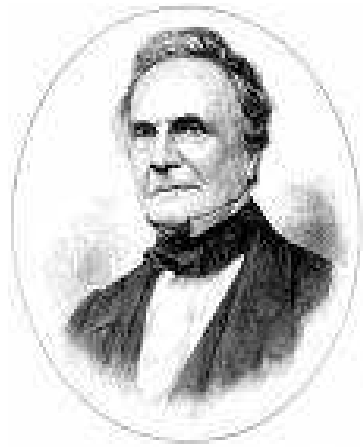


Hyväksymispäivä

Arvosana

Arvostelija



Charles Babbage, tietokoneen isä?

Riitta Piela

Helsinki 15.2.2007

Helsingin Yliopisto

Tietojenkäsittelytieteen laitos

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty/Section Matemaattisluonnontieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Tietojenkäsittelytieteen laitos	
Tekijä – Författare – Author Riitta Sinikka Piela			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Charles Babbage, tietokoneen isä?			
Oppiaine – Läroämne – Subject Tietojenkäsittelytiede			
Työn laji – Arbetets art – Level Seminaarityö		Aika – Datum – Month and year 26.2.2007	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 11
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Työssä tarkastellaan englantilaisen matemaatikon Charles Babbagen pioneerityötä nykyaikaisen tietokoneen mallin kehittäjänä ja miten hänen elämäntyönsä jatkoi mekaanisten laskimien muutamaa vuosisataa aiemmin käynnistynyttä kehityslinjaa. Vaikka Babbagen ohjelmoitavaa tietokonetta, analyttistä konetta, ei koskaan konkreettisesti rakennettukaan, sen toimintamalli eli vahvana elektronisten tietokoneiden kehityksessä.</p> <p>ACM Computing Classification System (CCS): K.4 [History of Computing]</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

1. JOHDANTO	1
2. ENGLANNIN DA VINCI	1
3. DIFFERENSSIKONE NUMERO 1	2
3.1. IDEAN SYNTY	2
3.2. DE PRONYN MALLI	2
3.3. INSINÖÖRITYÖN TAIDONNÄYTE	4
4. ANALYYTTINEN KONE	4
4.1. IDEA YLEISKÄYTTÖISESTÄ TIETOKONEESTA	4
4.2. KONEEN TOIMINTA	5
4.3. REIKÄKORTIT	6
4.4. LADY ADA	8
5. DIFFERENSSIKONE NUMERO 2	8
6. YHTEENVETO	9
LÄHTEET:	11

1. Johdanto

Kurkistettaessa ajassa taaksepäin löytyy menneisyydestä lähes kaikista kulttuureista mitä moninaisempia laitteita ja apuvälineitä numeerisen laskennan helpottamiseksi. Esimerkiksi viime vuosituhannen puolivälissä lähes kaikkialla maailmassa käytössä ollut helmitaulu, jota nykypäivänä pidämme lähinnä lasten leluna, oli osaavan käyttäjän käsissä tehokas laskennan apuväline. 1600-luvun alussa ympäri maailmaa levisi skotlantilaisen matemaatikon John Napierin (1550-1617) kehittämä metodi Rabdologia, paremmin tunnettu nimellä Napierin luut [Wil90]. Taulun ja tikkuihin upotettujen kertotaulujen avulla voitiin kertolaskut yksinkertaistaa yhteenlaskuiksi ja jakolaskut vähennyslaskuiksi.

Vaikka monilla analogisilla instrumenteilla kyettiin suoriutumaan erilaisista aritmeettisista ongelmista, varsinainen tietokoneen historia alkoi vasta ensimmäisten mekaanisten laskentalaitteiden myötä. Oliko ensimmäinen mekaaninen laskin munkki Gerbertin n. vuonna 1000 kehittämä laite? Varmempaa tietoa löytyy 1600-luvun alkupuolelta, jolloin Wilhelm Schickard kehitti Napierin luiden innoittamana oman laskukoneensa. Hänen laskukonettaan voitaneen pitää ensimmäisenä mekaanisena laskimena [Wil90]. Samalla vuosisadalla mekaanisten laskimien rakentajiin liittyivät vielä ranskalainen Blaise Pascal ja saksalainen Gottfried Wilhelm Leibniz.

