

hyväksymispäivämäärä

arvosana

arvostelija

## **ENIAC**

Vesa-Matti Mäkinen

Helsinki 15. huhtikuuta 2004

Tietojenkäsittelytieteen historia -seminaari

Tutkielma

HELSINGIN YLIOPISTO

Tietojenkäsittelytieteen laitos

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Taustaa.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Koneen kehitys .....</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Koneen tekniikka .....</b>	<b>4</b>
4.1	Komponentit.....	5
4.2	Ohjelmointi.....	7
<b>5</b>	<b>Lopuksi.....</b>	<b>8</b>

## 1 Johdanto

Sota on aina kannustanut teknologiseen kehitykseen: toisen maailmansodan yhteydessä ilma-alusta mullistaneen tutkan ja suihkumoottorin lisäksi aseteknologian nopea kehitys johti maailman ensimmäisen digitaalisen tietokoneen rakentamiseen. [Ric97]

Ensimmäinen digitaalinen tietokone, Electronic Numerical Integrator And Computer, ENIAC, sai alkunsa USA:n armeijan puutteellisista valmiuksista tuottaa aseidenkooditaulukkoja uusille pitkän kantaman asetyypeille. Laskentaan erikoistuneen henkilöstön lisääminen ei ratkaissut ongelmaa riittävän tehokkaasti vaan yksittäisen laskennan suorittamiseen kuluva aika oli saatava lyhennettyä merkittävästi. Digitaalisen tietokoneen keksiminen ja valmistaminen tarjosi ratkaisun ongelmaan: valmistuttuaan ENIAC kykeni suorittamaan pöytälaskimen avulla 20 tuntia vieneen laskennan 30 sekunnissa. [Wei61]

Vaikka projektin päärahoituksesta vastanneen armeijan tavoitteet painottuivatkin asejärjestelmiä tukevaan laskentaan, oli koneen pääsuunnittelijoilla jo tällöin suuret visiot laitteen soveltamiskelpoisuudesta monen tieteenalan laskentatarpeisiin. Edes digitaalisen tietotekniikan pioneereilla ei kuitenkaan ollut käsitystä siitä, kuinka merkittävä heidän keksintönsä tulisi lopulta olemaan. [Wei61]

## 2 Taustaa

Vuonna 1939, toisen maailmansodan kynnyksellä, Yhdysvaltojen sotilaallinen valmius oli hyvin alhaisella tasolla – armeijan vahvuus oli vain noin 120 000 miestä. Sotateknologian kehitys oli keskittynyt pääosin taisteluvälineosaston (*Ordnance department*) *Aberdeen Proving Ground*-alueelle Marylandiin. Alue oli kehitetty alun perin ensimmäisen maailmansodan tarpeisiin ja toimi melko vanhan tekniikan varassa, mutta toimi edelleen pääasiallisena aseteknologian kehityspaikkana. [Wei61]

Teknologian kehityksen seurauksena tarve pitkän kantaman aseiden ja ilmavoimien asejärjestelmien maalien kohdelaskennalle korostui merkittävästi. Aberdeenissa toimiva *Ballistic Research Laboratory* työllisti tällöin pienen joukon matemaattisesti koulutettua siviilejä, jotka laskivat ampumistaulukkoja pääosin pöytälaskinten avustuksella. Taulukkoja laskettaessa tuli huomioida aseiden ja ammusten moninaisten ominaisuuksien lisäksi myös ympäristön olosuhteet kuten tuuli, ilman kosteus ja lämpötila. Vaikuttavien muuttujien suuren määrän johdosta 60 sekuntia lentävän ammuksen lentoradan mekaaninen laskenta vei taitavaltakin laskijalta noin 20 tuntia. Tarve laskennan tehostamiselle oli ilmeinen. [Wei61]

Tavallisten pöytälaskinten rinnalla Aberdeenin tutkimusalueella oli käytössä yksi analoginen tietokone: *Bush Differential Analyzer*. Tämän koneen avulla pöytälaskimen avulla 20 tuntia kestävä laskenta saatiin suoritettua noin 15 minuutissa. Koneen ongelmana oli kuitenkin heikko luotettavuus: laskennan suorittamiseen vaadittavan mekaanisten osien siirtovoiman tuottamiseen hyödynnetty väännönlisäyskomponentti (*torque amplifier*) vikaantui useasti raskaissa laskentatoimenpiteissä. [Wei61]

Pennsylvanian yliopistolla toimivalla *Moore School of Electrical Engineering* -laitoksella oli hallussaan taisteluvälineosaston konetta järeämpi *Bush Differential Analyzer*-kone, jonka käytöstä asetaulukkolaskentaan tehtiin sopimus vuonna 1940.

