kiistanalainen. Luonnollisesti kuitenkin projektin epäonnistuessa pilvipalveluratkaisu tulee halvemmaksi kuin vaihtoehto, jossa on satsattu kehitysympäristön hankintaan.

# PaaS vs IaaS

## IaaS

- More control
- Easier to switch provider
- Customer is responsible for scalability & load balancing

## PaaS

- Easier to get started
- Tied to the specific PaaS provider
- Scalability & load balancing mostly handled by the provider

# Software as a Service (SaaS)

- The utilisers of IaaS and PaaS
- Provides
  - a web user interface for users, and/or
  - an API for other applications
    - Cf. SOA Services
- A one-to-many model
- As many business models as there are companies
  - Pricing model depends on the service: subscriptions, pay-per-use, pay-per-seat, freemium model etc.
- Customer charges must cover the risks of service disruption and possible service level agreement (SLA) compensations.

SaaS-tason palvelut muistuttavat jokseenkin SOA-konseptissa käytettävää palvelun käsitettä. Pilvilaskennassa kuitenkin palveluihin liitetään oleellisena osana liiketoimintamalli, jonka mukaan käyttäjät maksavat vain todellisen käytön perusteella. Toki samaa periaatetta voidaan käyttää myös SOAn yhteydessä, mutta laskutusperiaate ei ole varsinaisesti osa SOAa.

Kun matalamman tason IaaS- ja PaaS-palvelut on tarkoitettu ohjelmisto-/palvelukehittäjien käyttöön, on SaaS-palvelut usein tarkoitettu loppukäyttäjän käyttöön. Asiakkaat käyttävät SaaS-palveluja yleensä Internet-selaimella, jolloin käyttöönotto on helppoa. Lisäksi SaaS-palvelut voivat tarjota ohjelmallisen rajapinnan, esim SOAP tai REST.

SaaS-palvelut – vastoin kuin SOA-palvelut joissain tapauksissa – eivät ole tarkoitettu osaksi jotain yhtä isompaa järjestelmää, vaan ne on tarkoitettu tyypillisesti rajattomille käyttäjämäärille (one-to-many –malli). Tässä piileekin yksi SOAn ja pilvilaskennan välisistä suurimmista eroista; SOAa käytetään usein yrityksessä sisäisesti (esimerkiksi siirtyminen parempaan ja joustavampaan arkkitehtuuriin) tai joidenkin integrointitarpeiden vuoksi.

Laskutusmallit vaihtelevat huomattavasti palvelusta ja sen tarjoajasta riippuen, mutta ne on kuitenkin tyypillisesti määritelty noudattamaan ”maksu todellisen käytön mukaan” –periaatetta. Palvelun tarjoaja usein kuitenkin määrittelee laskutusperiaatteen sellaiseksi, että se kattaa esim. (osan) ylläpitokustannuksista,

palvelun käytön ongelmatilanteiden riskit ja mahdolliset SLA-sopimukseen liittyvät kompensatiot.

## SaaS: Maturity levels

- Level 1 – Ad-hoc/custom
- Level 2 – Configurable
- Level 3 – Configurable, multi-tenant-efficient
- Level 4 – Scalable, configurable, multi-tenant-efficient

Alunperin Microsoftin määrittelemät kypsyystasot SaaS-palveuille korostavat ennen kaikkea konfiguroitavuutta, tehokkuutta ja skaalautuvuutta:

Taso 1 - Ad-Hoc/kustomoitu palvelu: Tällä alimmalla tasolla jokaisella asiakkaalla on oma kustomoitu versio palvelusta, jota ajetaan palvelun tarjoajan palvelimilla.

Taso 2 - Konfiguroitava: Tämä toinen kypsyystaso tarjoaa enemmän joustavuutta hyödyntämällä konfiguroitavaa metadataa siten, että asiakkaat voivat käyttää eri instansseja samasta sovelluskoodista. Tällöin palvelun tarjoaja voi huomioida eri asiakkaiden tarpeita konfiguroitavuuden rajoissa, mutta ylläpidossa se voi kuitenkin keskittyä samaan (konfiguroitavaan) palveluun.

