

**VAASAN YLIOPISTO
TEKNILLINEN TIEDEKUNTA
TIETOTEKNIIKAN LAITOS**

Mikael Klockars

TIETOTEKNIIKAN KEHITTÄMINEN

Tietotekniikan
pro gradu – tutkielma

Tietotekniikan pääaine

VAASA 2010

ALKULAUSE

Tietotekniikan kehittyminen on ollut minua kiinnostava aihe. Olen itse nähnyt lähinnä ohjelmistoalan kehitystä työurallani 2000 - luvulla ja sen nopea kehitys on inspiroinut minua tämän aiheen valintaan. On ollut erittäin mielenkiintoista tutkia koko tietotekniikan historiaa ja tutustua mahdollisiin tulevaisuuden tekniikoihin.

Ensisijaisesti haluan kiittää ohjaajaani Anja Joursantaa, Tietotekniikan laitokselta, joka on opastanut tämän työn tekemistä matkan varrella. Haluan kiittää myös perhettäni, vaimoani Minnaa, joka on avustanut kirjoitusvirheiden kanssa sekä poikaani Niklasta, joka on ainakin melko useasti antanut isälle kirjoitusrauhan.

Ilmajoella, 04. marraskuuta 2010

Mikael Klockars

SISÄLLYSLUETTELO	sivu
ALKULAUSE	2
TIIVISTELMÄ	10
ABSTRACT	11
1. JOHDANTO	12
1.1. Taustaa	12
1.2. Tutkielman tavoitteet, rajaukset ja käytettävät menetelmät	13
1.3. Tutkielman rakenne	13
2. TIETOTEKNIIKAN ESIHISTORIA	15
2.1. Koneellinen laskenta	15
2.2. Reikäkorttikoneet	18
2.3. Analyyttinen kone	19
2.4. Tietokoneita edeltävä aika	20
3. SUURTEN TIETOKONEIDEN AIKAKAUSI	22
3.1. ENIAC:in kehitys	22
3.2. Suurten tietokoneiden kehitys	23
3.3. Ohjelmistoala suurten tietokoneiden aikakautena	25

3.4.	Suurten tietokoneiden kehityspisteet	28
4.	MIKROTIIETOKONEIDEN AIKAKAUSI	30
4.1.	Mikroprosessorien kehitys	30
4.2.	Ohjelmistoala mikrotietokoneiden aikakautena	31
4.3.	Mikrotietokoneiden kehityspisteet	37
5.	INTERNETIN AIKAKAUSI	38
5.1.	Internet tietokoneissa ja käyttötavat	38
5.2.	Tietotekniikan nykytila	41
6.	TIIETOTEKNIIKAN TULEVAISUUS	43
6.1.	Nanoelektroniikka	43
6.2.	Optinen tietokone	45
6.3.	Kvanttitietokone	46
6.4.	Neuroverkot	51
6.5.	Tulevaisuuden ydinpiirteet	54
7.	YHTEENVETO	55
8.	POHDINTA	58
	LÄHDELUETTELO	61

KESKEISET KÄSITTEET

Aktivaatiofunktio	Aktiiviseksi tekevä toiminto, joka saattaa toimintaan (Facta 2010).
Algoritmi	Joukko toimintaohjeita, jotka esittävät sarjan toimia tehtävän suorittamiseksi tai ratkaisemiseksi (Tietotekniikan liitto 2004).
Alkuluku	Lukua 1 suurempi luonnollinen luku, joka ei ole jaollinen muilla positiivisilla kokonaisluvuilla kuin yhdellä ja itsellään (Facta 2010).
Bitti	Tarkasteltavana olevan tapahtuman tai esiintymän informaatiomäärä bitteinä on sen todennäköisyyden käänteisluvun logaritmi (Tietotekniikan liitto 2004).
Binaarinumero	Kaksijärjestelmän numero, joko 0 tai 1 (Tietotekniikan liitto 2004).
Boolean algebra	Kaksiarvoisia suureita koskevat toimitukset tai tällaisia toimituksia koskevat säännöt (Tietotekniikan liitto 2004).
Coulombi	Sähkövarauksen mittayksikkö (Facta 2010).

Data	Tieto luettavassa, viestittävässä tai käsiteltävässä muodossa (Tietotekniikan liitto 2004).
Elektroni	Negatiivisesti sähköinen alkeishiukkanen (Facta 2010).
Elektroniputki	Laite, jonka toiminta perustuu vapaiden elektronien tai ionien kulkuun (Facta 2010).
ERP (Enterprise Resource Planning)	Toiminnanohjausjärjestelmä (Tietotekniikan liitto 2004).
Fotoni	Sähkömagneettisen kentän kvantti, alkeishiukaseksi luettava osanen (Facta 2010).
Hyperlinkki	Hypermediatiedostossa yksisuuntainen linkki tiettyyn kohtaan toisessa hypermediatiedostossa (Tietotekniikan liitto 2004).
Informaatio	Datan ihmiselle tuottama mielle tai merkitys. (Tietotekniikan liitto 2004).
Interferenssi	Aaltoliikkeille ominainen ilmiö, jossa vähintään kaksi aaltoa yhdistyy (Facta 2010).
Ioni	Sähköllä varautunut atomi tai atomiryhmä (Facta 2010).

Komplementti	Luku, joka saadaan vähentämällä se seuraavaksi suuremmasta kantaluvun potenssista (Tietotekniikan liitto 2004).
Kvanttimekaniikka	Hiukkasten ja hiukkasjoukkojen liikettä käsittelevä kvanttiteoria (Facta 2010).
Käyttöjärjestelmä	Varusohjelmisto, joka ohjaa tai helpottaa sovel-lusohjelmien suoritusta, esimerkiksi varaamalla ja vapauttamalla muistia ja oheislaitteita, suorittamalla kirjoituksen ja luvun, hallitsemalla prosesseja ja pitämällä yhteyttä käyttäjään (Tietotekniikan liitto 2004).
Nanotekniikka	Muistin tai mikropiirin rakentamisen ja käytön tekniikka, jossa peruskomponentit ovat nanometrin (yksittäisen molekyylin) suuruusluokkaa (Tietotekniikan liitto 2004).
Ohjelmisto	[ohjelma] Tietojenkäsittelytehtävän esitys jouk-kona tietokoneen toteutettavaksi tarkoitettuja toimenpiteitä (Tietotekniikan liitto 2004).
Ohjelmointi	Ohjelman tai ohjelmiston laatiminen jotain oh-jelmointikieltä käyttäen (Tietotekniikan liitto 2004).

Palvelin	Tietoverkon tai sen osan työasemien käytettävissä oleva tiettyä tehtävää, kuten tulostusta, tiedon säilyttämistä tai verkkojen välisen yhteyden turvaamista hoitava laite tai ohjelmisto (Tietotekniikan liitto 2004).
Piirilevy	Elektroniikkakomponenttien kiinnitysalusta, johon on painettu komponentteja ja niiden välisiä kytkentöjä (Tietotekniikan liitto 2004).
Puolijohde	Sähköä johtamaton aine, joka on tehty tietyissä olosuhteissa sähköä johtavaksi lisäämällä siihen muuta ainetta tai muuttamalla sen fysikaalisia ominaisuuksia (Tietotekniikan liitto 2004).
Reikäkortti	Kartonkinen kortti, johon lävistettyjen reikien avulla voidaan esittää tietoa (Tietotekniikan liitto 2004).
Sovellusohjelmisto	Peruskäyttäjän tarvitsemia tehtäviä suorittavat ohjelmat tai ohjelmisto (Tietotekniikan liitto 2004).
Suprajohteet	Aineita, jotka niille ominaisen lämpötilan alapuolella joutuvat suprajohtavaan tilaan, eli aineen resistiivisyys katoaa ja sähkövirta etenee häviöttömästi (Facta 2010).

Tietokonelaitteisto	Joukko keskenään kytkettyjä laitteita, jotka yhdessä muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden, kuten tietokoneen (Tietotekniikan liitto 2004).
Tietotekniikka	Tiedon automaattisen käsittelyn ja siirron välineet ja menetelmät sekä niiden käytön osaaminen (Tietotekniikan liitto 2004).
Toiminnanohjausjärjestelmä	Yrityksen toiminnan ohjaaminen sen tietotarpeita kattavasti ja integroidusti palvelevan tietojärjestelmän avulla (Tietotekniikan liitto 2004).
Tunnelointi ilmiö	Hiukkasen tietyllä todennäköisyydellä tapahtuva kulku sellaisen potentiaalivallin läpi, johon sillä ei klassisen fysiikan mukaan olisi riittävästi energiaa (Facta 2010).

VAASAN YLIOPISTO**Teknillinen tiedekunta**

Tekijä:	Mikael Klockars	
Tutkielman nimi:	Tietotekniikan kehittyminen	
Ohjaajan nimi:	Anja Jousranta	
Tutkinto:	Kauppatieteiden maisteri	
Laitos:	Tietotekniikan laitos	
Oppiaine:	Tietotekniikka	
Koulutusohjelma:	Tietohallintojohtaminen	
Opintojen aloitusvuosi:	2010	
Tutkielman valmistumisvuosi:	2010	Sivumäärä: 65

TIIVISTELMÄ

Tutkielmassa tehdään historiakatsaus tietotekniikan nopeaan kehittymiseen sekä tutustua lupaaviin tulevaisuuden tietotekniikoihin. Tarkasteltavat pääkohdat ovat tietotekniikan laitteistokehitys ja ohjelmistokehitys. Tarkastelu tapahtuu teknisestä ja liiketoiminnallisesta näkökulmasta. Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuuteen perustuva aineistopohjainen analyysi.

Tietokoneen keksimiseen johti koneellinen laskenta (mm. mekaaniset laskimet), automaattinen koneenohjaus (mm. kudontakoneet) sekä näiden yhdistäminen reikäkorttikoneen keksimisen myötä. Ensimmäinen elektroninen tietokone, Eniac, kehitettiin vuonna 1946. Aluksi tietokoneen digitaalipiirit toteutettiin elektroniputkilla, jotka ensin korvattiin transistoreilla ja sitten mikropiirille integroiduilla digitaalipiireillä eli mikroprosessorilla. Laitteistokehitys on noudattanut Mooren lakia jo pian 50 vuotta. Ohjelmistokehitys on tapahtunut laitteistojen kehittymisen myötä. Ohjelmistokehitykseen ovat vaikuttaneet myös erilaisten ohjelmointikielten, -alustojen sekä projektinhallintamenetelmien kehittyminen. Internet on vauhdittanut etenkin tietotekniikan yleistymistä mm. luomalla uusia mahdollisuuksia hyödyntää tietotekniikkaa. Tulevaisuudessa kehitys nykytekniikoiden osalta luultavasti tasaantuu. On olemassa kuitenkin uusia kehitteillä olevia tekniikoita, jotka mahdollistaisivat tietotekniikan nopean kehittymisen myös tulevaisuudessa.

AVAINSANAT: tietotekniikka, tietokonelaitteisto, ohjelmisto, historia, kehitys

UNIVERSITY OF VAASA**Faculty of Technology**

Author:	Mikael Klockars
Topic of the Master's Thesis:	Development of information technology
Instructor:	Anja Jousranta
Degree:	Master of Science in Economics and Business Administration
Department:	Department of Computer Science
Major Subject:	Computer Science
Degree Programme:	Leading of the data administration
Year of Entering the University:	2010
Year of Completing the Thesis:	2010
	Pages: 65

ABSTRACT

The aim of this thesis is to take an overview for history of information technology evolution and to explore few promising future technology of information technology. Main points of this thesis are hardware and software development. This thesis contains technology and business perspective. The research method of this thesis is an essay analysis, based on literature.

Before an actual computer was invented, it was first induced by mechanical computing (e.g. mechanical calculator), automatic machine control (e.g. automatic looms) and to combine these in the function principles of tabulating machine. First computer, Eniac, was invented in 1946. In the beginning of computer history, computers digital circuits were made by electronic tubes. Then they were replaced by transistors, which were replaced by microprocessor, where digital circuits are integrated in a microcircuit which is in a silicon chip. Hardware development evolution has followed Moore's law for almost 50 years. Software development evolution has followed hardware development evolution. It has been invented many programming languages, platforms and methods for software development. Internet has made information technology more common by creating new possibilities to use computers. In the future, evolution of information technology will probably become steady. However there are many new technologies, which would allow the fast evolution also in the future.

KEYWORDS: information technology, hardware, software, history, evolution

1. JOHDANTO

1.1. Taustaa

Tietotekniikan kehittyminen on ollut huikeaa viimeisen viidenkymmenen vuoden aikana. Se on muuttanut koko yhteiskuntaa ja on vaikuttanut jokaisen ihmisen arkipäiväiseen elämään maailmassa. Puhutaan, että olemme siirtyneet teollisuusvallankumouksesta informaatiovallankumouksen aikakauteen. Tietotekniikka vaikuttaa joko välittömästi tai välillisesti muihinkin teollisuudenaloihin, kun sitä hyödynnetään muilla toimialoilla. Näin nopea kehitys jollain yksittäisellä teollisuudenalalla tuo mukanaan myös ongelmia. Yksi keskeisimmistä ongelmista tietotekniikan nopean kehittymisen kannalta onkin saada ihmiset ja muut teollisuudenalat pysymään kehityksen mukana. Olemalla tietoisia tietotekniikan kehittymiseen vaikuttavista keksinnöistä, voimme saada siitä parhaan mahdollisen hyödyn. Tietotekniikan nopeasta kehittymisestä voi tulla myös riippuvaiseksi. Olemme tottuneet sen nopeaan kehittymiseen ja haluaisimme tämän kehityksen jatkuvan myös tulevaisuudessa. Odotamme paljon tulevilta tietokoneilta. Edessä on kuitenkin monia uhkia siitä, että tietotekniikan kehitys tasaantuisi tulevaisuudessa. Toisaalta on olemassa monia uusia teknologioita ja tekniikoita, jotka mahdollistaisivat tietotekniikan nopean kehittymisen myös pitkälle tulevaisuuteen.

1.2. Tutkielman tavoitteet, rajaukset ja käytettävät menetelmät

Tämän tutkielman tarkoituksena on tehdä lyhyt historiakatsaus tietotekniikan nopeaan kehitykseen. Tutkielmassa käydään läpi suurimpia laitteistopuolen keksintöjä, jotka ovat vieneet tietotekniikan kehitystä eteenpäin. Tutkielmassa käydään läpi myös ohjelmistopuolen kehitystä, joka usein seuraa laitteistopuolella tapahtuvia muutoksia. Lisäksi tarkastellaan muutamia tulevaisuuden teknologioita ja tekniikoita, jotka mahdollistaisivat tietotekniikan nopean kehityksen myös tulevaisuudessa.