*Moore School* tarjosi tietokoneen lisäksi taisteluvälineosaston tutkimuskäyttöön myös laskentataitoista henkilöstöä ja yhteistyö yliopiston ja armeijan välillä oli muutenkin aktiivista. [Wei61]

### 3 Koneen kehitys

Tohtori John William Mauchly oli tutkinut elektronisten menetelmien ja putkitekniologian hyödyntämistä laskennassa jo 1930-luvulla. Kesällä 1941 hän järjesti *Moore School of Electrical Engineering*:n opiskelijoille koulutusta sotatoimia tukevilla sähkötekniikan osa-alueilla. Mauchly vakuutti *Moore School*:n tutkimushenkilöstön teknisellä asiantuntemuksellaan ja hänelle tarjottiin apulaisprofessorin paikkaa. Mauchly hyväksyi tarjouksen. [Ste81, s.7-10]

Vuonna 1942 Mauchly julkaisi kirjallisen arvion putkitekniologiaa hyödyntävän digitaalisen tietokoneen toteutusmahdollisuuksista. Mauchlyn raportti ”*The Use of High Speed Vacuum Tube Devices for Calculating*” ei tällöin herättänyt suurta kiinnostusta *Moore School*:n eikä armeijan taisteluvälineosaston taholla. Noin vuotta myöhemmin asetekniologian nopea kehitys muodostui kuitenkin ylitsepääsemättömäksi ongelmaksi: ampumistaulukkojen tuottaminen ei enää onnistunut vaaditussa aikataulussa. Tämä johti Mauchlyn raportin tarkempaan arviointiin ja lopulta neuvotteluihin hankkeen toteuttamisesta. [Ste81, s.14-15]

Kesäkuun seitsemäntenä 1943 allekirjoitettiin sopimus digitaalisen tietokoneen valmistamisesta erityisesti ampumistaulukkojen tehokkaaseen laskentaan. Koneen nimeksi päätettiin antaa Electronic Numerical Integrator and Computer, ENIAC. Kehityskustannuksiksi budjetoitiin ensimmäisen puolen vuoden ajalle \$61 700 kokonaiskustannusarvion noustessa aina \$150 000 asti. [Ste81, s.14-15]

Projektin johtoon nimettiin *Moore School*:n tutkimuspäällikkö John Brainerd, pääsuunnittelijaksi laitokselta vastikään valmistunut John Presper Eckert Jr., vastaavaksi konsultiksi John Mauchly ja armeija-yhteyshenkilöksi Herman Goldsteine. Eckert oli osoittanut opiskeluaikanaan etevyytensä monimutkaisten tieteellisten ongelmien hallinnassa erityisesti laskentaan käytettävien elektronisten piirien osalta. Goldsteine puolestaan oli ansioitunut matemaatikko, jolla oli jo ennestään vahvat yhteydet armeijan taisteluvälineosaston vaikuttaviin henkilöihin. Hän onnistui vakuuttamaan päättäjät laitteen toteutuskelpoisuudesta. [Ste81, s.10-15]

## 4 Koneen tekniikka

Vaikka ENIAC olikin ensimmäinen yleiskäyttöinen digitaalinen tietokone, hyödynnettiin siinä useita olemassa olevia teknisiä ratkaisuja: syöttö ja tulostus hoidettiin valmiilla IBM:n kehittämällä reikäkorttilaitteilla ja putket ostettiin valmiskomponentteina RCA-yhtiöltä. [Wei61]

ENIAC ei ollut periaatteellisellakaan tasolla aivan ensimmäinen laatuaan: 1940-luvun alussa John Vincent Atanasoff ja Clifford Berry olivat jo luonnostelleet putkitekniologiaa hyödyntävän ABC-tietokoneen rakennetta ja ENIAC-koneen kehitystyöhön osallistunut John Mauchly oli käynyt keskusteluja Atanasoff:n kanssa laitteen teknisistä yksityiskohdista. ABC-konetta ei kuitenkaan koskaan rakennettu loppuun asti, eikä laitetta alun perinkään suunniteltu yleiskäyttöiseksi tietokoneeksi. [Ste81, s.34]

Olemassa olevan tekniikan ja suunnitteluratkaisujen käytön johdosta ENIAC:n uutuusarvosta syntyi erimielisyyksiä, jotka johtivat lopulta koneen patentointikelpoisuuden arviointiin oikeudessa. Vuosina 1971-1973 käyty oikeudenkäynti päättyi lo-

pulta yllättävään tuomioon: ENIAC-koneen patentti todettiin laittomaksi. Huolimatta siitä, että ABC-konetta ei koskaan rakennettu valmiiksi asti, kuuluivat patenttioikeudet suunnitelmissa esiintyneiden teknisten ratkaisujen osalta, joita myös ENIAC-koneessa laajalti hyödynnettiin, Atanasoff:lle ja Berrylle. [Ste81, s.33-34]