Taso 3 - Konfiguroitava, sama instanssi kaikille asiakkaille: Tämä kolmas taso pohjaa tasoon 2, mutta tällä tasolla tarjotaan lisäksi sama instanssi kaikille asiakkaille. Tämä mahdollistaa tehokkaan palvelimen resurssien käytön, ilman että se varsinaisesti näkyy asiakkaille. Toisaalta tämä ratkaisu on rajoittunut skaalautuvuuden suhteen.

Taso 4 - Skaalautuva, konfiguroitava, sama instanssi kaikille asiakkaille: Tällä korkeimmalla kypsyystasolla skaalautuvuus on myös huomioitu. Tuki skaalautuvuudelle on lisätty mahdollistamalla identtisten instanssien ajamisen useammalla palvelimella. Kapasiteettia voidaan nostaa tai laskea tarpeen mukaan lisäämällä tai vähentämällä käytössä olevien palvelimien määrää, muuttamatta kuitenkaan mitenkään sovellusarkkitehtuuria.



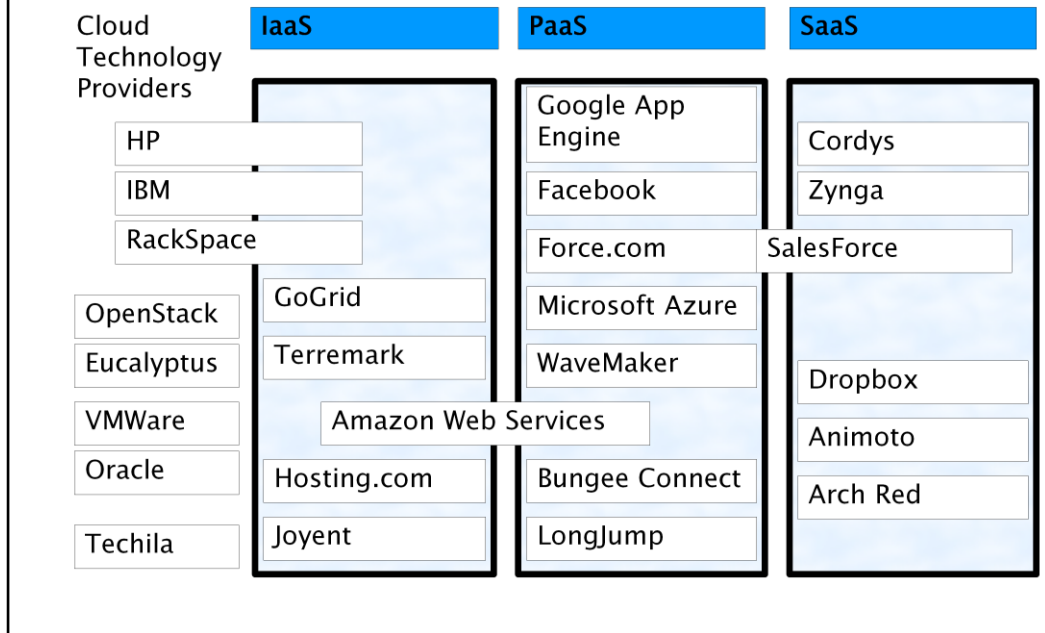
## When to use SaaS

- A company should use SaaS to outsource all applications, features, and services that are not core competency
  - HR, payroll, accounting, ...