Tutkielman tarkoituksena ei ole kehittää tietotekniikan kehitykselle mittaristoa, vaan tutkielmassa käydään faktapohjaisesti läpi tietotekniikan kehittymiseen vaikuttavia asioita ja esimerkkejä siitä, miten jokin keksintö vaikuttaa seuraavaan innovaation syntyyn.

Tutkimusmenetelmä on kirjallisuuteen perustuva aineistopohjainen analyysi. Aineistopohjaisen analyysin avulla pyritään saamaan tiivistetty historiakuva tietotekniikan kehittymisestä sekä pintapuolinen katsaus mahdollisiin tulevaisuuden tekniikoihin.

1.3. Tutkielman rakenne

Luku 2 keskittyy tietotekniikan esihistoriaan, joka alkaa 1600 –luvulta ja päättyy 1930 –luvulle. Luku 3 kuvaa suurten tietokoneiden aikakautta, joka alkaa 1940 –

luvulta ja päättyy 1970 –luvulle. Luku 4 keskittyy mikrotietokoneiden aikakautteen, joka alkaa 1970 –luvulta ja jatkuu vielä tänä päivänäkin. Luku 5 käsittelee internetin aikakautta, joka alkaa 1990 –luvulta ja jatkuu vielä tänä päivänäkin. Luvussa 6 pohditaan tietotekniikan tulevaisuuskuvia ja kehittymismahdollisuuksia. Tutkielma päätetään lukuihin 7 ja 8 joissa esitellään yhteenveto ja pohdinta. Tutkielmassa käsitellään tietotekniikan osa-alueiden, tietokonelaitteistojen sekä ohjelmistojen historiallista kehitystä ja niihin sovellettavia mahdollisia tulevaisuuden tekniikoita. Tutkielma sisältää teknisen ja liiketoiminnallisen näkemyksen.

2. TIETOTEKNIIKAN ESIHISTORIA

Tietotekniikalla tarkoitetaan automaattista tietojenkäsittelyä eli koneellista laskentaa, tietojen tallennusta ja siirtoa. Koneellisen laskennan alkuaikat sijoittuvat 4.000 vuoden takaiseen Kiinaan, helmitaulujen aikakauteen. 1600 –luvun Euroopassa näyttäytyy ensimmäisten mekaanisten laskukoneiden aikakausi. Reikäkorttikoneiden aikakausi alkaa 1700 –luvulta ja jatkuu 1900 –luvulle. Tässä luvussa esitellään myös 1800 –luvulla suunnitteluasteelle jäänyttä nykytietokonetta muistuttavaa analyyttistä konetta.

2.1. Koneellinen laskenta

Koneellinen laskenta alkoi noin *4.000 vuotta sitten* kun kiinalaiset keksivät helmitaulun, eli Abacuksen (Valmonte 2003: 9). Abacus on laite, jota käytetään desimaalinumeroiden esittämiseen, yhteenlaskuun, vähennyslaskuun, kertolaskuun sekä jakolaskuun (Dale 2004: 37).



Kuva 1. Abacus (Dale 2004).

Wilhelm Schickard (1592 – 1635) kehitti ensimmäisenä mekaanisen laskukoneen nimeltä ”Calculating Clock” (Augarten 1984: 17). Schickard oli saksalainen kartantekijä ja astronomi, joka keksi vuonna **1623** laskukoneensa tähtitieteellisiä laskutoimituksia varten. Toimintaperiaatteena kone käytti Napierin lukuja yhteenlaskun helpottamiseksi. Valitettavasti Schickardin kuoleman jälkeinen tulipalo tuhosi hänen työnsä ja ”Calculating Clock” saatiin historiankirjoihin vasta 1950 – luvulla, jolloin löydettiin Schickardin muistiinpanoja. (Groves 2007: 6).



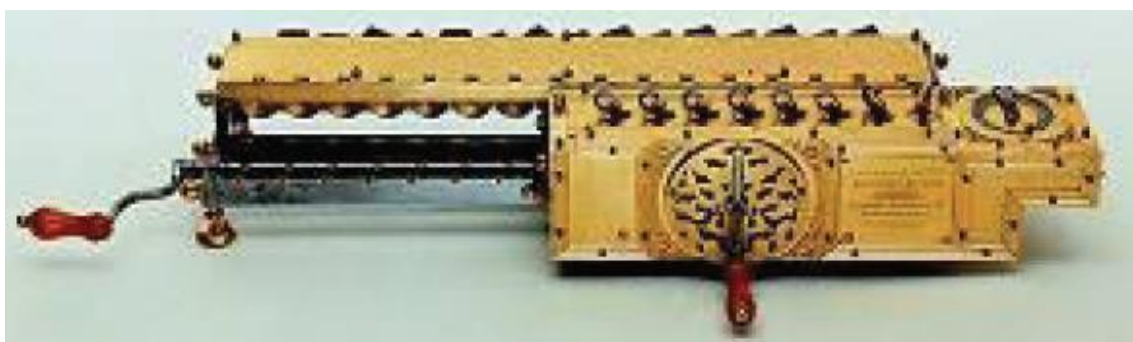
Kuva 2. Napierin luut (Groves 2007).

Ranskalainen *Blaise Pascal* (1623 – 1662) kehitti mekaanisen laskukoneen, Pascaline'n, vuonna **1642**. Pascaline oli puusta ja messingistä rakennettu laatikko, jonka kannessa oli pyöreitä valitsinkiekkvoja. Kiekkvojen avulla koneelle syötettiin yhteenlaskettavat luvut. Vähennyslasku ei suoraan ollut mahdollista, vaan vähennysoperaatiot oli tehtävä lisäämällä yhdeksän komplementteja. Koneen käyttöä hankaloitti myös se, että laskinta ei voinut asettaa suoraan alkutilaan (eli kaikki kiekkvo nollaan), vaan tähänkin tarvittiin yhteenlaskuoperaatioiden suorittamista. (Salmenkivi 2000).



Kuva 3. Pascaline (Salmenkivi 2000).

Gottfried Leibniz (1646 – 1716) keksi vuonna 1672 "Stepped Reckoner" nimisen mekaanisen laskimen, jolla pystyttiin yhteenlaskuun, vähennyslaskuun, kertolaskuun sekä jakolaskuun (Kerola 2004: 15). Leibniz oli saksalainen matemaatikko, jonka laskin oli Pascalinea huomattavasti kehittyneempi, sillä se pystyi laskemaan myös neliöjuuren. Hän sai laskimensa lopullisesti valmiiksi vasta 1694. (Alisha 1999: 4).

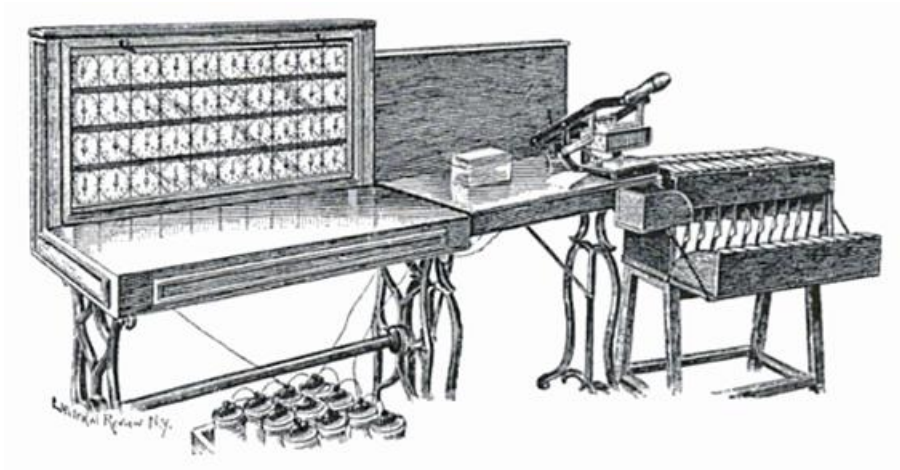


Kuva 4. Stepped Reckoner (Kerola 2004).

2.2. Reikäkorttikoneet

Jo ennen varsinaisten reikäkorttikoneiden keksimistä tietoa tallennettiin koneiden ohjaustarkoituksiin sekä erilaisten laitteiden ohjelmointiin. Varhaisin kuvaus löytyy peräti 100 vuotta eKr laitteesta, jossa oli uritettu sylinteri, jolla ohjattiin uritettua kiekkoa. Laite toimi vastaavanlaisella periaatteella kuin soitto-*rasiat*. Ranskalainen *Basile Bouchon* käytti ensimmäistä kertaa rei'itettyä paperia kudontalaitteen ohjaukseen vuonna 1725. Bouchonin laite oli kuitenkin vielä varsin kehittymätön ja laitteen käyttö vaati paljon käsityötä sekä kaksi käyttäjää. Ranskalainen Jacques de Vaucanson kehitti täysin automaattisen kudontakoneen noin vuonna 1750. (Randell 1982: 5 – 6).

Sittemmin 1800 –luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä ranskalainen Joseph Marie Jacquard paranteli Vaucansonin kudontakonetta siten, että se käytti reikäkortteja rei'itetyn paperin sijaan (Randell 1982: 6). Tämän koneen pohjalta Amerikkalainen *Herman Hollerith* patentoi vuonna 1884 maailman ensimmäisen reikäkorttikoneen. Koneita käytettiin ensin Yhdysvaltain väestönlaskentaan ja myöhemmin myös monien muiden maiden väestönlaskennoissa. (Randell 1982: 127). Reikäkorttikoneen toimintaa ohjaavat reikäkortit, joita syötetään koneeseen. Kone hakee tietynlaiset kortit, käyttäen valikointiin tiettyihin reikiin sopivia puikkoja. Näin koneella voidaan laskea esimerkiksi kaikki ”nainen” ja/tai ”mies” kortit. (Randell 1982: 133 – 134). Vuonna 1896 Hollerith perusti IBM:n edeltäjän Tabulating Machine Companyn. Se valmisti mekaanisia reikäkorttikoneita ja 1930 –luvulle mentäessä IBM:stä oli tullut maailman johtava reikäkorttikoneiden valmistaja. (Cusumano 2004: 97).



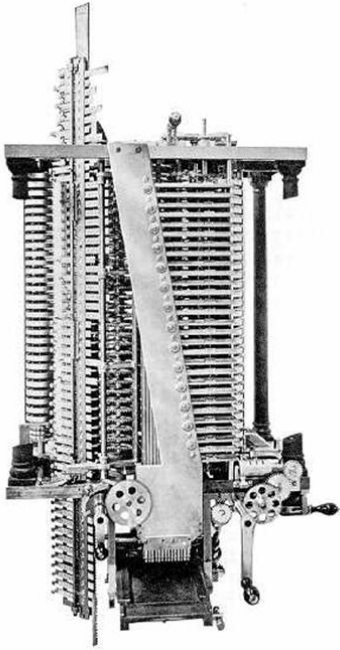
Kuva 5. Hollerithin reikäkorttikone (Randell 1982).

2.3. Analyyttinen kone

Englantilainen matemaatikko *Charles Babbage* (1791 - 1871) kehitti vuosina 1823 – 1834 höyryllä toimivaa differenssikonetta differenssilaskennan avuksi. Differenssikone ei kuitenkaan koskaan valmistunut rahoitusongelmien takia. Babbage julkaisi vuonna **1837** differenssikoneen pohjalta kehitellyn analyttisen koneen suunnitelmat. Analyttisen koneen toimintaperiaate on hyvin lähellä nykytietokoneen toimintaperiaatetta. Se toimi höyryllä ja siinä on mylly, joka operoi lukuja. Luku ja kirjoitus tapahtuivat reikäkorteille. (Siivonen 2001).

Ada Byron (1815 – 1852) oli myös englantilainen matemaatikko, joka kiinnostui Baggagen analyttisestä koneesta. Byron totesi, että analyttistä konetta voi

ohjelmoida suorittamaan operaatiot muistista. Babbage ja Byron kehittivät yhdessä analyttistä konetta, joka ei kuitenkaan koskaan valmistunut. (Siivonen 2001).

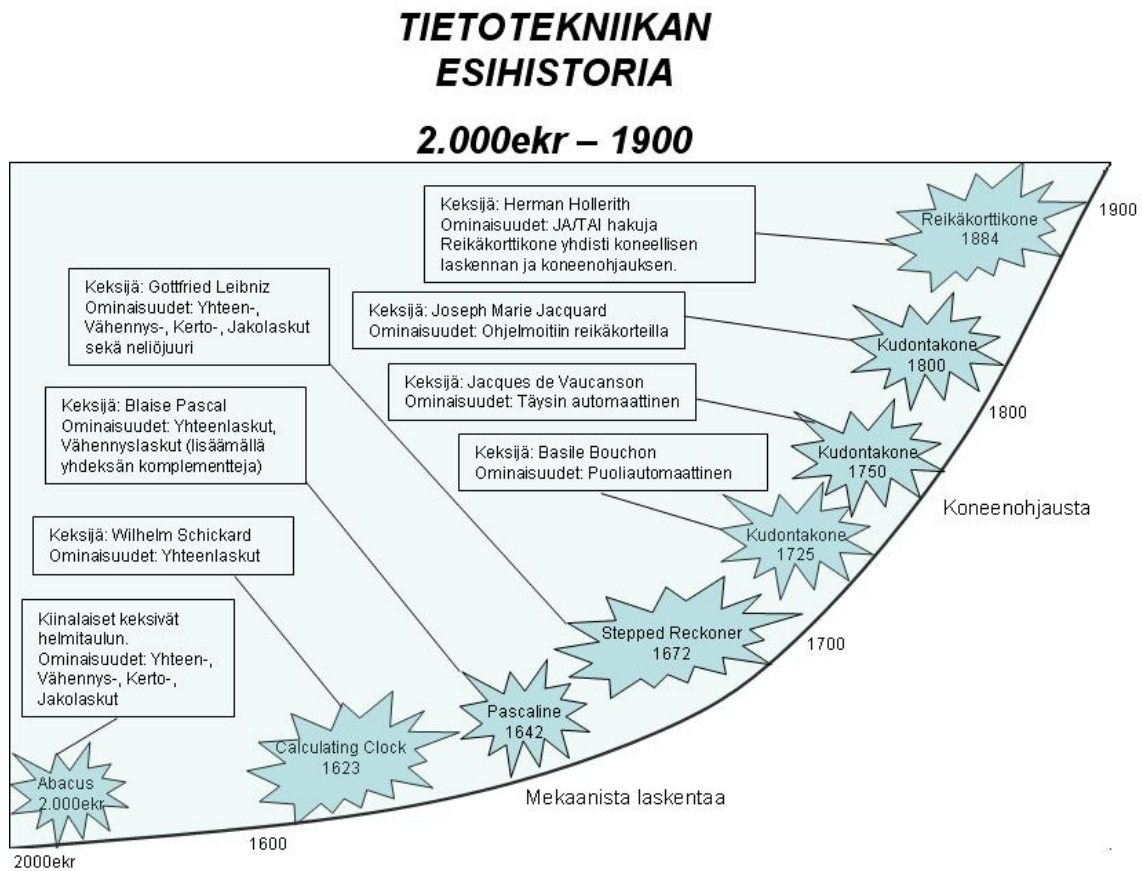


Kuva 6. Analyttinen kone (Siivonen 2001).