1800-luvulle tultaessa automaattisen laskentakoneen kehittämiseen tarvittavat perusmekanismit ja ideat olivat olemassa, myös ohjelmoinnin kannalta tärkeät keksinnöt kuten Jacquardin kutomakone ja posetiivi tunnettiin kaikkialla. Charles Babbage (1791-1871) hyödynsi edeltäjiensä ideoita ja kehitti ohjelmoitavan tietokoneen loogisen mallin, joka monilta osin pätee myös tämän päivän moderniin digitaaliseen tietokoneeseen.

2. Englannin da Vinci

Charles Babbagen elämää voitaisiin tuskin kuvata ilman hänen koneitaan; niin vahvasti ne liittyvät hänen elämäänsä. Analyyttistä konetta hän suunnitteli ja

muokkasi lähes neljän vuosikymmenen ajan. Sitä ennen differenssikone oli jo yli kymmenen vuoden ajan ollut hänen työnsä keskipiste.

Matemaatikon koulutuksensa Babbage oli saanut Trinity Collegessa, Cambridgessa, jossa hän opiskeli vuosina 1810-1814. Hän oli kuitenkin myös paljon muuta kuin vain matemaatikko. Hän oli aikansa Englannissa myös vahva yhteiskunnallinen vaikuttaja, josta kertovat hänen jäsenyytensä monissa eri yhdistyksissä. Hän osallistui myös kansalliseen keskusteluun tieteen tilasta ja tiede-käsitteen laajentamisesta soveltaviin tieteisiin [Doz96, s. 13]. Ennen kaikkea Charles Babbage oli kuitenkin keksijä.

3. *Differenssikone numero 1*

3.1. *Idean synty*

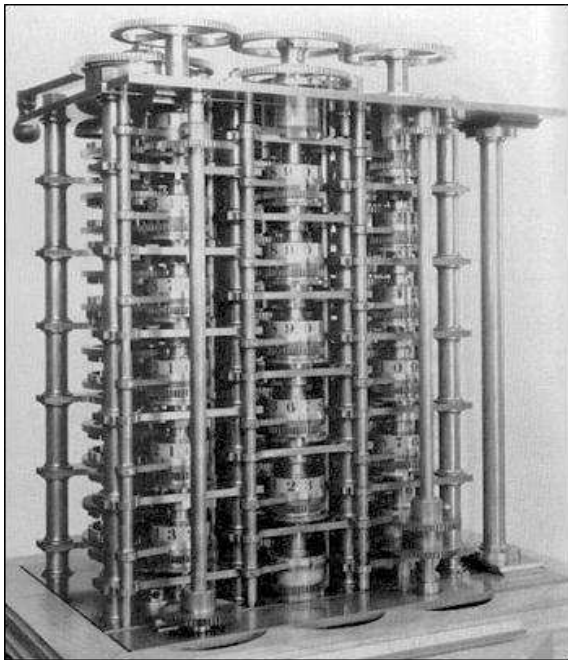
”Istuskelin kerran iltaa Analyyttisen seuran tiloissa, Cambridgessä, nojailien unenomaisessa tilassa edessäni olevaan pöytään, jolla oli avoinna logaritmitaulukko. Eräs seuran jäsenistä tuli huoneeseen, nähden minut puolinukuksissa, kysyen: ’No, Babbage, mitä sinä unelmoit?’. Johon vastasin: ’Ajattelen, että kaikki nämä taulukot (osoittaen edessäni olevia logaritmeja) voitaisiin laskea koneellisesti” [Hym84, s. 50]. Kuinka totta lieneekään tämä Babbagen muistelmista löytyvä selitys hänen differenssikonehankkeensa alkusysäyksestä, ainakin on varmaa, että taulukoiden laadinta Englannin Astronomiselle seuralle johti ensimmäisten kuvausten syntymiseen jonkinlaisesta laskentakoneesta. Tuolloin elettiin vuotta 1821.