## IaaS/PaaS/SaaS summary

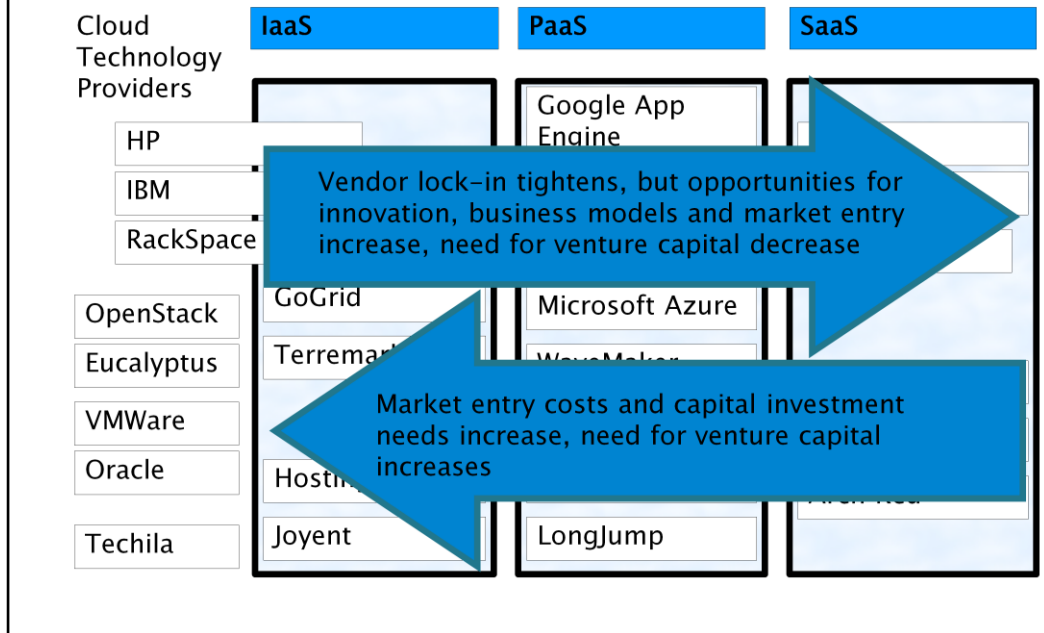
|                  | IaaS  | PaaS                                 | SaaS                                   |
|------------------|---|--------------------------------------|--|
| Provided service | Computing resources   | Platform for running applications    | Software                               |
| Customer         | Software developer, System administrator                    | Software developer                   | End-user                               |
| Payment model    | Instance running time, CPU time, Network, Data storage, ... | CPU time, Network, Data Storage, ... | Subscription fee, other per-use models |

# Positioning some players



Kalvolla on esitetty muutamia esimerkkejä tarjolla olevasta työkalu- ja palvelutuesta sijoitettuna IAAS-, PAAS- ja SAAS-kerroksille . Kalvolla on luonnollisesti vain muutamia esimerkkejä. Uusia palveluita tarjotaan kiihtyvällä tahdilla. Kannattaa tutustua esimerkkeihin vierailemalla näiden ”pelureiden” verkkosivuilla. Lisäksi mm. seuraavat sivustot tarjoavat kokoelmia ja katalogeja tarjolla olevista palveluista:

## Positioning some players



Kalvolla on esitetty muutamia esimerkkejä tarjolla olevasta työkalu- ja palvelutuesta sijoitettuna IAAS-, PAAS- ja SAAS-kerroksille. Kalvolla on luonnollisesti vain muutamia esimerkkejä. Uusia palveluita tarjotaan kiihtyvällä tahdilla. Kannattaa tutustua esimerkkeihin vierailemalla näiden ”pelureiden” verkkosivuilla. Lisäksi mm. seuraavat sivustot tarjoavat kokoelmia ja katalogeja tarjolla olevista palveluista:

# Cloud computing characteristics

- According to NIST (National Institute of Standards and Technology), the key characteristics of cloud computing are:
  - On-demand self-service
    - instant access to services, i.e. cloud computing is ready on-demand
  - Broad network access
    - Cloud computing requires broad network access and services are location (and device) independent
    - Computing power is available to all kinds of (remote) clients through networking
  - Resource pooling
    - resources are shared among multiple users
    - resource allocation is done by self services accessible to the end users; users can choose an amount of resources or a service level on which they operate.

NIST (National Institute of Standards and Technology) on määritellyt joukon pilvilaskennan ominaisuuksia (joista osa on jo käsitelty), jotka omalla tavallaan määrittelevät ymmärrettävästi mistä pilvilaskennassa on oleellisesti kyse.