2.4. Tietokoneita edeltävä aika

Mikäli tietotekniikka -termiä laajennetaan tietokoneista koneelliseen laskentaan, voidaan löytää historiasta ennen tietokoneita runsaasti keksintöjä, jotka ovat vieneet kehitystä eteenpäin. Tätä aikakautta voi kutsua tietotekniikan esihisto-

riaksi. Edellä mainitut keksinnöt ovat tiivistettynä kuvassa 7, jossa 1600 luku on esitetty mekaanisen laskennan aikakautena ja 1700 luku koneenohjauksen aikakautena. Mekaaninen laskenta ja koneenohjaus yhdistyivät Hollerithin 1884 keksimässä reikäkorttikoneessa.



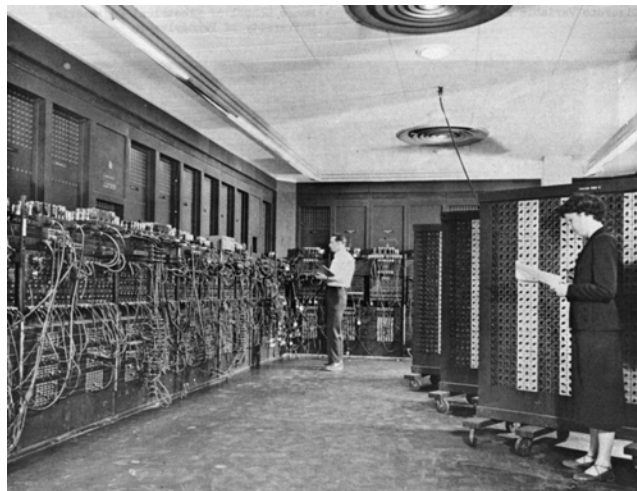
Kuva 7. Yhteenveto tietotekniikan esihistoriasta.

3. SUURTEN TIETOKONEIDEN AIKAKAUSI

Seuraavaksi tarkastellaan ensimmäisten elektronisten tietokoneiden maailmaa 1940 – 1970 –luvulla. Käyn läpi suurten tietokoneiden kehittymistä sekä ohjelmistoalan syntymistä ja kehittymistä suurten tietokoneiden aikakautena.

3.1. ENIAC:in kehitys

Vuonna 1946, *John Eckert* ja *John Mauchly* suunnittelivat maailman ensimmäisen elektronisen tietokoneen nimeltään ENIAC (McLeod 2001: 153). Se oli edeltäjä/prototyyppi maailman ensimmäiselle kaupalliselle elektroniselle tietokoneelle nimeltä UNIVAC (McLeod 2001: 153).



Kuva 8. Eniac.

3.2. Suurten tietokoneiden kehitys

Ensimmäinen kaupallinen elektroninen tietokone oli Remington Rand Corporationin vuonna **1951** julkistama UNIVAC. Sen olivat suunnitelleet maailman ensimmäisen elektronisen tietokoneen (ENIAC) rakentajat, John Eckert ja John Mauchly. (Cusumano 2004: 99). UNIVAC pystyi suorittamaan alle 2000 laskutoimitusta sekunnissa, mikä on vähän verrattuna nykytietokoneisiin, jotka pystyvät suorittamaan yli 800 miljoona laskutoimitusta sekunnissa (McLeod 2001: 153). IBM toi 1949 markkinoille CPC –koneen (Card Programmed Calculator), vuonna 1952 puolustuslaskimen nimeltä 701 ja vuonna 1953 ensimmäisen halvemman tietokoneen nimeltä 650. Vuonna **1959** IBM julkaisi maailman ensimmäisen täysin transistoripohjaisen tietokoneen nimeltä 1401. Siinä oli oheislaitteina magneettirumpu muistina ja tulostin. (Cusumano 2004: 99). 1960 –luvulla IBM teki seitsemän erilaista tietokonemallia eri käyttötarkoituksiin. Nämä olivat kalliita ja teknisesti vaikeita käyttää. Tämä sai IBM:n kehittämään System/360 perheen tietokoneet. Nämä olivat ohjelmistoiltaan yhteensopivia, mikä mahdollisti saman ohjelmiston käyttämisen tämän tuoteperheen eri laitteissa. (Cusumano 2004: 100).

IBM ei ollut ensimmäinen tietokonemarkkinoille suuntautuva yritys, mutta sen System/360 perheen tietokoneet tekivät tietokoneista keskustietokoneita, jotka vapauttivat tietokoneiden resursseja useammalle samanaikaiselle käyttäjälle (McLeod 2001: 153). Keskustietokoneet palvelivat asiantuntijoiden, kuten matemaatikkojen tarpeita. Syntyi eräpalvelukeskuksia, joissa käyttöhenkilöstö (operaattorit) hoitivat eräajoja reikäkortinlukijaa, magneettinauhayksiköitä ja

rivikirjoittimia käyttäen. Asiakkaat kävivät jättämässä korttipakat jakoon ja eräajon jälkeen kävivät noutamassa tulostukset. (Backström 2000)

Ensimmäiset tietokoneet olivat kalliita, epävarmoja ja suurikokoisia. Toiminta perustui kalliisiin elektroniputkiin, jotka rikkoutuivat usein. Niiden toimintaympäristövaatimukset olivat suuret. Transistorin teollinen valmistus 1950 – luvulla paransi tietokoneiden ominaisuuksia huomattavasti. Niistä tuli halvempia, varmempia ja pienikokoisempia. (Rojas 2002: 85).

Tietokoneiden toiminta perustuu Boolean algebran avulla tehtäviin aritmeettisiin operaatioihin, laskutoimituksiin, jotka toteutetaan loogisten porttien avulla. Näitä operaatioita ovat mm. AND / OR / NOT. Loogiset portit toteutetaan digitaalipiireihin, joihin aluksi käytettiin elektroniputkia ja sittemmin transistoreita. Nykyiset digitaalipiirit toteutetaan piirilevyille integroiduilla transistoreilla ja muilla komponenteilla. Lisäksi tietokoneilla on muisti tiedon talletusta varten. Lähes kaikkien tietokoneiden toiminta perustuu Von Neumann – arkkitehtuuriin, joka sisältää seuraavat osat (Rojas 2002: 195 – 198):

- Kontrolliyksikkö

Suorittaa tietokoneessa ajettavaa ohjelmaa, ts. se tulkitsee konekielistä koodia.

- Aritmeettis-looginen yksikkö (ALU)

Suorittaa Boolean algebraan perustuvat aritmeettiset operaatiot, ts. AND / OR / NOT / jne...

- Rekisterit

Joihin talletetaan loogisten operaatioiden syötteet ja vasteet, ts. välimuisti.

- Muisti ja I/O

Sisältää muistiavaruuden ja I/O – avaruuden, ts. joukko osoitteita joissa on dataa.

Von – Neumann –arkkitehtuurin lisäksi on olemassa harvinaisempi Harvard-arkkitehtuuri, jossa ohjelma ja sen käsittelemä tieto ovat omissa muisteissaan. Tätä arkkitehtuuria käytetään lähinnä sulautettujen järjestelmien tietokoneissa. (Pietikäinen 2000: 13).

3.3. Ohjelmistoala suurten tietokoneiden aikakautena

Ensimmäiset elektroniset tietokoneet palvelivat enimmäkseen sotilaallisia sovelluksia. Nämä toimivat siten, että kaikki yksittäiset komennot annettiin käsin kääntelemällä kytkimiä (kytkimen asento määritteli ykkösen ja nollan). Vuonna 1944 matemaatikko John von Neumann sai idean tallentaa useampia käskyjä sarjaan tietokoneen muistiin. Ensimmäinen tähän perustuva sovellus oli vuonna 1949 EDSAC (Electronic Delay Storage Automatic Calculator) -tietokoneessa Cambridgen Yliopistossa, Englannissa. Tämä tekninen innovaatio johti ohjel-

mistoalan syntyyn. 1950 – luvulla näitä komentosarjoja kutsuttiin rutiineiksi ja termiä ”ohjelmisto” alettiin käyttää yleisesti 1958 – 1960 –luvulla. Ensimmäiset ohjelmistoalan yritykset syntyivät 1950 – luvulla. Useat yksittäiset ohjelmistoalan yritykset tekivät sopimuksia erityisesti Yhdysvaltain puolustushallinnon kanssa. (Cusumano 2004: 88).

Ensimmäinen suuri ohjelmistoprojekti oli Yhdysvaltain hallinnon SAGE - ilmapuolustusjärjestelmä. Sitä kehitettiin vuosina 1949 – 1962 ja se maksoi noin 8 miljardia dollaria. Siinä oli vähintään miljoona riviä koodia ja arviolta 1200 ohjelmoijaa oli kehittämässä sitä. Myös kaupallinen sektori työllisti ensimmäisiä ohjelmistoalan yrityksiä. Esimerkiksi SABRE -lennonvarausjärjestelmä vuosina 1954 – 1964 työllisti noin 200 ohjelmistoinsinööriä ja se maksoi noin 30 miljoonaa dollaria. (Cusumano 2004: 89).

1950 –luvulla ohjelmistot olivat laitteistokohtaisia järjestelmäohjelmistoja ja niiden tarkoitus oli saada laitteistoja paremmin myytyä. Erillisiä ohjelmistoja ei ollut saatavilla, vaan ohjelmistot olivat aina laitteistossa kiinni. Ohjelmistoliiketoiminta alkoi näillä järjestelmäohjelmistoilla. Pienet markkinat ja kokemuksen puute ohjelmoitavista tietokoneista eivät luoneet tarpeeksi pohjaa standardoiduille sovelluksille ennen 1960 –lukua. (Cusumano 2004: 87).

1960 –luvulla tietokoneet edelleen kehittyivät (laitteistoissa mm. uudet prosessorit, CRT -näytöt, magneettiset muistit, reaaliaikaiset ohjelmistot ja kommunikointiteknologiat), joka mahdollisti entistä parempien ohjelmistojen kehityksen. Suuret innovaatiot tulivat lähes kaikki Yhdysvaltain hallinnon projekteista,

mutta tietokoneyritykset valjastivat nämä teknologiat nopeasti myös siviilikäyttöön. IBM oli tuon ajan johtava alan yritys, mutta nopeasti alkoi kehittyä myös muita ohjelmistoalan yrityksiä, kuten Computer Sciences Corporation, EDS, GE, ADR, Fujitsu, Hitachi ja Honeywell. Alkoi syntyä tarvetta räätälöidyille ohjelmistoille ja näin kehittyi palveluohjelmistoliiketoiminta. Ohjelmistoalan yritykset tarjosivat räätälöityjä ohjelmistoja yksittäisiin myytäviin tietokoneisiin. Esimerkiksi RCA, joka oli laitevalmistaja, tilasi ADR:ltä räätälöidyn vuokaavio-ohjelmiston auttamaan rutiinien kuvaamisessa, ADR uudelleenkirjoitti koodin IBM:n alustalle ja alkoi myydä sitä erillisenä ohjelmistona. Näin syntyi ensimmäinen laitteistosta irrallaan myytävä ohjelmistotuote, joka saavutti 100 miljoonan dollarin myynnin. (Cusumano 2004: 90 – 91).

1970 –luvulla IBM irtaannutti ohjelmistonsa, laitteistonsa ja palveluliiketoimintansa toisistaan ja alkoi myymään erikseen laitteistot, ohjelmistot ja palvelut. Ennen tätä IBM:llä oli alalla 80 %:n markkinaosuus ja toiminta kattoi kokonaisvaltaisena palveluna ohjelmistot, laitteistot ja palvelut. Ostamalla laitteiston, sen mukana tuli myös tarvittavat ohjelmistot ja palvelut. Liiketoimintansa eriyttämisen jälkeen IBM saikin vastaansa ”IBM -klooni” kilpailijoita, jotka kehittivät ”IBM -yhteensopivaa” ohjelmistoa, laitteita ja oheislaitteita. (Cusumano 2004: 92 – 94).

Mikä sitten sai IBM:n muuttamaan strategiansa? Eriyttämällä liiketoimintansa IBM sai laskettua laitteistojen hintaa ja pääsi laskuttamaan ohjelmistoista erikseen. Uhkana oli myös, että kilpailijat pystyisivät vanhasta strategiasta huolimatta kehittämään halvemmän laitteiston, joka olisi yhteensopiva IBM –

laitteiden kanssa. IBM:n laitteistossa toimivia ohjelmistoja osattiin jo valmistaa muuallakin, sillä Yhdysvaltain hallitus oli vaatinut IBM:ää julkistamaan tiettyjä teknisiä ratkaisuja siten, että myös muut yritykset pystyisivät palvelemaan IBM:n laitteistoja. Ohjelmistojen ja laitteistojen eriyttäminen sai aikaan myös sen, että ohjelmistot jakautuivat järjestelmäohjelmistoiksi ja sovellusohjelmistoiksi. Laitevalmistajat sisällyttivät tietokoneisiin edelleen myös laiteläheisen ohjelmiston eli käyttöjärjestelmän. Ohjelmistoyritykset puolestaan myivät eri käyttöjärjestelmissä toimivia sovellusohjelmistoja. Tämä käytäntö on jatkunut aina tähän päivään saakka. (Cusumano 2004: 92–94).