3.2. *de Pronyn malli*

Babbage oli aiemmin, todennäköisesti vuonna 1819, matkoillaan tutustunut Gaspard Francois de Prony’in, École des Ponts et Chaussée’n johtajaan ja Ranskan johtavaan insinööriin. De Prony esitteli tuolloin Babbagelle kehittämänsä nerokkaan taulukoiden laskentametodin, jossa laskijat oli jaettu kolmeen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä muodostui puolesta tusinasta Ranskan parhaita matemaatikkoita. Heidän tehtävänään oli projektisuunnitelman laatiminen: numeerisen laskennan jakaminen pienen pieniin osiin, joihin valittiin kullekin taulukoitavalle funktiolle parhaiten sopivat analyttiset esitykset. Toinen ryhmä koostui 7-8 kelpo matemaatikosta, jotka muokkasivat edellisen ryhmän laatimat kaavat joukoksi lukuja. Nämä luvut jaettiin

sitten kolmannelle, tavallisista ihmisistä koostuvalle ryhmälle, joka suoritti varsinaisen laskennan; yhteen- tai vähennyslaskun, palauttaen sitten saamansa tulokset edellisen matemaattikoryhmän käyttöön [Hym84, s. 43]. Babbage oli niin vaikuttunut näkemästään, jolla monumentaaliset taulukot saatiin laskettua ennennäkemättömällä nopeudella ja tarkkuudella, että hän otti de Pronyn järjestelmän loogisen struktuurin oman differenssikoneensa perustaksi [Hym84, s. 44].

Babbage suunnitteli oman differenssikoneensa laskemaan numeerisia taulukoita. Laskentaan käytettiin tuolloin hyvin suosittua menetelmää ns. äärellisten differenssien metodia (method of finite differences) [Hym84, s. 54]. Menetelmän selvänä etuna oli, ettei kerto- eikä jakolaskuja tarvittu: pelkkä yhteenlasku riitti. Koneelle syötettiin laskutapahtuman alussa joukko lukuja, joihin kohdistettiin yhteenlaskujen sarja. Babbagen differenssikone oli laskennan lisäksi suunniteltu myös tulostamaan laskutoimitusten tulokset. Tulostus olikin muistinumeron käsittelyn ohella eräs vaikeimmin ratkaistavista ongelmista, johon Babbage kehitti vuosien varrella monia eri ratkaisuja. Muistinumero-ongelma, arvon siirtäminen yhteenlaskussa positiosta toiseen, taas oli ollut ongelma jo Leibnizin ja Pascalin koneissa, joista Babbage oli ottanut omaan koneeseensa idean lukujen tallentamisesta hammasrattaille [Hym84, s. 50].



Kuva 1: Osa ensimmäisestä differenssikoneesta [But97].

3.3. *Insinööriyön taidonnäyte*

Babbage joutui käyttämään paljon aikaansa myös teknisten osien ja teknisen osaamisen kehittämiseen, sillä differenssikoneen vaatima tarkkuus ja monimutkaisuus ei ollut toteutettavissa sen ajan teknologialla [SMU07]. Babbage palkkasi avukseen Joseph Clementin, taitavan työkalujen tekijän ja suunnittelijan, jonka avustamana differenssikoneen varsinainen rakentaminen lähti hyvään alkuun. Vuonna 1832 1/7-osa suunnitelmien mukaisesta differenssikoneesta oli valmiina. Kone oli aikansa varsinainen insinööriyön huippusaavutus. Clementin ja Babbagen tiet erosivat kuitenkin vuonna 1833 ja työ differenssikoneen parissa keskeytyi lopullisesti [SMU07]. Suunnitelmien mukaisessa täydellisessä differenssikoneessa erillisiä osia olisi ollut noin 25 000 ja se olisi painanut kokonaisuudessaan lähes 15 tonnia.