Ensimmäisenä ominaisuutena mainitaan saatavuus, ts. palvelut ovat helposti ja nopeasti käytettävissä (Internetin välityksellä) tarvittaessa. Näin on ainakin ideaalitapauksissa. Seuraavana ominaisuus liittyy myös saatavuuteen. Pilvilaskennassa palveluja käytetään verkon välityksellä, mikä asettaa luonnollisesti vaatimuksia verkkoyhteyksien suhteen. Oleellista on myös se, että palvelut ovat lokaatio- ja periaatteessa myös laiteriippumattomia. Kolmantena ominaisuutena mainitaan resurssien hallinta: resurssit jaetaan käyttäjien kesken kulloisenkin tarpeen mukaan.

## Cloud computing characteristics (cont.)

- Rapid elasticity
  - Requires good scalability
  - The amount of resources a user consumes can be changed rapidly
  - Depending on the cloud architecture, the user can either reserve an amount of resources to be consumed or just consume the resources
- Measured service
  - Measured services is a key element that allows a user to be charged according to the consumption
- Cloud computing offers instantaneous, location independent, high quality, computing power to users and charges according to consumption.

Neljäntenä ominaisuutena mainitaan joustavuus. Tähän liittyy esimerkiksi se, että palvelujen ja niiden käyttämien resurssien tulisi olla skaalautuvia. Käytettävien resurssien määrää tulisi voida skaalata ylös- ja alaspäin aina kulloisenkin tarpeen perusteella. Tämä mahdollistaa myös sen, että resurssien käytöstä voidaan laskuttaa todellisen käytön mukaan. Joissain tapauksissa käyttäjällä on myös mahdollisuus varata resursseja.

## Other claimed characteristics

- Reliability
  - improved if multiple redundant sites are used, which makes well designed cloud computing suitable for business continuity and disaster recovery <sup>[1]</sup> Nonetheless, many major cloud computing services have suffered outages, and IT and business managers can at times do little when they are affected.<sup>[2,3]</sup>

[1] King, Rachael. "Cloud Computing: Small Companies Take Flight". Businessweek.com. 2008

[2] "Google Apps Admins Jittery About Gmail, Hopeful About Future". Pcworld.com. 2008.

[3] "New Resource, Born of a Cloud Feud". Datacenterknowledge.com. 2009.

Myös luotettavuutta pidetään yhtenä pilvilaskennan etuna. Tämä perustuu siihen, että palvelujen ja resurssien käytön ajatellaan olevan skaalautuvia ja toisaalta oletukseen siitä, että palvelut ovat tarpeen vaatiessa mahdollista korvata toisilla palveluilla. Tämä on kuitenkin melko idealistinen ja ehkä osin utopistinenkin oletus, samaan tapaan kuin palveluiden korvattavuus toisilla palveluilla dynaamisesti ajonaikana on SOA-konseptissa. Lisäksi pilvipalvelut ja niiden tarjoajat kärsivät erilaisista palveluihin, resursseihin ja verkkoyhteyksiin liittyvistä ongelmista, ja ongelmien sattua virheistä toipuminen niin nopeasti, että se ei vaikuta palveluiden käyttäjiin, on hankalaa ja harvinaistakin.

## Other claimed characteristics

- Security
  - Could improve due to centralization of data, increased security-focused resources, etc., but concerns can persist about loss of control over certain sensitive data, and the lack of security for stored kernels.<sup>[4]</sup>
- Maintenance
  - Cloud computing applications are easier to maintain, since they do not have to be installed on each user's computer. They are easier to support and to improve since the changes reach the clients instantly.
    - That does not guarantee improved maintenance, though

[4] "Encrypted Storage and Key Management for the cloud".  
Cryptoclarity.com. 2009.

Myös turvallisuutta pidetään (ainakin joidenkin lähteiden mukaan) yhtenä pilvilaskennan ominaisuutena. Perusteluina tälle on esitetty mm. datan varastoinnin ja muidenkin käytettävien resurssien keskittämistä. Tämä ei kuitenkaan takaa turvallisuutta. Erityisen ongelmallisena palveluiden käyttäjien kannalta on se, että kontrolli resurssien ja tietovaraston hallinnasta siirtyy palvelun tarjoajalle. Lisäksi turvallisuusriskejä liittyy esimerkiksi tiedonsiirtoon.