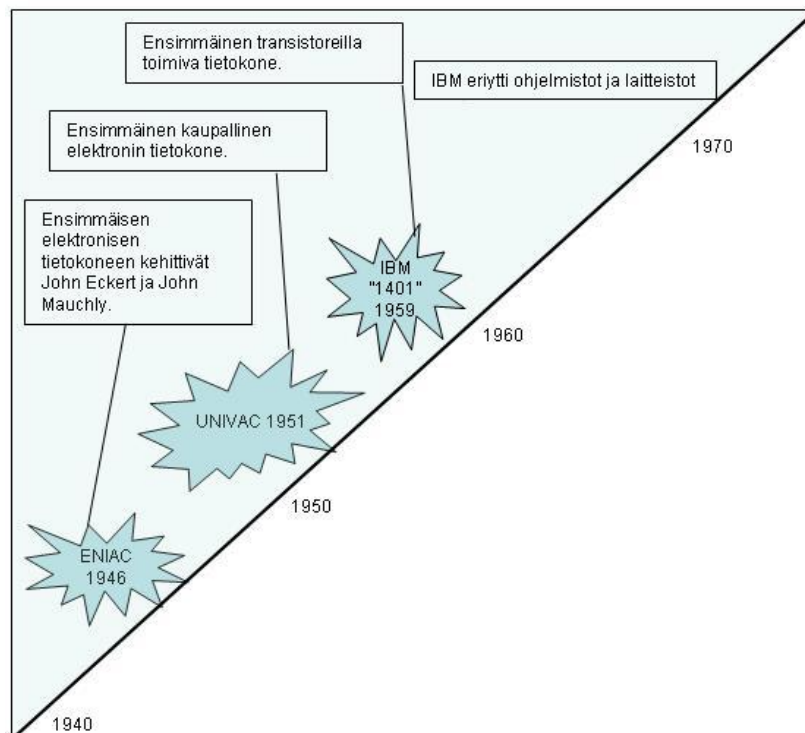
3.4. Suurten tietokoneiden kehityspisteet

Tietokoneen toiminta perustuu koneelliseen tiedon käsittelyyn, sähköiseen tiedon siirtoon ja talletukseen. Tietoa käsitellään ALU:ssa (Aritmetic logic unit), jossa sille tehdään aritmeettisloogiset laskuoperaatiot, kuten AND / OR / NOT. Käsitelty (tai käsittelemätön) tieto tallennetaan tietokoneen muistiin. Lähes kaikki tietokoneet toteutetaan Von Neumann –arkkitehtuurin mukaisesti. Maailman ensimmäiset tietokoneet olivat suurikokoisia, epävarmoja toiminnaltaan ja kalliita. Tämä johtui siitä, että ne oli toteutettu elektroniputkillla, jotka ovat suurikokoisia, helposti rikkoutuvia ja kalliita. Transistorin teollinen valmistus 1950 –luvulla vei tietokoneiden kehitystä eteenpäin, kun elektroniputket korvattiin transistoreilla. Ohjelmistot olivat aluksi laitteistokohtaisia järjestelmäohjelmistoja. Vasta 1960 –luvulla alkoi syntyä tarvetta räätälöidyille ohjelmistoille

sekä erikseen myytävälle ohjelmistotuotteille. Kun IBM 1970 –luvulla eriytti ohjelmistot ja laitteistot omiksi liiketoiminnoikseen, jakautuivat ohjelmistot järjestelmäohjelmistoiksi ja sovellusohjelmistoiksi. Kuvassa 9 on esitelty suurimmat keksinnöt suurten tietokoneiden aikakautena, jossa 1946 julkaistu ENIAC oli ensimmäinen elektroninen tietokone, 1951 julkaistu UNIVAC oli ensimmäinen kaupallinen elektroninen tietokone ja 1959 julkaistu IBM 1401 ensimmäinen transistoreilla toimiva elektroninen tietokone. Kaupalliseen kehitykseen vaikuttanut IBM:n ohjelmistojen ja laitteistojen eriyttäminen aiheutti sen, että laitteistojen mukana tuli enää vain järjestelmäohjelmistot, jonka lisäksi oli saatavilla erikseen myytäviä sovellusohjelmistoja.

SUURTEN TIETOKONEIDEN AIKAKAUSI

1940 - 1970



Kuva 9. Yhteenveto suurten tietokoneiden aikakaudesta.

4. MIKROTIETOKONEIDEN AIKAKAUSI

Seuraavaksi tarkastellaan nykytietokoneen eli mikrotietokoneen kehittymistä. Käsittelen mikrotietokoneen perustana olevan mikroprosessorin kehittymistä sekä ohjelmistoalan kehittymistä mikrotietokoneiden aikakautena. Tässä luvussa olemme ajassa 1971 – 2010.

4.1. Mikroprosessorien kehitys

Vuonna 1971 Intel toi markkinoille maailman ensimmäisen mikroprosessorin (Cusumano 2004: 108). Mikroprosessori on yhden piirin suoritin (piirilevyllä), jossa suoritetaan kaikki digitaalisen tietokoneen laskutoimitukset (McLeod 2001: 155). Mikroprosessoreiden nopeus on kasvanut melko tasaisesti. Gordon Moore, yksi Intellin perustajista, määritteli jo 1960 – luvulla Mooren lain, jonka mukaan transistorien lukumäärä samaan hintaan tuotetulla piirilevyllä kaksinkertaistuu joka vuosi. Todellisuus on osoittanut, että tuo aika on 18 kuukautta, mutta sama trendi on jatkunut koko mikroprosessorien kehityksen ajan. (McLeod 2001: 156). Mikroprosessoreihin perustuvat ensimmäiset mikrotietokoneet olivat Altair 8800 (1975) ja IBM PC (1982) (McLeod 2001: 154).

Mikroprosessorin keksimisen mahdollisti puolijohdeteknologian kehittyminen siten, että opittiin integroimaan transistori piirilevyille. Tällöin digitaalipiirit

voitiin integroida yhdelle piirilevylle, jota kutsutaan mikropiiriksi. Mitä pienempään tilaan mikropiirit saadaan integroitua, sitä nopeampi mikroprosessori on, koska elektronien ei tarvitse kulkea pitkiä matkoja piirillä. (Harding 2003).

4.2. Ohjelmistoala mikrotietokoneiden aikakautena

Mikroprosessorin keksiminen vuonna 1971 aikaansai sen, että historian myöhemmässä vaiheessa 1980 –luvulle tultaessa, markkinoille tulivat ensimmäiset mikrotietokoneet eli PC:t (personal computer), kuten IBM PC. Nykyajan kaltaiset ”halvat” mikrotietokoneet yleistyivät työntekijöiden pöydille ja koteihin. (Cusumano 2004: 108–114).

Viimeisten 20 vuoden aikana ohjelmistotekniikan käyttö on yleistynyt myös ns. sulautetuissa järjestelmissä eli osana mitä erilaisimpia laitteita. Ihmiset hyödyntävätkin ohjelmistotekniikkaa joko tietoisesti tai tietämättään esimerkiksi nostessa rahaa pankkiautomaatista, soittaessaan puhelimella, tankatessaan autoansa, käyttäessään television kaukosäädintä, jne. (Haikala 2006: 15).

Ensimmäisten PC –tietokoneiden ohjelmointi ei paljon eronnut suurten tietokoneiden ohjelmoinnista ja ohjelmien kehittäminen oli erittäin työlästä ja vaivalloista. Alan merkittävimmät toimijat alkoivatkin kehittää erilaisia ohjelmoin-

tialustoja ja työkaluja ohjelmistojen kehittämisen helpottamiseksi. Esimerkiksi Microsoft, joka kehitti mikrotietokoneille tarkoitetun lausekielisen ohjelmointikielen nimeltä Basic. Mikrotietokoneiden aikakautena ohjelmistoala kokee suuria teknologiahyppäyksiä paljon nopeammin kuin suurten tietokoneiden aikakautena. Ensimmäinen suuri hyppäys oli siirtyminen tekstipohjaisesta käyttöliittymästä graafiseen käyttöliittymään (ensimmäisenä Apple Macintosh 1984). Toinen suuri hyppäys oli tietoverkkojen kehittyminen ja mikrotietokoneiden liittäminen Internetiin (1995). Kolmas suuri hyppäys on jo menossa, "Web – Services", eli myös palvelut siirtyvät Internetiin. (Cusumano 2004: 108–114).

Ohjelmistotuotannon suurimpia ongelmia ovat ohjelmistoprojektien myöhästyminen ja taloudelliset budjettien ylitykset. Samat ongelmat ovat olleet ohjelmistotuotannossa jo 1960 –luvulta lähtien. NATO –konferenssin raportti vuodelta 1968 listaakin ohjelmistotuotannon suurimmiksi ongelmiksi samoja ongelmia, mitä myös tänä päivänä voidaan listata. Toki ohjelmointityökalut ja -menetelmät ovat paljon kehittyneet sitten 1960 –luvun, mutta vasta nyt aletaan ymmärtämään miten vaikeaa ohjelmistokehitys on ja tulee ehkä aina olemaan. (Cusumano 2004: 131–132).

Vuonna 1984 Yhdysvaltain puolustushallinto perusti instituutin nimeltään SEI (Software Engineering Institute). Sen tarkoituksena oli mitata organisaatioiden ohjelmistokehityskykyä. Se koulutti ekspertejä projektien auditointiin, käyttäen tähän CMM (Capabilities Maturity Model) prosessien kypsyysmallia. Prosessi sisältää viisi tasoa, joista taso1 on alin ja taso5 on korkein. Taso1 on alkutilanne – kaaos. Taso2 on toistettavissa oleva, jossa prosesseja käytetään toistu-

vasti. Taso3 on määritelty, jossa prosessit on määritelty ja vahvistettu standardoiduksi liiketoiminnan prosessiksi. Taso4 on johdettu, jossa prosessien johtaminen ja mittaaminen astuu mukaan kuvioihin. Taso5 on optimoiva, jossa prosessien johtamisen osa-alueena on harkittu prosessien optimointia sekä kehittämistä. (Cusumano 2004: 135–136).

Monet suuret alan toimijat ovat kautta ohjelmistotuotannon historian haaveilleet ohjelmistotuotannon tehdastuotantomaistamisesta, mihin monet muutkin toimialat ovat menneet. Miksi sitten ohjelmistojen kehitys on niin käsityömäistä vielä tänäkin päivänä? Ohjelmistotuotantoa ei vain ole helppo prosessina rationalisoida. Jokaisen ohjelmiston kehittäminen on niin yksilöllistä, että prosessin jäljittely on mahdotonta. Ohjelmistokehitykseen tarvitaan taidetta, tiedettä, tekniikkaa ja johtamistaitoja. Ohjelmistotuotantoa on vaikea valvoa, sillä se on monimutkaista. Jotkin yritykset ovat kuitenkin osanneet tehdastuotantomaistaa ohjelmistotuotantoa osittain, esimerkiksi erottamalla tiimit niihin, jotka suunnittelevat vaatimukset ja niihin, jotka tekevät varsinaisen toteutuksen. Jotkut yritykset ovat myös ulkoistaneet ohjelmistokehityksen eri vaiheita, kuten testauksen tai ohjelmoinnin. Lahjakkaat ja luovat ohjelmoijat eivät kuitenkaan pääse näyttämään kykyjensä tällaisessa hajautetussa ympäristössä. Vuosina 1969 – 1970 –luvun puoliväliin Hitachi, Fujitsu, NEC ja Toshiba perustivat useita ”ohjelmistotehtaita” Japaniin. Elettiin vielä suurten tietokoneiden aikakautta. Ne käyttivät projektinhallintamenetelmänä vaiheittaista vesiputousmallia, jossa projektin eri vaiheet ovat erillään. Spesifikaatioiden tulee olla valmiita ennen toteutuksen aloittamista. Malli toimi suhteellisen hyvin suurten tietokoneiden aikakautena, mutta siirryttäessä mikrotietokoneiden aikakauteen malli ei ollut enää tarpeeksi joustava kun ohjelmistoprojektien vaatimukset muuttuvat paljon nopeammin. (Cusumano 2004: 133–134).

Yleisesti ottaen ohjelmistojen teollinen kehittäminen on osoittautunut nykypäivänä turhan kankeaksi menetelmäksi ohjelmistotuotantoon. Ohjelmistotuotannossa tulee huomioida paremmin asiakkaiden muuttuvat vaatimukset ja teknologiset nopeat muutokset. Organisaatioiden tulee olla kekseliäämpiä ja innovatiivisempia ohjelmistokehityksessä. (Cusumano 2004: 130).

1980 -luvulla IBM:llä oli vaikeuksia siirtää suurten tietokoneiden käyttöjärjestelmien ohjelmointiosaamistaan PC -puolelle. Näin IBM valitsi strategiakseen ulkoistaa mikroprosessorikehityksensä Intellille ja käyttöjärjestelmäkehityksensä Microsoftille. IBM ei kuitenkaan vaatinut oikeuksia Intellin prosessorin arkkitehtuurille eikä myöskään Microsoftin kehittämälle DOS - käyttöjärjestelmälle. Näin IBM menetti oikeutensa omiin tuotteisiinsa ja sai jälleen kerran suuren joukon laitteistojen kloonikilpailijoita ja tämän lisäksi menetti myös käyttöjärjestelmän monopoliasemansa. Tämä rapautti IBM:n talouden vuoteen 1990 mennessä. (Cusumano 2004: 101–102).

Myöhemmin 1990 -luvulla IBM sai taloutensa jälleen nousuun keskittymällä pääasiassa palveluliiketoimintaan. Tämän strategiamuutoksen ajoi läpi vuonna 1993 pääjohtajaksi noussut Louis Gerstner, joka näki, että IBM:n tulisi keskittyä jälleen siihen mitä se parhaiten osaa eli asiakkaiden kokonaisvaltaiseen palveluun. IBM:n tulisi luopua teknologian kehittämisestä. Gerstner ajoi läpi kolme suurta muutosta IBM:ssä. Hän perusti ”IBM Global Services” -yksikön, joka tarjosi kokonaisvaltaisia palveluita asiakkaille, sisältäen laitteistot, ohjelmistot, oheislaitteet ja ylläpidon. Toiseksi Gerstner päätti, että jatkossa IBM kehittää ohjelmistonsa ”Open-Systems” -menetelmällä, eli ohjelmistojen tuli toimia kai-

killä alustoilla. Kolmanneksi Gerstner visioi tulevaisuuden pyörivän Internetin ympärillä, johon myös IBM:n tulisi keskittyä (Networked Computing). IBM myi myös pois osia laitteisto –liiketoiminnoistaan, mm. tallennuslaitteistojen liiketoiminnan Hitachille vuonna 2002. Tämä lopulta nosti palveluliiketoiminnan jälleen IBM:n suurimmaksi liiketoiminnaksi ja sitä se on vielä nykyäänkin. (Cusumano 2004: 102–108).

1980 –luvulla Apple ja IBM ennen Microsoftia julkaisi graafiset käyttöliittymänsä, tuli Microsoftille kiire kehittää myös oma täysin graafinen käyttöliittymä. Tämä vaati nopeaa kehitystä ja laajojen kokonaisuuksien hallintaa projekteissa, joissa työskenteli paljon ihmisiä. Tätä varten Microsoft ensimmäisenä otti käyttöön ketterän menetelmän nimeltä ”Synch-and-Stabilize”. Näin Microsoft pystyi pitämään projektit kokonaisuuden kannalta toimivina. Yöllisten käänös – prosessien seurauksena kehittäjät saivat joka päivä uusimman ja toimivimman tuotoksen käyttöönsä. Jokainen yöllinen käänös myös regressiotestattiin, muutosvirheiden välttämiseksi. (Cusumano 2004: 145–149).