4. *Analyyttinen kone*

4.1. *Idea yleiskäyttöisestä tietokoneesta*

Jos Babbagen elämäntyö olisi jäänyt differenssikoneeseen, olisimme tuskin edes kuulleet hänestä. Babbage aloitti kuitenkin vuonna 1833 uuden suurisuuntaisen ja kunnianhimoisen hankkeen ns. ”analyyttisen koneen” rakentamiseksi. Analyyttinen kone oli varsinainen osoitus Babbagen visionäärin kyvyistä. Joskin hän oli ajatuksineen niin paljon edellä aikaansa, että ymmärtäjien löytäminen ja rahoittajien vakuuttaminen oli usein kovin vaikeaa.

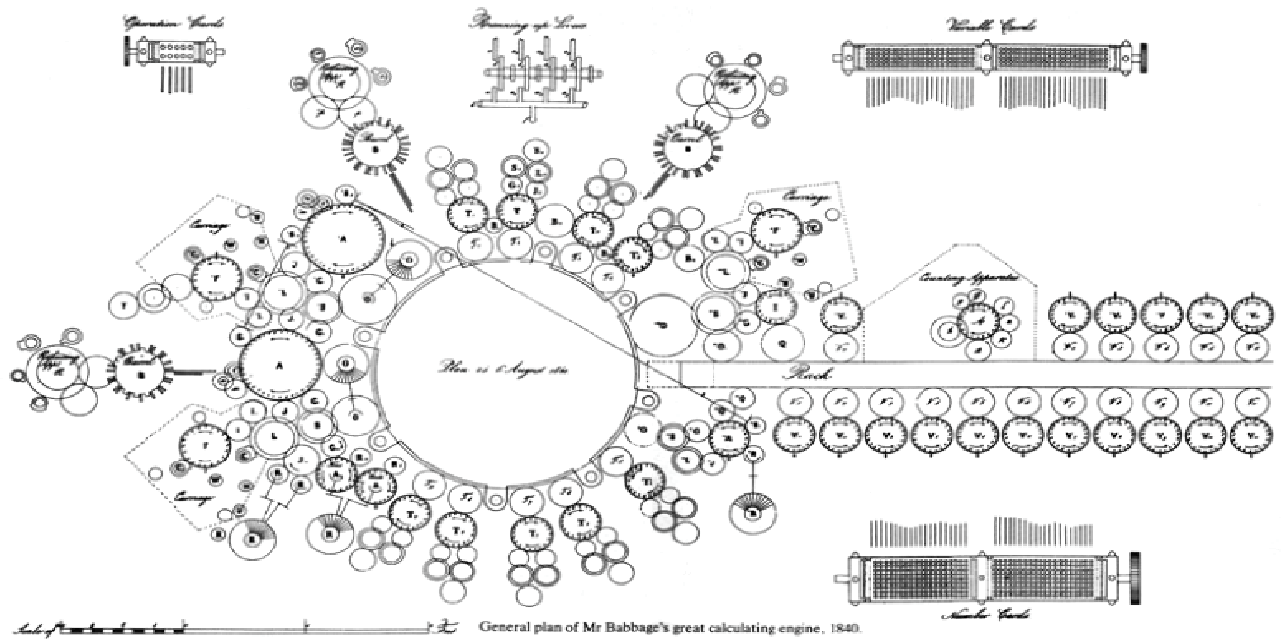
Differenssikoneessa oli ollut ainutlaatuista sen automaattisuus; se ei tarvinnut jatkuvaa vuorovaikutusta ihmisoperaattorin kanssa tuottaakseen halutun laskennallisen tuloksen [SMU07]. Koneessa ”ruumiillistuivat” matemaattiset säännöt ensimmäistä kertaa mekaanisessa muodossa. Differenssikone ei kuitenkaan ollut yleiskäyttöinen tietokone sanan nykyisessä merkityksessä, vaan se kykeni prosessoimaan vain tiettytyyppisiä matemaattisia taulukoita; sen suorittama ohjelma oli ”kovakoodattuna” sen ytimeen. Analyyttinen kone ei ollut ainoastaan automaattinen, vaan lisäksi myös yleiskäyttöinen. Se voitiin ohjelmoida suorittamaan käskyjä missä tahansa järjestyksessä. Kone oli suunniteltu laskemaan lähes kaikkien algebrallisten funktioiden arvoja. Se ei kuitenkaan missään vaiheessa ollut yksittäinen fyysinen kone, vaan sarja Babbagen luonnoksia, joita hän viimeisteli ja muokkasi