Ylläpidon paraneminen on niin ikään kiistanalainen etu: se, että se on osin toisen osapuolen (palvelun tarjoaja) vastuulla, ei lainkaan välttämättä tarkoita sitä, että se olisi paremmin hallittu. Ylläpitoa voidaan kuitenkin ajatella parantavan tai ainakin helpottavan (globaalisti ajatellen) edelläkin mainittu pyrkimys keskittämiseen: tällöin myös ylläpitotoimenpiteet voidaan keskittää.



# Types of clouds

- Public clouds
  - Open to the wider public (for a cost)
- Private clouds
  - Implemented within an institution
  - All the infrastructure owned by the institution
- Hybrid clouds
  - Combines public and private clouds
  - For example, sensitive data in a private cloud while utilizing external computing resources on a public cloud

Pilviympäristöt voidaan jakaa julkisiin (public cloud) ja yksityisiin (private cloud) sekä näiden välimuotoon (hybrid cloud).

Julkisessa pilvessä infrastruktuuri on tietyn tarjoajan omistama ja ylläpitämä, mutta sen käyttäjät voivat olla keitä hyvänsä.

Joissain tilanteissa julkisen pilven käyttäminen ei ole mahdollista tai kannattavaa. Tällaisia tilanteita voivat olla vaikka lain rajoitukset henkilötietojen säilyttämisessä, muut tietoturvaan liittyvät asiat, tehokkuusnäkökohdat tai se, että halutunlaista palvelua ei ole saatavilla. Jos näissäkin tilanteissa halutaan kuitenkin saada pilvilaskennan hyötyjä kuten mahdollistaa resurssien tehokas käyttö, voidaan toteuttaa yksityinen pilviympäristö. Yksityisessä pilviympäristössä pääsy on rajattu tietylle joukolle, esimerkiksi yrityksen työntekijöille.

Myös TTY:n tietotekniikan laitoksella on tutkimuskäyttöön tarkoitettu yksityinen pilviympäristö, joka on toteutettu OpenStack-alustalla.

Joissain tilanteissa voidaan hyödyntää sekä julkista että yksityistä pilviympäristöä, jolloin puhutaan ”hybridipilviympäristöistä”.

## Moving to the cloud? Options for IT infrastructure..

|                                 | <b>Internal</b> | <b>Managed services</b> | <b>The Cloud</b> |
|---------------------------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| <b>Capital investment</b>       | Significant     | Moderate                | Negligible       |
| <b>Ongoing costs</b>            | Moderate        | Significant             | Based on usage   |
| <b>Provisioning time</b>        | Significant     | Moderate                | None             |
| <b>Flexibility</b>              | Limited         | Moderate                | Flexible         |
| <b>Staff expertise required</b> | Significant     | Limited                 | Moderate         |
| <b>Reliability</b>              | Varies          | High                    | Moderate to high |

[CloudArchitectures]

Oheisessa kalvossa on vertailtu kolmea eri vaihtoehtoista tapaa hankkia ja hallinnoida tarvittavaa infrastruktuuria. Internal viittaa siis itse hankittuun ja hallinnoituun infraan. Managed services kuvaa vuorattuja infrapalveluita ja The cloud pilvipalveluita. Taulukossa on vertailtu eri vaihtoehtojen hankintakustannuksia, ylläpito- ja hallintakustannuksia, uusien komponenttien lisäämisen helppoutta (provisioning time), muunneltavuutta resurssitarpeiden mukaan, henkilökunnalta vaadittavaa asiantuntemusta ja luotettavuutta.

Miten vuokrattu/alihankittu infra eroaa pilvipalveluna hankitusta infrasta?

# References

- [CloudArchitectures]
  - Cloud Application Architectures: Building Applications and Infrastructure in the Cloud, George Reese, O'Reilly Media, 2009.
- [CloudBestPractices]
  - Architecting for the Cloud: Best Practices:  
[http://media.amazonwebservices.com/AWS\\_Cloud\\_Best\\_Practices.pdf](http://media.amazonwebservices.com/AWS_Cloud_Best_Practices.pdf)
- [Huhtanen2010]
  - Karri Huhtanen: Cloud computing Business models;, 2010 <http://www.cs.tut.fi/~tsysta/cloud-computing-business-models.pdf>