Ketteriä projektinhallintamenetelmiä käytetään monissa suurissa alan yrityksissä. Menetelmän ydin on siinä, että annetaan ohjelmoijille vapautta innovatiivisuuteen, mutta säännöllisesti synkronisoidaan heidän työnsä muidenkin käyttöön. Koodi myös stabiloidaan säännöllisesti ennen seuraavaa työvaihetta. (Cusumano 2004: 144).

Microsoftin sovelluspuolella ketterän projektinhallintamenetelmän hyödyt tulivat esiin, kun verrataan kahta suurta projektia. WinWord –projekti aloitettiin Microsoftilla vuonna 1983 ja sen piti olla vuoden pituinen projekti. Projekti kuitenkin venyi viiden vuoden pituiseksi ja siihen aikaan mahtui paljon muutok-

sia. Intel julkisti uuden mikroprosessorin 18 kuukauden välein ja myös monet muut teknologiat muuttuivat tuona viiden vuoden aikana. Jatkuvat muutokset aiheuttivat paljon ohjelmistovirheitä ja WinWord –projektin suurin ongelma olikin saada se tarpeeksi virheettömäksi ja vakaaksi, että se voitiin julkaista. Excel –projekti aloitettiin Microsoftilla vuonna 1989 ja myös tämän piti olla vuoden pituinen projekti. Tässä projektissa otettiin käyttöön Synch-and-Stabilize –menetelmä ja projekti myös vaiheistettiin välietappeihin. Excel julkaistiin vain 11 päivää myöhässä. (Cusumano 2004: 152–153).

1990 –luvulla IT kupla ja tuleva Y2K:n vaatima päivitystuki aiheuttivat suuren tarpeen ohjelmistoalan työntekijöille. Tämä näkyi mm. Yhdysvalloissa ohjelmistoalan rekrytointi ilmoituksissa, joita oli enemmän kuin muiden alojen työpaikkailmoituksia yhteensä. Koulutusjärjestelmät eivät pystyneet kouluttamaan ohjelmistoalalle tarpeeksi uusia työntekijöitä. (Luftman 2007).

Vuoden 2001 taantuma käänsi kuitenkin tilanteen. IT kupla puhkesi ja Y2K oli jo mennyttä eikä enää työllistänyt ohjelmistoalan työntekijöitä. Ohjelmistoalan rekrytointi ilmoitukset vähenivät. Vuosina 2002 – 2004 ohjelmistoalalta väheni yli 100.000 työpaikkaa yksin Yhdysvalloissa. (Luftman 2007).

Tämän jälkeen maailmantalous lähti taas piristymään ja teknologiat uudistuivat. Ohjelmistoalan työntekijöiden löytymiselle alkoi kasvaa jälleen enemmän tarvetta. Monet organisaatiot ovat jo kohdanneet vaikeuksia löytää päteviä ohjelmistoalan työntekijöitä, jotka pystyvät työskentelemään tämän päivän vaatimusten paineessa. Päteviltä ohjelmistoalan työntekijöiltä odotetaan teknisen pätevyyden lisäksi liiketoiminnallista pätevyyttä. (Luftman 2007).

Yhdysvalloissa ohjelmistoalan työvoimapula kasvaa huomattavasti nopeammin kuin alan työpaikkoja ulkoistetaan edullisiin maihin, kuten Intiaan. Ohjelmistoalan työpaikoista Yhdysvalloissa vuoteen 2015 mennessä on arviolta vajaan 10 miljoonan työpaikan vaje. Arviolta vuoteen 2015 mennessä vajaan 4 miljoonaa työpaikkaa on ulkoistettu kehittyviin maihin. Näin ollen ohjelmistotalle arvioidaan noin 6 miljoonan työpaikan vajetta Yhdysvalloissa vuoteen 2015 mennessä. (Luftman 2007).

4.3. Mikrotietokoneiden kehityspisteet

Kun digitaalipiirit opittiin integroimaan mikropiirille, mahdollisti se mikroprosessorin kehittämisen. Ensimmäisenä mikroprosessorin kehitti Intel vuonna 1971. Siitä alkoi mikrotietokoneiden aikakausi.

Ohjelmistokehitys on muuttunut paljon mikrotietokoneiden aikakautena. Uusia ohjelmointityökaluja, ohjelmointi alustoja ja ohjelmointikieliä on kehitetty sekä ohjelmistoprojektin hallintamenetelmiä on tehostettu. Ketterät ohjelmistoprojektin hallintamenetelmät ovat osoittautuneet tehokkaiksi. Sen sijaan ohjelmistotuotannon tehdastuotantomaistaminen ei ole osoittautunut tehokkaaksi vaikka se muilla toimialoilla onkin toiminut hyvin. Organisaatioiden ohjelmistotuotannon laatua tarkkaillaan CMM –kypsyysmallin avulla.

5. INTERNETIN AIKAKAUSI

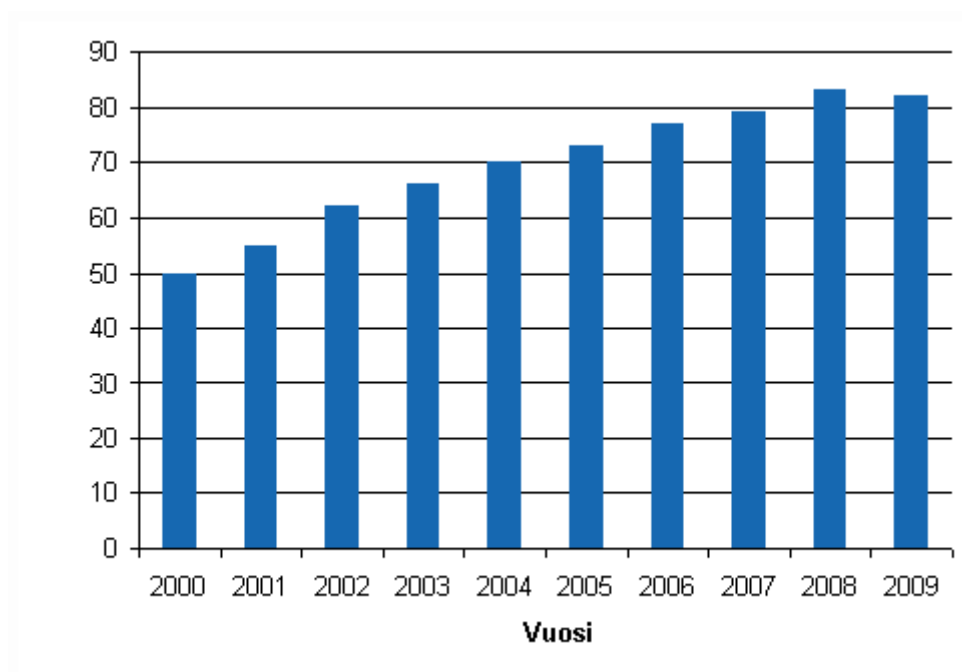
Internetin aikakaudella tietokoneet on verkotettu yhteen, joka on mahdollistanut nykyisen kaltaisen tiedonhaun. Tässä luvussa kerrotaan miten Internet tuli tietokoneisiin ja miten sitä käytetään sekä mikä on tietotekniikan nykytila Internetin aikakaudella.

5.1. Internet tietokoneissa ja käyttötavat

Vuonna 1989, *Tim Berners-Lee*, CERN:in fysiikan laboratoriosta ensimmäisenä suunnitteli selaimen ja kommunikointiprotokollan, jolla pystyi kommunikoimaan hyperlinkkien avulla palvelimien kanssa. Käyttötarkoituksena Internetillä oli aluksi saada tutkijat jakamaan tutkimustietoja paremmin. Vuonna 1993, Marc Andreessen kollegoineen, NCSA:sta suunnittelivat Mosaic selaimen, joka toimi Windows, Macintosh ja Unix – käyttöjärjestelmissä. Tämä aikaansai nopeasti Internetin yleistymisen. (Cusumano 2004: 114–115).

Internetin käyttö ja sen hyödyntäminen on kasvanut jatkuvasti. Tilastokeskuksen vuonna 2009 tekemän kyselyn mukaan Internetin käytön yleistymisen on kuitenkin tasaantunut vuonna 2009. Viimeisen kolmen kuukauden aikana Internetiä on vuonna 2009 käyttänyt 82 % 16 – 74 vuotiaista suomalaisista, kun vuonna 2008 vastaava oli 83 %. Internetin käyttö laajenee kuitenkin muulla ta-

voin. Esimerkiksi Internetissä käyminen päivittäin on yhä yleisempää. Vuonna 2009 tehdyn kyselyn mukaan peräti 82 % Internetin käyttäjistä käyttää sitä päivittäin tai lähes päivittäin. Vuonna 2008 vastaava oli 80 %. (Tilastokeskus 2009). Tilastokeskukselta lainatusta kuvasta (10) näemme Internetin käytön yleistymisen 2000 -luvulta lähtien. Siinä on tilastoitu 16 – 74 –vuotiaita, jotka ovat käyttäneet Internetiä edellisen kolmen kuukauden aikana. Tilastointi on tehty vuosina 2000 – 2009. Tilastokeskukselta lainatusta taulukosta (1) näemme mihin Internetiä eniten käytetään. Siinä on jaoteltu Internetin käyttötarkoitukset 28 yleisimpään tarkoitukseen. Tilastointi on tehty vuonna 2009.



Kuva 10. Internetin käyttäminen edellisten kolmen kuukauden aikana 2000–2009, %-osuus 16 – 74 –vuotiaista (Tilastokeskus 2009).

Taulukko 1. Internetin käyttötarkoitukset 2009, prosenttia internetin käyttäjistä (Tilastokeskus 2009).

Käyttötarkoitus	%
Sähköpostien lähettäminen tai vastaanotto	91
Pankkiasiat	87
Tavaroita ja palveluita koskeva tiedonetsintä	86
Verkkolehtien lukeminen	77
Matka- ja majoituspalvelujen selailu	68
Etsinyt sairauksiin, ravitsemukseen tai terveyteen liittyvää tietoa	68
Tiedonhaku viranomaisten verkkosivuilta	55
Internetradion kuuntelu tai internettelevision katselu	47
Musiikin kuuntelu tai lataaminen verkosta tietokoneelle	42
Blogien lukeminen	41
Virallisten lomakkeiden lataaminen tietokoneelle	38
Koulutus- ja kurssitarjonnan etsintä	38
Pikaviestien käyttö	37
Verkkokaupasta ostaminen	37
Ohjelmien lataaminen omalle tietokoneelle	34
Viestien kirjoittaminen keskustelupalstoille tai uutisryhmiin	33
Työn etsiminen tai työpaikkahakemusten lähettäminen	29
Itse tuotetun sisällön lataaminen mille tahansa sivustolle jakamista varten	22
Käytettyjen tavaroiden ostaminen internetin tavarapörsseistä	20
Internet-puhelut	17
Omien tavaroiden, tuotteiden ja palvelujen myynti internetin tavarapörsseissä	16
Verkko-opiskelu	16
Pelien pelaaminen verkossa	14
Jonkin verkkojulkaisun tai uutispalvelun vakituinen tilaaminen	12
Videoneuvottelu	10
Pelien lataaminen verkosta tietokoneelle	8
Käyttänyt ns. vertaisverkkoa elokuvien tai musiikin yms. vaihtamiseen	8
Oman blogien luominen tai ylläpito	5

Internet on luonut ohjelmistoliiketoimintaan kolmenlaista palvelutyyppiä. Ensimmäiseksi internetiä käytetään parantamaan liiketoiminnan malleja ja käytäntöjä, esimerkiksi ERP (Enterprise Resource Planning) –sovelluksen avulla. Toiseksi Internetiä käytetään luomaan uusia tuotteita ja palveluita olemassa olevan liiketoiminnan rinnalle, esimerkiksi erilaiset verkkokaupparatkaisut. Kolmanneksi Internetiä käytetään luomaan kokonaan uutta liiketoimintaa, esimerkiksi erilaiset Internetportaalit. (Cusumano 2004: 116–117).

5.2. Tietotekniikan nykytila

Gartner –tutkimusyhtiön vuonna 2008 julkaiseman arvon perusteella maailmassa on miljardi mikrotietokonetta. Vuosittainen kasvuarvio on 12 prosenttia, minkä perusteella kahden miljardin mikrotietokoneen raja ylittyy jo vuonna 2014. (Gartner 2008). Arviosta puuttuvat kaikki sulautetuissa järjestelmissä käytettävät tietokoneet, joten todellinen mikroprosessorien lukumäärä lienee paljon suurempi.

Suomessa IT –alan osuus bruttokansantuotteesta vuonna 2008 oli noin 2 prosenttia. Vuonna 2006 IT –alalla oli Suomessa kaikkiaan noin 8.000 yritystä, joiden yhteenlaskettu henkilöstömäärä oli 46.000, mikä vastaa yli 3 prosenttia Suomen koko yrityssektorin työvoimasta. Ohjelmistojen suunnittelu ja valmis-

tus on suurin IT –alan alatoimiala, jossa työskentelee yli 2/3 Suomen koko IT –alan yritysten henkilöstöstä. (Ali-Yrkkö 2008).

Suomalaisten yritysten IT –kustannusten osuus liikevaihdosta on 4,47 % ja kolmen vuoden kuluttua sen arvioidaan olevan 4,94 %. IT:stä tehostamisen kautta saadut kustannussäästöt yritysten liikevaihdosta ovat 4,28 %, mutta 81 % yrityksistä kokee, että IT investoinnit tuottavat lisäarvoa myös mahdollistamalla uusien innovaatioiden ja liiketoimintojen kehittämisen. (Tietotekniikan liitto 2010).

6. TIETOTEKNIIKAN TULEVAISUUS

Tässä luvussa tutustutaan potentiaalsiin tulevaisuuden tekniikoihin. Laitteisto-
puolella esittelen nanoelektroniikkaa, optisen tietokoneen ja kvanttietoko-
neen. Ohjelmistopuolella tutustutaan oppiviin neuroverkkoihin.