aina kuolemaansa saakka. Vuoteen 1836 mennessä Babbage oli piirtänyt toimistossaan jo satoja kuvauksia analyttisestä koneesta ja onnistunut hahmottamaan sen neljä perusosaa, joille löytyvät kaikille vastineet myös nykypäivän tietokoneesta: I/O-järjestelmä, mylly, varasto sekä hallinnointijärjestelmä [Hym84].

4.2. Koneen toiminta

Varasto muodostui joukosta akseleita, joista jokaisen päälle oli asetettu pino hammasrattaita. Jokainen ratas saattoi pyöriä vapaasti, riippumatta saman akselin muista rattaista. Yksittäinen akseli ilmensi yhtä varastoon tallennettua lukua ja jokainen sen rattaista luvun yhtä merkkiä [Hym84, s. 167]. Babbage oli pitkän harkinnan jälkeen lopulta päättänyt käyttämään koneessaan desimaalijärjestelmää ja rattaat oli numeroitu 0:sta 9:ään, lukuun ottamatta jokaisen akselin ylintä ratasta, jonka erikoistehtävänä oli ilmaista oliko luku positiivinen vai negatiivinen. Nykytietokoneista tuttu binäärijärjestelmä olisi ollut analyttisen koneen kaltaisessa toteutuksessa hyvin tehoton, sillä jokainen binäärimerkki olisi vaatinut oman rattaansa [Hym84, s. 168]. Lukuakselien lisäksi varastossa oli myös näihin yhteydessä olevia siirtoakseleita, joiden tehtävänä oli huolehtia muistinumeroiden siirrosta oikeaan positioon [Doz96, s. 266].

Muistinumeron tehokas siirtäminen oikeaan positioon oli vaatinut Babbagelta vuosien varrella kymmeniä erilaisia suunnitelmia ja kokeiluja. Lopulliseksi jäänyt ennakoivan muistinumeron ratkaisu oli eräs Babbagen keksinnöistä, jota käytettiin uudelleen hyväksi ohjelmoitavia tietokoneita kehitettäessä 1940-luvulla [Hym84, s. 172]. Samoin analyttisen koneen I/O-järjestelmä, reikäkortit ja tulostin, ennakoivat hyvin tulevaa kehitystä.



Kuva 2: Yleissuunnitelma analyttisestä koneesta vuodelta 1840 [Gru04].

4.3. Reikäkortit

Analyttisen koneen ohjelmat tallennettiin lävistämällä komennot kartonkisille reikäkortteille. Menetelmän Babbage oli saanut Jacquardin kutomakoneesta, jossa kuviot kutoutuivat kankaalle kutomakoneen lukemien reikäkorttien reikien mukaisesti. Jacquardin edeltäjän, ranskalaisen Falconin kutomakoneessa työmies oli alun perin syöttänyt koneeseen kortin kerrallaan. Kehitys kulki kuitenkin nopeasti eteenpäin ja ranskalaisen insinöörin Vaucansonin toimesta kortit ommeltiin kiinni toisiinsa ja syötettiin automaattisesti sekvensseissä kutomakoneen luettavaksi. Jacquard jatkoi maanmiestensä kehitystyötä ja kehitti kuuluisaksi tulleen kutomakoneensa, joka luki reikäkorttinauhaa automaattisesti ja kutoi mitä monimutkaisimpia kuvioita kankaaseen [Hym84, s. 166].