## 4.1 Komponentit

ENIAC-kone oli nykyykoneisiin nähden valtava. Kone koostui yli 19 000 putkesta, 1500 releestä ja sadoista tuhansista muista pienkomponenteista. ENIAC painoi 30 tonnia ja kulutti 200 kilowattia virtaa. Kone täytti kokonaisen huoneen ja putkien tuottaman lämmön johdosta konehuoneen ilmastointi oli välttämätön. Monimutkaisen rakenteensa johdosta laitteen luotettavuuden ennakoitiin olevan suuri ongelma. Putkien ajoittainen särkyminen aiheuttikin lopulta käyttökatkoja, mutta laitteen nopeus nosti laskennan tuottavuutta niin paljon, etteivät ajoittaiset käyttökatkot heikentäneet koneen käyttökelpoisuutta merkittävästi. [Ric97]

ENIAC-kone käytti lyhytkestoisen muistin toteuttamiseen flip-flop -piireistä koostuvia rengaslaskurikomponentteja (*decade ring counter*). Kukin flip-flop piiri koostui kahdesta putkesta. Kullakin ajanhetkellä virta kulki toisen putken läpi, muttei koskaan molempien putkien läpi samaan aikaan. Virran kulkiessa ensimmäisen putken läpi oli piiri tilassa 1 ja virran kulkiessa toisen putken läpi tilassa 0. Rengaslaskuri koostui kymmenestä peräkkäisestä flip-flop -piiristä: täten yhdellä rengaslaskurilla voitiin kuvata yksi kokonaisluku väliltä 0-9. ENIAC-koneen suunnitteluvaiheessa rengaslaskurikomponentit päätettiin tuottaa kokonaan alusta John Presper Eckert Jr.:n suunnitelman mukaan. [Ste81, s.25-26]

Koneen aritmeettiset laskentayksiköt (*accumulator*) koostuivat kymmenestä rengaslaskurikomponentista sekä yhdestä lisälaskurista, jolla kuvattiin käsiteltävien luku-

jen etumerkkejä. Rengaslaskurikomponentit oli järjestetty jonoon siten, että kukin laskuri kasvatti edeltävän desimaalipaikan laskuria yhdellä ylittäessään maksimiarvon 9 sekä vähensi edeltävän desimaalipaikan laskuria yhdellä alittaessaan vähimmäisarvon 0. Rengaslaskurit huolehtivat täten väliaikaisarvojen tallennuksen lisäksi suoraan myös yhteen- ja vähennyslaskujen suorituksesta. ENIAC sisälsi yhteensä 20 aritmeettista laskentayksikköä joista yhteen- ja vähennyslaskussa hyödynnettiin aina kahta kerrallaan. [Wei61]

Kerto- ja jakolaskut sekä neliöjuurioperaatiot suoritettiin erillisissä yksiköissä (*high speed multiplier, divider, square rooter*). Kertolasku saatiin toteutettua hyvin tehokkaasti sisäänrakennettujen kertotaulujen avulla: laskenta eteni yksi desimaalipaikka kerrallaan ja vei aikaa yhden yhteenlaskun verran kutakin desimaalipaikkaa kohden. Lopullinen tulos saatiin desimaalipaikkakohtaisten tulosten yhteenlaskulla. Jakolasku ja neliöjuurioperaatio veivät huomattavasti enemmän aikaa, koska niiden toiminta ositettiin toistuviksi yhteen- ja vähennyslaskuiksi. [Wei61]

ENIAC-kone toimi täysin synkroonisesti – jokainen toiminto ajoitettiin koneen jakotusyksikön (*cycling unit*) lähettämien ohjaussignaalien avulla. Yksittäisen kellojakson pituus oli sama kuin yhden yhteen- tai vähennyslaskuoperaation kesto: 200 mikrosekuntia. Kaikki koneen toiminnot kestivät tietyn kellojaksomäärän verran ja alkoivat aina kellojakson alusta. Esimerkiksi kahden kymmendesimaalisen luvun kertolasku kesti 13 kellojakson verran: 2,6 millisekuntia. Koneen käynnistämisestä ja pysäyttämistä vastasi erillinen käynnistysyksikkö (*initiation unit*). Pääohjelmointiyksikkö (*master programmer*) huolehti käskyjen ohjaamisesta oikeille yksiköille ja tarjosi mahdollisuuden suorituksen hallintaan ajon aikana esimerkiksi vikojen etsinnän helpottamiseksi. [Wei61]