6.1. Nanoelektroniikka

Sen jälkeen, kun puolijohdeteknologia mahdollisti transistorin integroinnin pii-
rilevylle, on mikroelektroniikan halpeneminen ja yleistyminen mahdollistanut
viimeisen viidenkymmenen vuoden tietoteknisen huikean kehityksen. Tämä
johtuu piirilevylle integroitujen transistorien ja muiden komponenttien koon
pientymisestä. Mikroelektroniikassa on jo lähes viidenkymmenen vuoden
ajan pätenyt Mooren laki, jonka mukaan integroitujen transistorien määrä kak-
sinkertaistuu neliösenttimetrin kokoisella piirilevyllä joka 18 kuukauden välein.
Mitä enemmän yhdelle piisirulle saadaan integroitua, sitä halvemmaksi yhden
komponentin hinta muodostuu. Nyt raja alkaa kuitenkin jo tulla vastaan. Ny-
kyisin integroitujen transistorien koko alkaa olla jo melko lähellä atomin kokoa.
Atomia pienempää transistoria ei voi enää integroida piirilevylle perinteisin
mikroelektroniikan keinoin. Apuun tarvitaan nanoelektroniikkaa. (Wolf 2009:
1).

Tällä hetkellä mikroelektroniikkateollisuudessa piirilevyille integroidaan kooltaan noin 250nm (nanometri = metrin miljardisosa) transistoreita. Tästä pienemmäksi mentäessä alkavat taloudelliset ja valmistustekniset ongelmat. On varsin kallista perustaa uusia tuotantolinjoja, jotka pystyvät integroimaan vieläkin pienempiä komponentteja. Myös luonnonlait alkavat tulla vastaan, sillä sähkövirta on yksittäisten elektronien liikettä. Mitä pienemmäksi komponentti integroidaan, sitä suurempana elektronivirran rakeisuus korostuu ja elektronien liikkuvuutta hidastavat sekä kvanttimekaaniset interferenssi-ilmiöt, että muiden elektronien aiheuttama Coulombin työntövoima. Naoelektroniikassa näitä mikroelektroniikalle haitallisia ilmiöitä kuitenkin hyödynnetään. Yhden elektronin transistorin (SET:n) toiminta perustuu elektronien väliseen Coulombin vuorovaikutukseen ja kvanttimekaniikan tunnelointi ilmiöön. Kahden tunneliliitoksen väliin muodostuu eräänlainen saareke, johon yksittäiset elektronit tunneloituvat. Saarekkeen sähköstaattinen energia kasvaa huomattavasti, kun sille tunneloituu yksikin elektroni, sillä saareke on niin pieni. Yksikin elektroni estää varsin tehokkaasti myös seuraavan elektronin tunneloitumisen, aiheuttaen Coulombin saarroksi kutsutun ilmiön, jolloin SET:n läpi ei kulje lainkaan virtaa. Virranjohtokyky voidaan palauttaa sähköistä potentiaalia muuttamalla. (Paalanen 1998).

SET:it eivät ole vielä käytössä kaupallisissa elektroniikkapiireissä vaikka ne keksittiinkin jo vuonna 1987. Tämä johtuu siitä, että pystymme valmistamaan vain noin 50 nm:n suuruisia tunneliliitoksia, joissa Coulombin ilmiö on liian heikko. Lisäksi nämä toimivat vain hyvin matalissa lämpötiloissa. Huoneenlämpötilassa toimivat SET:it vaativat keskussaarekkeen, joka on pienempi kuin 5 nm. Tämän hetken ongelma onkin se, miten pystymme valmistamaan

alle 5 nm:n kokoisia SET:ja. Atomivoimamikroskoopilla (AFM) pintoja voidaan kuvata atomitasolla, liikuttamalla terävää kärkeä pinnan yli. Pinnanmuoto selviää mittaamalla tarkasti kärjen pystysuuntaista liikettä. Säätämällä AFM:n mittakärjen ja pinnan välistä voimaa, voimme myös mekaanisesti muokata pintaa tai pinnalle tehtyjä rakenteita. Tämä tekniikka mahdollistaa alle 5nm kokoisten SET:ien valmistuksen, mutta tämä valmistustekniikka on varsin hidas ja kallis. Toisaalta biologia ja elävä luonto osaa jo nanorakenteiden valmistusmenetelmät ja niiden massakopioinnin. Tulevaisuudessa ratkaisu saattaakin löytyä luontoa matkimalla. (Paalanen 1998).

6.2. Optinen tietokone

Aivan uusimpana läpimurtona tulevaisuuden tietokoneen rakentamisessa IBM kertoi maaliskuussa 2010 saaneensa valmiiksi viimeisimmänkin komponentin täysin optisen mikropiirin rakentamiseksi. Viimeisimpänä saavutuksena yhtiön tutkijat onnistuivat kehittämään erittäin nopean optisen kytkimen. Tämä nanofotoninen kytkin (nanophotonic avalanche photodetector) hyödyntää germaniumin lumivyöryominaisuuksia. Valopulssi vapauttaa varauksia kuljettavia elektroneja, jotka puolestaan vapauttavat elektroneja lisää, jolloin alkuperäinen signaali vahvistuu moninkertaisesti. Kytkin voi vastaanottaa optista signaalia 40 gigabitin nopeudella ja samanaikaisesti moninkertaistaa se kymmenkertaiseksi. Kytkin tarvitsee vain 1,5 voltin jännitteen ja se vie 20-kertaisesti vähemmän virtaa perinteisiin elektronisiin kytkimiin verrattuna. Piistä ja germaniu-

mista valmistettu kytkin sopii tuotantoon myös nykyisillä puolijohdelinjoilla. (Ojanperä 2010).

Optinen tiedonsiirto on paljon tehokkaampaa kuin elektroninen tiedonsiirto. Kuumeneminen ja virtahäviöt estävät tällä hetkellä kellotaajuuksien noston. Jos elektroninen tiedonsiirto vaihdettaisiin optiseksi, voitaisiin prosessorien nopeuksia nostaa kertaluokilla ylöspäin. IBM:n mukaan tiedonsiirto on optisesti sata kertaa nopeampaa kuin elektronisesti. (Kotilainen 2007). Täysin optisen tietokoneen toteuttaminen on nyt siis mahdollista ja jäämmekin odottamaan, koska tämä keksintö tulee kaupallisesti hyödynnettäväksi.

6.3. Kvanttitietokone

Thomas Young suoritti vuonna 1802 kaksoisrakokokeen yrittäessään selvittää muodostuuko valo hiukkasista vai aalloista, jotka kulkevat kuten ääniaallot ilmassa. Kokeessa valo johdetaan kahden vierekkäin olevan raon läpi valokuvauspaperille. Sen sijaan, että valokuvauspaperille olisi muodostunut kaksi raitaa, siinä olikin valon aaltoliikkeen aiheuttama interferenssikuvio. Fotonit (valohiukkaset) olivat interferoineet keskenään, niiden mennessä samanaikaisesti kahden raon läpi. Niiden aiheuttamat aaltoliikkeet olivat vahvistaneet ja heikentäneet toisiaan, kuten kahden veteen heitetyn kiven aallot osuessaan toisiinsa. Tämän vuoksi valokuvauspaperille syntyi interferenssikuvio ja koe todisti

valon, kuin myös aineen (valo = fotoni = hiukkanen), aaltohiukkasdualismin. (Morsch 2008: 41).

Kaksoisrakokoetta kehitettiin edelleen siten, että kaksoisrakojen läpi lähetettiin yksi fotoni kerrallaan ja tulokset olivat hämmästyttäviä. Kun valokuvauspaperille merkittiin fotonin osuma ja koe toistettiin tarpeeksi monta kertaa, niin havaittiin, että taas valokuvauspaperille muodostui interferenssikuvio. (Morsch 2008: 42).

Minkä kanssa yksittäiset fotonit sitten olivat voineet interferoida? Vastaus tähän saadaan kvanttimekaniikasta. Yksittäiset fotonit kulkivat molemmista ra-oista samanaikaisesti interferoiden itsensä kanssa. Fotoni oli siis kahdessa paikassa samanaikaisesti? Kyllä, sillä kvanttimekaniikka perustuu todennäköisyyksiin. Hiukkasilla on tietty todennäköisyys esiintyä tietyssä paikassa. Ennen fotonin reitin mittaamista, oli fotoni molemmissa reiteissä samanaikaisesti ja niistä todennäköisempi reitti toteutui vasta mittaushetkellä, jolloin se saatiin tietoon. Ennen kuin fotonin reitti oli mitattu valokuvauspaperilta, kulki se molempien rakojen läpi samanaikaisesti interferoiden itsensä kanssa. Sen kulkema todellinen reitti havaittiin vasta mittaushetkellä, mutta sitä ennen se oli ollut kahdessa paikassa samaan aikaan ja interferoinut itsensä kanssa. Ennen mittausta fotoni oli kahden todennäköisen tilan superpositiotilassa, eli kahdessa todennäköisessä paikassa yhtä aikaa, interferoiden itsensä kanssa. (Morsch 2008: 43 - 44).

Kvanttitietokone käyttää hyväkseen kvanttimekaniikan superpositiota. Perinteinen digitaalinen tietokone toimii biteillä, jotka voivat olla yhdessä tilassa, "0" tai "1", kerrallaan. Kvanttitietokone toimii kubiteilla, jotka voivat olla perinteisten "0" ja "1" -tilojen lisäksi nollan ja ykkösen superpositiossa, jolloin se on "0" ja "1" samanaikaisesti. Kubitti voi olla atomi (tai ioni = varautunut atomi), jonka perustila vastaa nollaa. Kun atomin energiatilaa viritetään, se muuttuu ykköseksi. Tämän lisäksi atomi voi olla näiden molempien energiatilojen superpositiossa, jolloin se on molemmat energiatilat yhtä aikaa. Mitattaessa atomin tilaa, se voi kuitenkin olla vain "0" tai "1", sillä superpositio hajoaa mittauksen yhteydessä (kuten myös kaksoisrakokokeen tapauksessa). Kubitti voi myös vaihtaa ja vaihtaa informaatiota muiden kubittien kanssa ja vasta lopulta mitaaminen rikkoo superpositiot. (Berman 1998: 2 - 3).

Kvanttitietokoneen hyödyt tulevat esiin sen kyvyssä laskea rinnakkain. Esimerkiksi 200 –numeroisen luvun tekijöihin jako kestäisi tuhansia ja tuhansia vuosia parhaaltakin digitaaliselta supertietokoneelta, mutta kvanttitietokone laskisi sen hetkessä. Tekijöihin jakoon ei nimittäin ole tehokasta algoritmia, vaan digitaalisella tietokoneella tarkasteltava luku voidaan jakaa tekijöihin vain käymällä läpi kaikki tarkasteltavan luvun neliöjuurta pienemmät alkuluvut ja katsomalla, onko luku jaollinen kyseisellä alkuluvulla. Ohjelma tekee siis aika monta silmukkaa. Digitaalinen tietokone laskee siis deterministisesti. (Berman 1998: 21).

Kvanttitietokone voi taas jakaa tarkasteltavan luvun tekijöihin jopa yhdellä silmukalla, tekemällä laskutoimituksen jokaisella tarkoitukseen sopivalla alkuluvulla samanaikaisesti. Oikea vastaus saadaan mitattua kuitenkin vain, mikäli

oikea vastaus on todennäköisin kaikista vaihtoehdoista. Kvanttilaskenta vaatiikin aivan omanlaisensa algoritmit ja niitä voidaan soveltaa vain tietynlaisiin laskutoimituksiin. Se on eräänlaista todennäköisyyslaskentaa, millä kvanttimekaniikka toimii. (Berman 1998: 21).

Samantapaista suuren luvun tekijöihin jakoperiaatetta käytetään yleisesti myös tiedon salaukseen. Kvanttitietokoneiden kehittyminen tarkoittaaakin nykyisen tiedon salauksen murtumista. (Bernstein 2009: 16). Seuraavassa Bernsteinin, Buchmannin ja Dahménin kirjasta, *Post Quantum Cryptography*, lainatusta taulukosta (2) näemme mihin salausmenetelmiin on jo olemassa kvanttilaskennallinen purkualgoritmi. Siinä on esitetty yleisimmät käytettävät tiedon salausmenetelmät, joihin on olemassa kvanttilaskennallinen purkualgoritmi ja ne yleisimmät salausmenetelmät joihin kvanttilaskennallinen purkualgoritmi on vasta kehitteillä. Huomaa, että yleisimmät elektroniseen kaupankäyntiin käytettävään RSA salausmenetelmäänkin on jo olemassa kvanttilaskennallinen purkualgoritmi.

Taulukko 2. Kvanttilaskennallisesti murrettu salausmenetelmät (Bernstein 2009).

Salausmenetelmä	Murrettu kvanttilaskennallisella purkualgoritmillä?
RSA salausmenetelmä	Murrettu
Diffie-Hellman-avaimenvaihtoprotokolla	Murrettu
Elliptic curve salausmenetelmä	Murrettu
Buchmann-Williams-avaimenvaihtoprotokolla	Murrettu
Algebraically Homomorphic	Murrettu
McEliece salausmenetelmä	Ei vielä murrettu
NTRU salausmenetelmä	Ei vielä murrettu
Lattice-based salausmenetelmä	Ei vielä murrettu

Tähänastiset kvanttietokoneet ovat laboratorioissa toimivia, enintään seitsemän kubitin kokoisia, nestemäisiä viritelmiä. Olisi päästävä ainakin satoihin kubitteihin, ennen kuin kvanttietokoneessa voisi tehokkaasti toteuttaa kvanttilaskentaa. Toisaalta kvanttietokoneetkin näyttävät tehonsa kasvun puolesta noudattavan Mooren lakia, joten hyvältä näyttää ainakin toistaiseksi. Kvanttietokoneet kuitenkin soveltuvat vain tietyn tyyppisiin ongelmiin, joten nykytietokoneen ultratehokkaaksi korvaajaksi siitä ei ole. Parhaiten edistynyt kvanttietokoneen toteutustapa perustuu nesteessä oleviin molekyyliin ja värähteleviin magneettikenttiin, eli ydinmagneettiseen resonanssiin (NMR), joita käytetään myös sairaaloiden kuvauslaitteissa. Molekyyleissä atomiytimien suuntaa voidaan kääntää ja asento voidaan mitata radiotaajuudella värähtelevillä magneettikentillä. Tämä tekniikka mahdollistaa laitteen toiminnan huoneenlämmössä. Toinen toteutustapa perustuu sähkömagneettisiin loukkuihin, jossa vangitut ionit, eli sähkövarauksisten atomien ketjut, jäähdytetään laserilla. Sitteen positiivinen ydin pitää negatiivisesti varautuneet elektronit vangittuina sähkökentällään ja vangituilla elektroneilla on energiaa, jota atomi voi luovuttaa fotonin muodossa. Elektronien energiamäärällä on vain tiettyjä arvoja, joita vastaavat energiatilat voidaan eritellä toisistaan. Oli tekniikka kumpi tahansa, molekyyliin tai ioneihin perustuva, niin suurimmat ongelmat tulevat häiriöistä. Tulevaisuus saattaa avautua puolijohteista ja suprajohtavista metalleista, sillä vain niistä löytynee se kapasiteetti, joka sallii sadat kubitit ja teollisen valmistuksen. (Suominen 2002).