Kuva 3: Jacquardin kutomakoneen reikäkorttinauha [Pel07].

Babbagen analyyttisessä koneessa kortteja oli kolme päätyyppiä: operaatio-, numero- ja muuttujakortteja, joille kullekin oli koneessa oma erillinen lukijansa [FSB07]. Operaatiokorttien päätehtävänä oli hallinnoida myllyn toimintaa. Operaatiokorteista kone luki ne toimenpiteet, jotka myllyn tuli suorittaa. Näitä toimenpiteitä olivat esimerkiksi yhteenlasku, vähennyslasku, kertolasku ja jakolasku. Peruslaskutoimitusten lisäksi Babbagella oli joissakin luonnoksissa toimenpidekortteissa myös muita operaatioita [Hym84, s. 168]. Operaatiokortti oli fyysisesti korttityypeistä yksinkertaisin ja kooltaan pienempi kuin toiset analyyttisen koneen kortit; aritmeettisen perustoimenpiteen ilmaisemiseen riitti neljä reikää.

Korttien toinen päätyyppi, numerokortti, esitti numeerisia vakioita. Numerokortit sisälsivät yleensä edellisten laskutoimitusten tuottamia välituloksia, joita tallennettiin varastoon syöttötiedoiksi seuraaville toimenpiteille [FSB07]. Numerokortti oli korteista monimutkaisin. Se vaati yhden kymmenen reiän sarakkeen jokaista sisältämänsä luvun 50 merkkiä kohden. Lisäksi tarvittiin vielä yksi sarake luvun etumerkille.

Lukuarvojen siirtoa varastosta myllyn käsiteltäviksi ohjasivat muuttujakortit, välittäen argumentteja operaatioille. Muuttujakorttien tehtävänä oli myös palauttaa operaatioiden suorittamien laskutoimitusten tuloksia myllyn käsittelystä takaisin

varastoon sisältäen samalla myös akselin sijainnin, jolle siirrettävät lukuarvot tuli sijoittaa. Muuttujakortti sisälsi merkinnän myös mahdollisesta varaston akselin nollauksesta [FSB07].

4.4. *Lady Ada*

Vuonna 1833 Babbage tutustui lahjakkaaseen naispuoliseen matemaatikkoon Lady Ada Lovelaceen. Lady Adaa kiehtoi Babbagen ajatus yleiskäyttöisen tietokoneesta. Hän osallistui analyttisen koneen kehitystyöhön ja julkaisi vuonna 1843 Babbagen rohkaisemana artikkelin: *Observations on Mr. Babbage's Analytical Engine*, jossa hän kertoi omia näkemyksiään analyttisen koneen toiminnasta. Liitteessään hän kuvasi mm. kuinka analyttinen kone voitaisiin ohjelmoida laskemaan matemaattisia sekvenssejä, Bernoullin luvut. Lady Adan kuvausta Bernoullin lukujen laskemista on pidetty historian ensimmäisenä tietokoneohjelmana [TTH07].