Koneen ohjelmointi tapahtui täysin manuaalisesti kytkinten ja yksiköiden välisten kaapelointien avulla. Siirrettävät kytkentätaulut (*function table*) tarjosivat mahdolli-



suuden ohjelmien suorituksessa tarvittavan muuttumattoman datan tallennukseen: tällaiset tiedot asetettiin kytkinten avulla ennen laskennan aloittamista. Mikäli koneen tallennuskapasiteetti ei riittänyt laskennan suorittamiseen, voitiin väliaikaistuloksia tallentaa reikäkorteille ja palauttaa käsiteltäviksi myöhemmin. [Ste81, s.26]

## 4.2 Ohjelmointi

ENIAC-koneen ohjelmointi oli todella työlästä. Ohjelman tarvitsemien syötteiden ja komentojen asettaminen kytkinten ja kaapelointien avulla vei usein päiviä, joskus jopa viikkoja. Koneen suunnitteluvaiheessa ohjelmoinnin automatisointia harkittiin, mutta ajatuksesta luovuttiin yksinkertaisuuden johdosta. Eräänä syynä oli myös se, että asetetun tilan avulla tehtiin yleensä paljon laskentaa ennen seuraavaan ongelmaan siirtymistä. [Ste81, s.29]

Syötteiden ja tulosteiden käsittelyyn valittiin IBM:n reikäkorttilaitteet. Tälläkin päätöksellä pyrittiin lähinnä yksinkertaisuuteen ja toimintavarmuuteen: korttilaitteet olivat huomattavasti muuta konetta hitaampia ja niiden käsittelyä varten jouduttiin toteuttamaan erilliset yksiköt, jotka puskuroivat tietoa koneen ja korttienkäsittelylaitteiden välillä. [Ste81, s.30]

Vuonna 1948 koneen ohjelmoinnin vaikeus ja ohjelmointityön määrä koettiin niin suureksi ongelmaksi, että konetta laajennettiin muuttamalla yksiköiden väliset kaapelikytkennät kiinteiksi aiemman ohjelmakohtaisen kaapeloinnin sijaan. Projektin pääsuunnittelijana toimi John von Neumann. [Wei61]

## 5 Lopuksi

Marraskuussa 1945, hieman alle kaksi ja puoli vuotta *Moore School*:n ja taisteluvälineosaston välisen sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen, ENIAC oli viimein valmis ja testauskunnossa. Projektin aikana toinen maailmansota oli jo päättynyt ja aseiden kohdistuslaskennan tarve laantunut. [Ste81, s.62]

ENIAC-koneen ensimmäinen testiajo suoritettiin Los Alamos-tiedelaboratoriossa. Koneella ratkottiin kehitteillä olevan uuden ydinaseen toteuttamiskelpoisuuden arvioinnissa tarvittavia monimutkaisia laskennallisia ongelmia. Laskennat saatiin päätökseen jo joulukuussa 1945. Salaisuusluokitusten johdosta laskennan yksityiskohdaisesta etenemistä ei ole saatavissa tietoja, mutta armeijan toimittaman raportin mukaan tulosten saaminen ilman ENIAC-konetta olisi ollut mahdotonta. Ongelmien monimutkaisuutta kuvaa hyvin myös syötteiden ja tulosten käsittelyyn vaadittu miljoonan reikäkortin tallennustila. [Ste81, s.62-63]

Vuoden 1946 aikana ENIAC-konetta käytettiin muun muassa asekohdistustaulukkojen laskentaan, ilmastoennustuksiin, astronomiseen laskentaan ja satunnaislukujen tutkintaan. Tammikuussa 1947 kone siirrettiin armeijan taisteluvälineosaston tiloihin ja sitä alettiin käyttää päätoimisesti asetaulukkojen laskentaan. Aina vuoteen 1955 asti ENIAC palveli taisteluvälineosaston laskentatehtävissä. Tällöin teknologinen kehitys ja uusien laitteiden hintojen lasku teki ENIAC-koneen ylläpidosta kannattamatonta. Lokakuussa 1955 ENIAC poistettiin käytöstä. Koneen kokonaispalveluaika, miltei 10 vuotta, on nykylaitteisiin verrattuna hämmästyttävän pitkä. [Ric97]

## Lähteet

- Gol03 Asaf Goldschmidt, Atsushi Akera, *John W. Mauchly and the Development of the ENIAC Computer*  
URL: <http://www.library.upenn.edu/exhibits/rbm/mauchly/jwmintro.html>  
8.4.2004
- Ric97 Kevin W. Richey, *The ENIAC, 1997*.  
URL: <http://ei.cs.vt.edu/~history/ENIAC.Richey.HTML>  
8.4.2004
- Ste81 Nancy Stern, *From ENIAC to UNIVAC*.  
Digital, Bedford (MA), 1981.
- Wei61 Martin H. Weik, *The ENIAC STORY, 1961*.  
URL: <http://ftp.arl.mil/~mike/comphist/eniac-story.html>  
8.4.2004.