6.4. Neuroverkot

Neuroverkot perustuvat toimintaperiaatteeltaan joiltain osin aivojen toimintaan. Ihmisaivoissa on noin 100 miljardia hermosolua (neuronia), jotka voivat dynaamisin kytköksin yhdistyä tuhansien toisten neuronien kanssa. Neuroneista lähtee haarakkeita, aksoneja, joiden päät haaroittuvat synapsipäätteisiin. Synapsit voivat muodostaa dynaamisia liitoksia muiden neuronien synapsien kanssa. Kommunikointi tapahtuu sähkökemiallisten pulssien välityksellä. Kun yksittäinen neuroni saa useita eri pulsseja toisilta neuroneilta, se integroi tai summaa nämä, ja tiettyjen raja-arvojen perusteella vastaa viesteihin tai sitten jättää vastaamatta. Neuronin lähettämä pulssi on tyypiltään joko vastausta pyytävä tai ei vastausta haluava. Lisäksi neuronin lähettämä pulssi sisältää sähkökemiallisen vahvuuden, joka määrittelee kyseisen synapsiverkon voimakkuuden. (Gurney 1997: 1 - 2). Ihmisaivoissa voi olla arviolta 10^{15} erilaisilla muodostunutta synapsiverkkoa (Müller 1995: 10). Muisti perustuu yksittäisiin muistijälkiin, jotka ovat näitä eri tavalla muodostuneita synapsiverkkoja, tavallaan sähköisiä ratoja aivoissamme. Kun muistamme, sähkö kulkee tuossa radassa. (Ingo 2002). Muistijälki sisältää kaikki sen tallennushetkiset aistituntemukset. Muistijälki on siis tavallaan välähdys jostain kokemastamme. Kun yhdistelemme useita muistijälkiä, syntyy kokemus. Myös ajattelumme on samanlaista sähköisten ratojen sykettä (Ingo 2002). Tämän mekanismin avulla aivot pystyvät oppimaan.

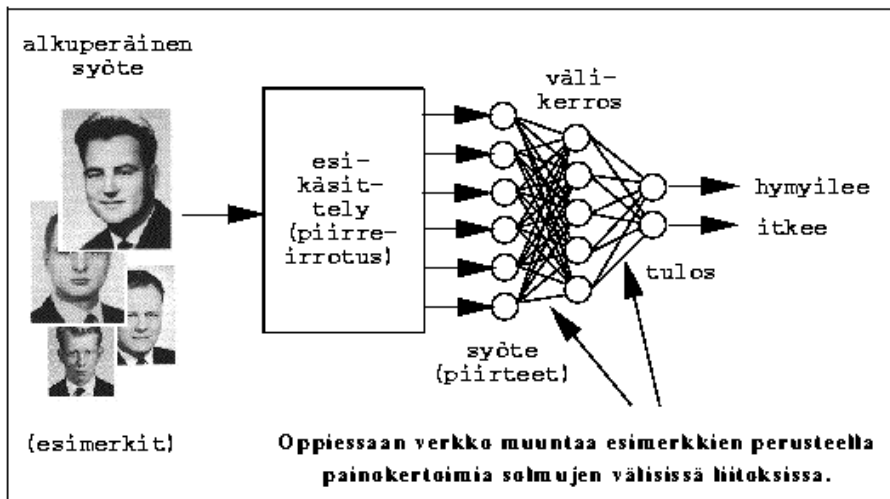
Neuraalilaskennan perusajatus on aivojen toiminnan soveltaminen ohjelmointiin. Neuroverkko on sellainen matemaattinen olio, joka koostuu "neuroneista"

ja niiden välisistä "synapseista". Käytännössä neuroni on jokin matemaattinen funktio (aktivaatiofunktio) ja synapsi on kerroin tai painokerroin, eli suomeksi sanottuna jokin numero. Neuroverkko on siis matemaattinen möhkäle, jossa vuoroin tehdään kertolaskuja, yhteenlaskuja ja jokin monimutkaisempi operaatio, jota nimitetään aktivaatiofunktioiksi. Muuttamalla verkon painokertoimia, voidaan vaikuttaa lopputulokseen, eli säätää neuroverkon käyttäytymistä ja täten opettaa neuroverkkoa. Yksinkertainen esimerkki neuroverkosta on Multi Layer Perceptron, MLP. (Ingo 2002).

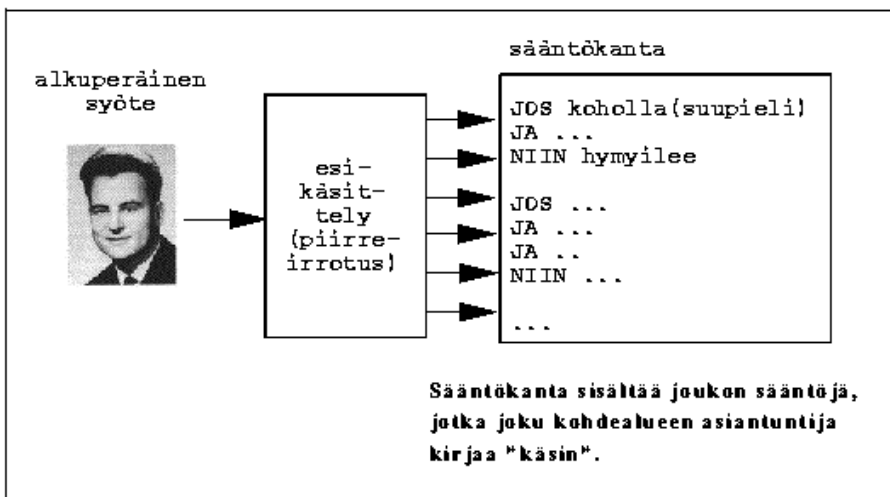
Tekoälyn alueella neuroverkkojen kilpaileva koulukunta perustuu ajatukseen siitä, että älykästä toimintaa voidaan onnistuneesti mallintaa käyttäen symbolisia eli kielellisen tason esitysmuotoja. Puhutaan symbolimanipulaatiosta. Neuroverkkoja opetetaan antamalla niille esimerkkejä kohteena olevasta ilmiöstä, kun puolestaan symbolisen tekoälyn malleja on tyypillisesti tehty "käsin". (Honkela). Neuroverkkoja ei ohjelmoida perinteisin menetelmin, kuten symbolimanipulaatiossa, vaan niitä opetetaan esimerkkien avulla. Opetus tapahtuu antamalla neuroverkolle syötteitä, jotka ilmaisevat erilaisia syötteiden yhdistelmiä. Näihin yhdistelmiin liitetään painokertoimen muutokset. Toistamalla opetusta, neuroverkko lopulta oppii löytämään erilaiset syötteiden yhdistelmät painokertoimien muutosten avulla. Näin neuroverkko oppii näkemään erilaiset yhdistelmät lukuisten syötteiden joukosta. (McLeod 2001: 278). Seuraavassa Honkelan artikkelista lainatussa kuvassa (11) on esitetty neuroverkkojen ja symbolimanipulaation eroja. Siinä on ensin kuvattu neuroverkkoratkaisu, jossa syötteinä on hymyileviä ja itkeviä kasvokuvia. Piirre-irrotuksen jälkeen, verkkoa opetetaan muuntamalla painokertoimia tiettyjen piirteiden mukaisesti. Toistamalla opetusta, neuroverkko oppii lopulta yhdistämään yhdistelmät lu-

kuisten syötteiden joukosta, joiden avulla selviää hymyileekö vai itkeekö syötteenä oleva kasvokuva. Sääntöpohjainen lähestymistapa kuvaa symbolimanipulaatiota, eli perinteistä ohjelmointia. Se sisältää laajan sääntökannan, jossa on esitetty ne säännöt, joiden avulla järjestelmä voi päätellä hymyileekö vai itkeekö syötteenä oleva kasvokuva.

NEUROVERKKORATKAISU



SÄÄNTÖPOHJAINEN LÄHESTYMISTAPA



Kuva 11. Neuroverkkojen ja symbolimanipulaation erot (Honkela).

6.5. Tulevaisuuden ydinpiirteet

Tietotekniikka on kehittynyt huimaa vauhtia sitten ensimmäisen tietokoneen keksimisen, mutta uhkana on, että kehitys tulevaisuudessa tasaantuu. Sekä laiteisto- että ohjelmistokehityksessä nykytekniikan rajat ovat tulossa vastaan. Tässä luvussa etsimme uusia tekniikoita, jotka voisivat edelleen mahdollistaa tietotekniikan huiman kehityksen myös tulevaisuudessa. Tutustuimme miten voisimme nanoelektroniikan avulla saada komponentit integroitua piirilevyille entistäkin pienempänä. Nykyisin simuloimme transistorin toiminnan piirilevyille, jolle luonnonlait asettavat tietyt rajat. Nanoelektroniikassa yritämme etsiä transistorin toimintaa luonnosta. Tutustuimme optisen tietokoneen mahdollisuuksiin. Nykyiset elektroniset tietokoneet kuluttavat paljon virtaa ja säteilevät paljon lämpösäteilyä. Optinen tietokone kuluttaisi 20 -kertaa vähemmän virtaa ja säteilisi vähemmän lämpöhäviöitä. Lisäksi se olisi sata kertaa nopeampi elektroniseen tietokoneeseen verrattuna. Tutustuimme myös kvanttietokoneeseen, joka toimiessaan mahdollistaisi todellisen rinnakkaislaskennan. Sen avulla voisimme ratkaista nykytietokoneelle mahdottomia laskutoimituksia. Lopuksi tutustuimme miten oppivat neuroverkot simuloivat aivojen toimintaa ja mullistaisivat ohjelmointimenetelmät. Nykyisin ohjelmointi tapahtuu symboli-manipulaation tavoin, eli joudumme kertomaan ohjelmalle kaikki pienimmätkin yksityiskohdat sille opettamastamme asiasta. Neuroverkot taas oppivat itse omien kokemustensa avulla.

7. YHTEENVETO

Tietotekniikka, joka tarkoittaa koneellista tiedon laskentaa, tiedon siirtoa, tiedon talletusta ja tiedon hakua, alkoi jo 4.000 vuotta sitten, kun Kiinalaiset keksivät helmitaulun, Abacuksen. Helmitaululla voitiin laskea yhteen, vähentää, jakaa sekä kertoa desimaali- ja kokonaislukuja. Historiasta löytyy myös laitteita, joihin tallennetulla tiedolla voidaan ohjata koneita. Näitä on esimerkiksi soitto-asiat, automaattipianot ja kellotaulut. Varsinainen koneellinen laskenta alkoi vuonna 1623, kun kehitettiin mekaaninen laskukone. Automaattiset (tai puoli-automatit) kudontakoneet veivät kehitystä eteenpäin, kun vuonna 1725 kehitettiin reikäpaperilla ohjattava kudontakone. Kudontalaitteista matkitun tekniikan avulla kehitettiin vuonna 1884 ensimmäinen tietokonetta muistuttava laite, reikäkorttikone. Niitä käytettiin lähinnä väestönlaskentaan. Reikäkortteihin voitiin tallentaa jokaisen ihmisen tiedot ja sitten reikäkortit voitiin laskea reikäkorttikoneella. Sillä pystyi myös tekemään hakuja tietyntyylisistä reikäkortteista eli ihmisistä.

M maailman ensimmäinen elektroniputkin Boolean algebraa hyödyntävä tietokone oli vuonna 1946 kehitetty ENIAC. Ensimmäinen kaupallinen tietokone oli vuonna 1951 kehitetty UNIVAC. Ensimmäiset tietokoneet olivat hankalasti ohjelmoitavia, sillä käskyt syötettiin niihin manuaalisesti, kytkimiä kääntelemällä. Ensimmäinen tietokone, jossa käskyt oli tallennettu sarjaan tietokoneen muistiin, oli vuonna 1949 julkistettu EDSAC. Suurten tietokoneiden aikakautena sekä laitteistot että ohjelmistot kehittyivät. Elektroniputket vaihdettiin transisto-

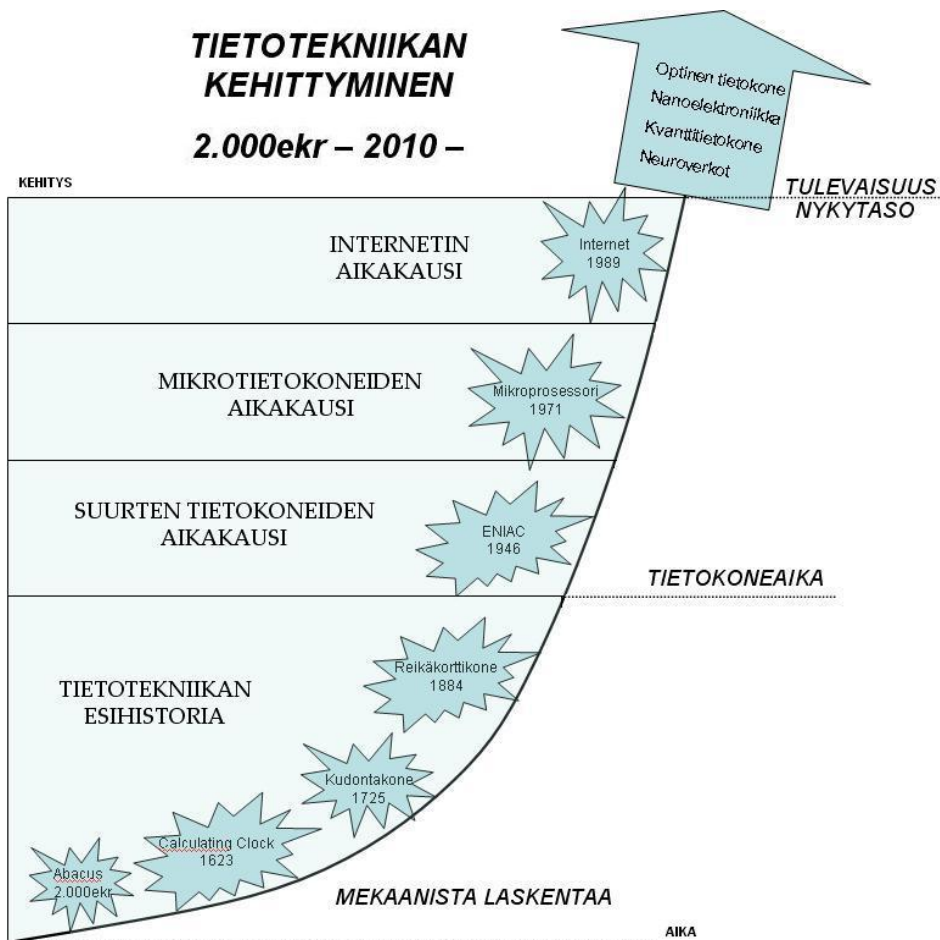
reihin ja ohjelmistot jakaantuivat järjestelmäohjelmistoiksi ja sovellusohjelmistoiksi. Kehitettiin myös erillään myytäviä ohjelmistotuotteita.