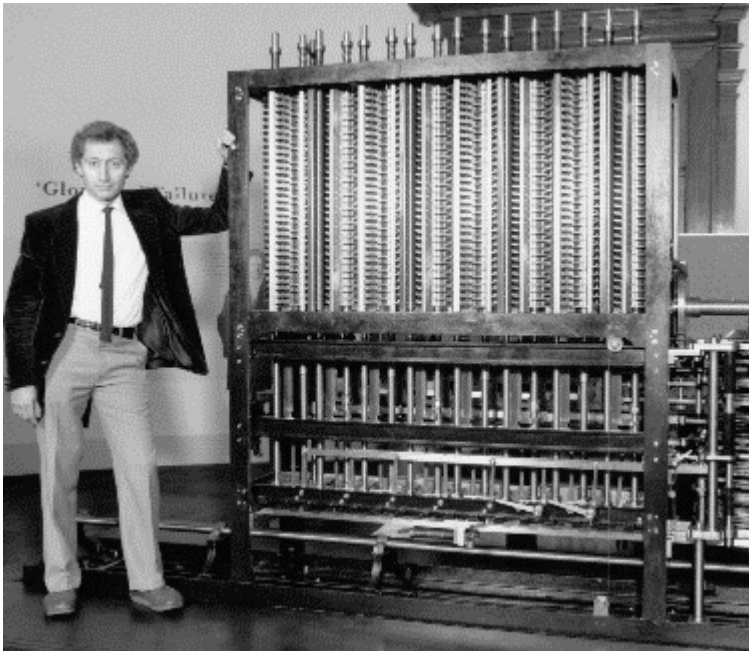
Lady Ada keksi myös täydentää analyttisen koneen toimintaa operaatioilla, jotka ehdosta ja muuttujien arvoista riippuen joko suorittivat seuraavan käskyn, tai jättivät sen suorittamatta, siirtyen suorittamaan jotain toista kohtaa reikäkorttinauhassa. Jos tietty ehto toteutuu, siirry annettuun ohjelmakohtaan [TTH07]. Analyttisen koneen toimintaideaan tämä lisättiin täydentämällä korttivalikoimaa yhdistelmä- ja indeksikorteilla.

Lady Ada uskoi suuresti analyttisen koneen mahdollisuuksiin, mikä kuvastuu hyvin hänen kuuluisaksi tullessa mietelauseessaan: ”Voidaan hyvin sanoa, että analyttinen kone kutoo algebrallisia kuvioita ja siinä missä Jacquardin kutomakone [kutoo kankaaseen] kukkia ja puiden lehtiä” [TTH07].

5. *Differenssikone numero 2*

Babbage palasi vielä vuonna 1847 muutamaksi vuodeksi differenssikoneideansa pariin hyödyntäen analyttisen koneen parissa tekemiään havaintoja. Differenssikone 2 olikin edeltäjäänsä huomattavasti yksinkertaisempi sisältäen kuitenkin saman laskutehon kuin edeltäjänsä. Differenssikone 2 oli ainoa Babbagen koneista joka kokonaisuudessaan näki päivänvalon. Charles Babbage ei kuitenkaan itse ollut tapahtumaa todistamassa. Koneen rakensi ryhmä insinöörejä Lontoon tiedemuseon

toimesta vuonna 1991, Babbagen syntymän 200-vuotisjuhlan kunniaksi [SMU07]. Aikaa rakentaminen vei peräti kuusi vuotta. Babbagen alkuperäisten suunnitelmien mukaan toteutettu kone koostuu 4000:sta osasta ja painaa yli 2,6 tonnia.



Kuva 4: Vuonna 1991 rakennettu differenssikone 2 [CSV07].

Yhdeksän vuotta myöhemmin, vuonna 2000, insinöörit saivat valmiiksi myös Babbagen differenssikone 2:een suunnitteleman jättimäisen tulostimen, jonka tehtävänä oli tulostaa automaattisesti differenssikoneen suorittamien laskujen tulokset. Differenssikoneen tavoin tulostimen toiminta todettiin täydelliseksi [BNB07].