Puolijohdetekniikan kehityttyä opittiin integroimaan transistori piirilevylle, joka johti mikroprosessorin keksimiseen vuonna 1971. Sen jälkeen aina tähän päivään saakka mikroprosessorit ovat suunnilleen kaksinkertaistaneet tehonsa aina 18 kuukauden välein. Tämä johtuu puolijohdetekniikan kehittymisestä, joka mahdollistaa komponenttien pakkaamiseen aina vain pienempään tilaan piirilevylle. Tällä hetkellä yksi transistori vie vain noin 250nm tilan piirilevyltä. Myös ohjelmistoala on kehittynyt. On kehitetty uusia työkaluja ohjelmointiin, uusia ohjelmointikieliä sekä kehitetty erilaisia menetelmiä hallita suuria ja vaativia ohjelmistoprojekteja. Ketterät projektinhallintamenetelmät ovat olleet hyvin suosittuja ja tehokkaita suurissa ohjelmistoyrityksissä. Myös Internet on 1990 -luvulta lähtien entisestään kasvattanut tietotekniikan hyödyntämistä ja luonut uusia mahdollisuuksia käyttää tietotekniikkaa. Internetin luoma tietotekniikan kehittyminen tulee varmasti jatkumaan vielä pitkään, kun Internetille keksitään jatkuvasti uusia sovelluksia.

Tulevaisuudessa tietotekniikan kehittymisen esteenä näyttäisi olevan asioita, sekä laitteisto- että ohjelmistopuolella. Laitteistopuolella kehitystä jarruttaa tuotantotekniset vaikeudet valmistaa entistä pienempiä komponentteja piirilevylle. On hyvin kallista kehittää tällaisia tuotantolinjoja. Myös luonnonlait alkavat vaikuttaa komponenttien toimivuuteen, mikäli ne vielä pienenevät. Laitteistopuolella kehitystä saattaa edistää optinen tietokone, nanoelektroniikan kehittyminen tai kvanttietokone. Ohjelmistopuolella ongelmia aiheuttavat jatku-

vasti kasvavat ohjelmistoprojektit sekä jatkuvasti monimutkaistuvat vaatimukset. Ihmisen kyky hallita tulevaisuuden ohjelmistokehitystä on koetuksella. Ohjelmistopuolella kehitystä edistäisivät mm. oppivat neuroverkot.

Kuvasta 12 voimme nähdä yhteenvedona tässä työssä esitetyt suurimmat keksinnöt, jotka ovat vieneet tietotekniikan kehitystä eteenpäin. Siinä kehitys on jaoteltu tässä työssä esiteltyihin aikakausiin, joita aika-akselilla vastaa mekaaninen laskenta, tietokoneaika, nykytaso ja tulevaisuus.



Kuva 12. Yhteenvedo tietotekniikan kehityksestä.

8. POHDINTA

Vaikka varsinainen tietokone kehitettiin vasta 1940 –luvulla, osattiin koneellista laskentaa käyttää matemaattisena apuvälineenä jo paljon tätä ennen. Laskutikku ”Abacus” oli erittäin käyttökelpoinen väline ja luultavasti paljon nopeampi kuin 1600 –luvulla keksityt monimutkaiset mekaaniset laskimet. Silti mekaaniset laskimet veivät kehitystä paljonkin eteenpäin, sillä ne opettivat mekaniikan yhdistämistä koneelliseen laskentaan. Ohjelmoitavat kudontalaitteet 1700 –luvulla veivät kehitystä suuren harppauksen eteenpäin, sillä ne antoivat menetelmät tiedon käsittelylle siten, että niillä voitiin ohjata koneita. Reikäpaperin, joka sisälsi kudontakaavat, valmistus oli periaatteessa ohjelmointia. Kudontalaitteet loivat inspiraation yhdistää tiedon käsittely ja koneellinen laskenta. Tätä hyödynnettiin 1800 –luvulla keksityssä reikäkorttikoneessa, joita sovellettiin menestyksellä väestönlaskentaan. Kun opittiin Boolean algebran soveltaminen koneelliseen laskentaan, syntyi ensimmäinen tietokone. Tämän jälkeen laitteistopuolen kehitys on mahdollistanut tietotekniikan yleistymisen ja tietokoneiden tehon kasvun. Ensin siirryttiin elektroniputkista transistoreihin, sitten transistoreista integroituihin piirilevyihin. Näin laitteistojen hinta suhteessa tehon kasvuun on noudattanut Mooren lakia jo pian 50 vuotta. Mooren laki on mahdollistanut tietotekniikan halpenemisen, joka taas on mahdollistanut tietotekniikan yleistymisen. Mooren laki on myös mahdollistanut laitteistojen eksponentiaalisen tehon kasvun. Olemme kuitenkin pian vieneet nykytekniikan laitteistokehityksen loppuunsa ja tarvitsemme uusia tekniikoita, mikäli haluamme Mooren lain ja laitteistojen nopean kehityksen jatkuvan myös tulevaisuudessa.

Lähitulevaisuudessa optinen tietokone saattaa korvata elektroniset bitit valobiiteillä. Näin nykytietokoneen toimintaperiaate ei muuttuisi, mutta tiedonkäsitte-

ly nopeutuisi huomattavasti. Optinen tietokone olisi myös energiatehokas. NANOelektroniikan parissa tapahtuu jatkuvasti tutkimusta siitä miten voisimme taloudellisesti rakentaa tuotantolinjoja, jotka mahdollistaisivat entistäkin pienempien komponenttien integroinnin piirilevyille. Kvanttitietokone taas muuttaisi koko nykytietokoneen toimintaperiaatteen, vaikka se tuskin nykytietokonetta korvaisikaan. Kvanttitietokoneelta odotetaan kuitenkin paljon. Sillä voisi kehittää murtovarman salausmenetelmän, joskin se samalla murtaisi koko nykyisen tiedon salauksen. Sillä voisi myös mallintaa rajattoman suuria kokonaisuuksia, vaikka koko maailmankaikkeutta.

Myös ohjelmointimenetelmät ovat kehittyneet koko tietokoneiden historian ajan siten, että kehittyvistä laitteistoista on saatu kaikki hyöty irti. Uusia ohjelmointityökaluja ja menetelmiä on tullut kaiken aikaa. Kun Eniac:ia ohjelmoitiin manuaalisesti käsin, kytkimiä kääntelemällä (ykkösiksi ja nolliksi), muistuttaa ohjelmointi nykyään enemmän palapelin rakentamista, jossa komponenttikirjastosta valitaan valmiita toimintoja, jotka sisältävät tuhansia rivejä valmista ohjelmakoodia. Myös ohjelmistotuotannon menetelmiä on jatkuvasti kehitetty. Suuria projekteja voidaan hallita paremmin mm. ketterillä projektinhallintamenetelmillä. Myös tietotaitoa ja koulutusta on kehitetty. Ohjelmistoinsinööri ei periaatteessa valmistu koskaan koulusta, vaan hänen on jatkettava oman osaamisensa kehittämistä koko työuran ajan, sillä tietotekniikan teknologiat kehittyvät jatkuvasti. Internetin tuleminen 1990 –luvulla on myös vienyt kehitystä huikkeasti eteenpäin. Se on tehostanut tietotekniikan hyödyntämistä ja luonut kokonaan uutta liiketoimintaa. Internetin kasvava hyödyntäminen tulee luultavasti jatkumaan vielä pitkään. Ohjelmistokehityksen kasvavat vaatimukset taas alkavat tuottaa ongelmia. Jatkuvasti suurenevat ja monimutkaistuvat ohjelmis-

tot hipovat ihmisen kykyä hallita tulevaisuuden ohjelmistokehitystä. Joka tapauksessa ohjelmointimenetelmiä on kehitettävä myös tulevaisuudessa, että pystyisimme edelleen seuraamaan kehittyvää laitteistopuolta.

Tulevaisuuden ohjelmointi saattaakin perustua enemmän kuvausmenetelmiin (esimerkiksi laitteistokuvauskieli) kuin itse ohjelmakoodin kirjoittamiseen, jolloin koodauksen sijasta prosessi kuvattaisiin ja ohjelmointityökalu tuottaisi automaattisesti ohjelmakoodin. Oppivien neuroverkkojen avulla ohjelmoinnista olisi mahdollista päästä kokonaan eroon, jolloin ohjelmistot omaisivat tekoälyn ja osaisivat itse oppia ympäristöstään, kuten ihminen. Tällöin laatisimme ohjelmistoja opettamalla halutut toiminnot neuroverkkoihin.

LÄHDELUETTELO

Alisha (1999). *Computer Science With C++ Programming - Class Xi*. Mumbai: Allied Publishers. ISBN 8170239591.

Ali-Yrkkö, Martikainen (2008). *Ohjelmistoalan nykytila Suomessa*. Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: http://www.etla.fi/files/1921_dp1119.pdf>.

Augarten (1984). *Bit by bit: an illustrated history of computers*. Houghton Mifflin Co.

Backström (2000). *Helsingin yliopiston atk-osaston tiedotuslehti 1/2000*. Helsingin yliopiston atk-osasto. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://www.helsinki.fi/atk/lehdet/100/40vuotta.html>>.

Berman, Doolen, Mainieri, Tsifrinovich (1998). *Introduction to Quantum Computers*. Lontoo: World Scientific Publishing Co.

Bernstein, Buchmann, Dahmén (2009). *Post Quantum Cryptography*. Berliini: Springer. ISBN 3540887016.

Cusumano (2004). *The Business of Software*. New York: Free Press.

Dale, Lewis (2004). *Computer science illuminated*. Sudbury: Jones & Bartlett Learning. ISBN 0763707996.

- Facta (2010). *Tietopalvelu*. WSOY. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://www.facta.fi>>.
- Gartner (2008). *Gartner Says More than 1 Billion PCs In Use Worldwide and Headed to 2 Billion Units by 2014*. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=703807>>.
- Groves (2007). *Inventing the Computer*. New York: Crabtree Publishing Company. ISBN 0778728161.
- Gurney (1997). *An introduction to Neural Networks*. Lontoo: UCL Press.
- Haikala, Märijärvi (2006). *Ohjelmistotuotanto*. Helsinki: Talentum. ISBN 9521408502.
- Harding (2003). *The History Of Microprocessors*. Plymouth State University. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://oz.plymouth.edu/~harding/historymicro.html>>.
- Honkela. *Neuroverkot: johdatus moderniin tekoälyyn*. Teknillinen korkeakoulu, Neuroverkkojen tutkimusyksikkö. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://www.cis.hut.fi/~tho/stes/step96/honkela2>>.
- Ingo (2002). *Kollektiivinen ajattelu ja neuroverkot*. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://avoinelama.fi/hingo/filosofia/kollektiivinenajattelu.html>>.
- Kerola (2004). *Tietojenkäsittelytieteen historiaa*. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsit-

telytieteen laitos. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL:
http://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tktesittely/S2004_hist.pdf>.

Kotilainen (2007). *IBM:n läpimurto tuo superkoneen sirulle*. Tietokone 12/2007.
Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL:
http://www.tietokone.fi/uutiset/2007/ibm_n_lapimurto_tuo_superkoneen_sirulle>.

Luftman, Kempaiah (2007). *The IS organization of the future: The IT talent challenge*. Information Systems Management –lehden artikkeli.

McLeod, Schell (2001). *Management Information Systems*. New Jersey: Prentice-Hall Inc. ISBN 0130192376.

Morsch (2008). *Quantum bits and quantum secrets: how quantum physics is revolutionizing*. Wiley-VCH. ISBN 9783527407101.

Müller, Reinhardt, Strickland (1995). *Neural networks: an introduction*. Berliini: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 3540602070.

Ojanperä (2010). *Optinen kytkin on ällistytävään nopea*. Tietokone 3/2010. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL:
http://www.tietokone.fi/uutiset/optinen_kytkin_on_allistytavan_nopea>.

Paalanen (1998). *Nanotieteessä pieni on kaunista*. Tieteessä tapahtuu 2/1998. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL:
<http://www.tieteessatapahtuu.fi/982/paalanen.html>>.

Pietikäinen (2000). *Sulautetut järjestelmät*. Jyväskylän Yliopisto. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL:

http://tisu.it.jyu.fi/embedded/TIE345/vanhat_luentokalvot/prosari_2.pdf.

Randell (1982). *The Origins of Digital Computers*. Berliini: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 3540113193.

Rojas, Hashagen (2002). *The first computers: history and architectures*. MIT Press. ISBN 0262681374.

Salmenkivi (2000). *Tietojenkäsittelytieteen historia - seminaari*. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: http://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tkhist/k2000/alustukset/pascal/blaise_pascal.html>.

Siivonen (2001). *Charles Babbage ja Ada Augusta*. Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteen laitos. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: <http://www.cs.helsinki.fi/u/kerola/tkhist/k2001/alustukset/babbage/kalvoshow.ppt#1>>.

Suominen (2002). *Kvanttitietokoneessa jo seitsemän bittiä*. Julkaistu Tiede-lehdessä 6/2002. Saatavilla verkosta osoitteesta: <URL: http://www.tiede.fi/artikkeli/334/kvanttitietokoneessa_jo_seitseman_bittia>.

Tilastokeskus (2009). *Tieto- ja viestintätekniikan käyttö -tutkimus 2009*. Saatavilla

verkosta osoitteesta: <URL:

http://www.stat.fi/til/sutivi/2009/sutivi_2009_2009-09-08_tie_001.html>.

Tietotekniikan liitto (2004). *ATK-Sanakirja*. Helsinki: Talentum. ISBN 9521408693.

Tietotekniikan liitto (2010). *Tutkimusraportti – IT-barometri 2010*. Saatavilla ver-

kosta osoitteesta: <URL:

http://www.ttlry.fi/tuotteet_ja_palvelut/tutkimus_ja_tilastot2/it-barometri/>.

Valmonte (2003). *Whizkids Computer Literacy Program Xp Series Grade 2' 03 Ed.*

Manila: Rex Bookstore, Inc. ISBN 9712335828.

Wolf (2009). *Quantum nanoelectronics: an introduction to electronic nanotechnology and quantum computing*. Weinheim: Wiley-VCH. ISBN 3527407499.