6. Yhteenveto

Charles Babbage ei itse saanut valmiiksi ainoatakaan suunnittelemistaan koneista. Ongelmana ei kuitenkaan ollut hänen suunnitelmiensa ja ideoidensa puutteellisuus tai toimimattomuus, vaan niiden toteuttamisen vaikeus tuon ajan insinööritaidoilla. Mahdollisesti myös Babbagen hieman hankalaksi kuvattu luonne vaikeutti rakennushankkeiden konkretisoitumista. Analyyttinen kone olisi toteutuessaan ollut kooltaan valtava ja se olisi tarvinnut toimintansa avuksi myös jonkinlaisen höyrykoneen. Babbage itse näki kovin vähän vaivaa kerätäksään varoja analyttisen koneen rakentamiseen. Hän keskittyi mieluummin työskentelyyn halvempien ja tehokkaampien koneen osien kehittämiseksi.

Oliko Babbage nykyaikaisen tietokoneen isä vai vain iso-setä? Ainakin hänen maineensa tietokoneen esivanhempana on pitkälti ansaittu ja tunnetuksi hänet on tehnyt nykyaikaisen digitaalisen tietokoneen valtava maailmanlaajuinen menestys. Vaikka hänen käytännön saavutuksensa jäivät kovin vähäiseksi, hän oli ensimmäinen joka kykeni selvästi näkemään ne valtavat mahdollisuudet, joita laskennan koneellistaminen tulisi mahdollistamaan.

Charles Babbagella ei ollut välittömiä seuraajia ja Babbagen kuollessa, vuonna 1871, hänen suunnitelmansa matemaattisen laskennan automatisoimiseksi hautautuivat pitkälle seuraavan vuosisadan puolelle. Oletettavasti kuitenkin esimerkiksi Alan Turing tunsi hyvin Babbagen teorian yleispätevästä tietokoneesta ja se oli todennäköisesti myös yhtenä inspiraation lähteenä Turingin koneelle. Nature-lehti palautti Babbagen vuonna 1946 kaikkien tietoisuuteen julistamalla Babbagen unelman vihdoinkin toteutuneeksi, tällä kertaa Howard Aikenin luoman Amerikan ensimmäisen ohjelmoitavan tietokoneen, MARK I, muodossa [Doz96, s. 19].

Lähteet:

- BNB07 BBC News, *Babbage's printer finally runs*.
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/710950.stm>, [15.2.2007], 2007.
- Doz96 Dotzler, B., *Babbages Rechen-Automate*.
 Springer Verlag, 1996.
- FSB07 Fourmilab Swizerland, Babbage, *Analytical engine - Programming Cards*. <http://www.fourmilab.ch/babbage/cards.html>, [15.2.2007], 2007.
- Hym84 Hyman, A., *Charles Babbage - Pioneer of the Computer*.
 Oxford University Press, 1984.
- SMU07 Science Museum UK, *Babbage*.
<http://www.sciencemuseum.org.uk/on-line/babbage/index.asp>,
 [15.7.2007], 2007.
- TTH07 Tools for thought by Howard Rheingold, *The First Programmer was a Lady*. <http://www.rheingold.com/texts/tft/2.html>, [15.2.2007], 2007.
- Wil90 Williams, M., *Computing without Computers-Early Calculation*.
 Iowa State University Press, Ames, Iowa, 1990.
- But97 Butler, J., *Concepts in New Media*.
<http://www.tcf.ua.edu/AZ/DifferenceEngine.jpg>, [29.4.2007], 1997.
- Gru04 Grunschlag, Z., Columbia University, *Computability*.
<http://www1.cs.columbia.edu/~zeph/3261/images/BabbageAnalyticalEngine.gif>, [29.4.2007], 2004.
- Pel07 Pellacini, F., *Concepts in Computing*.
http://www.cs.dartmouth.edu/~fabio/teaching/cs4-winter07/notes/01_intro.html, [29.4.2007], 2007.

CSV07

Computer Science Virginia Tech, *Collection of Materials Relating to the History of Computing*. <http://ei.cs.vt.edu/~history/Babbage.2.html>, [29.4.2007], 2007.