

# Miten kuuhun päästiin ilman PowerPointia?\*

Mordechai (Moti) Ben-Ari  
Department of Science Teaching  
Weizmann Institute of Science  
Rehovot 76100 Israel  
moti.ben-ari@weizmann.ac.il  
<http://stwww.weizmann.ac.il/g-cs/benari/>

(Toimitus: Teksti julkaistaan käännettynä kirjoittajan luvalla. Tekstin käänsi prof. Mikko Tiusanen, Tampereen teknillinen yliopisto.)

## 1 Teknologian kehittäminen

Aloitetaanpa kuvauksella eräästä ensimmäisistä täyspäiväisistä työtehtävistäni:

Kehitin tiedonlouhintateknologiaa vahvistamaan yhtiöasiakassuhteita.

Koska tuo oli työpaikkani 1970-luvun alussa, en varmasti olisi kuvannut tehtäviäni näillä termeillä! Mitä itse asiassa tein oli:

Kirjoitin ohjelman, joka luki systeemin lokin, laski käytetyt keskusyksikköajat ja tulosti raportin, jonka avulla käyttäjiä pystyttiin laskuttamaan.

Huomaatte siis, että korkea teknologia ylipäätään ja tietojenkäsittely erityisesti ei alkanut 1990-luvulla, vaan me olemme tehneet tätä jo vuosikymmeniä. Uskon, että nykyopiskelijalle syötetään suuret määrät markkinointipropagandaa, joka väittää toisin, ja että he ovat täysin kadottaneet tieteenalamme historiallisen perspektiivin. Uskon edelleen, että meillä kouluttajina on vastuu hillitä kohua ja antaa opiskelijoille tukeva pohja tietojenkäsittelyn tieteellisissä ja teknisissä perusteissa.

Sain tämän puheen idean lukiessani paikallisen sanomalehden toisinaan ilmestyvää, korkeaa teknologiaa käsittelevää liitettä. Siinä on osuus, jossa kuvataan vasta-aloittavia yhtiöitä, ja poikkeuksetta nämä yhtiöt ”kehittävät teknologiaa”, vaikka, sikäli kuin lyhyistä kuvauk-

---

\*Powerpoint on Microsoft Corporationin rekisteröity tavaramerkki.

sista ymmärrän, ne ovat yksinkertaisesti suunnitelleet ja toteuttaneet laatikollisen elektroniikkaa tai tietokoneohjelman. Mitä siis on ”teknologia”? Tässä on äärimäinen näkökanta:

Pohjimmiltaan mikropiirit ovat vain tekninen parannus savitauluhin. Kirjoituksen keksiminen oli sen sijaan kokonaan uuden *teknologian keksiminen*. [3, s. 9]

Tällä määritelmällä on puolensa: muistatko vanhat elokuvat, joissa näkyy konekirjoitussaleja, täynnä riveittäin ihmisiä, tavallisesti naisia, jotka istuivat takomassa näppäimistöjä päivät päästään? Eipä ole nykytoimisto kovin paljoa noista ajoista muuttunut!

En menisi niin pitkälle, että väittäisin mikropiirien olevan pelkkä ”tekninen parannus”, mutta en varmasti suostu hyväksymään jokaista uutta laitetta tai ohjelmaa uudeksi teknologiaksi. Tässä on muutaman keksinnön lista, jotka luokittelisin uusiksi teknologioiksi: kuituoptiikka, soluverkkoviestintä, julkisen avaimen salakirjoitus, funktionaalinen ja logiikkaohjelmointi, pakettiprotokollat, vikasietoiset algoritmit. Se, mitä näillä kaikilla ”teknologioilla” on yhteistä, on niiden tuottama radikaalisti uusi tapa ratkaista ongelmia ja että ne piristivät tutkimusta ja kehitystä, jotka jatkuivat usean vuoden ajan.

## 2 Internetvallankumous?

Jos on yksi järjestelmä, joka ilmentää uutta korkean teknologian maailmaa, se on Internet. Se sallii meidän lähestyä ostoksia, viestien vaihtoa ja seksiä tavoilla, joilla emme ennen voineet. Kysykääpä opilailtanne, milloin Internet keksittiin: en olisi yhtään yllätynyt, jos heidän arvaustensa keskiarvo olisi noin 1990. On siis erittäin opettavaista todella katsoa Internetin merkkipaalujen aikajanaa. Nimeän vain muutaman suuren alkuaikojen merkkipaalun ja viittaan lähteeseen [10] tarkempia yksityiskohtia varten.

- 1961 – Leonard Kleinrockin ensimmäinen julkaisu pakettikytkennästä (*packet switching*).
- 1968 – Bolt Beranek and Newman, Inc. (BBN) sai pakettikytkinsopimuksen rakentaa kytkimiä (*Interface Message Processors, IMP*).
- 1969 – Yhdysvaltain puolustusministeriö (DoD) käynnisti ARPANETin tietoverkkotutkimuksena. Ensimmäiset paketit lähetti Charley Kline (UCLA) yrittäessään kirjoittautua sisään SRIhin; järjestelmä kaatui kirjaimen G kohdalla sanassa LOGIN.
- 1971 – Ray Tomlinson (BBN) keksi sähköpostiohjelman sanomien lähettämiseksi hajautetun tietoverkon kautta.
- 1973 – Bob Metcalfen väitöskirja (Harvard) hahmotteli Etherne-

tin perusidean. Sitä kokeili Xeroxin PARC Alto tietokoneillaan ja ensimmäisen Ethernet-verkon nimi oli *Alto Aloha System*.

- 1973 – Tiedostonsiirtomäärittely (*File Transfer specification*) ja verkkoääniprotokollan (*Network Voice Protocol*) määrittely julkaistiin.
- 1974 – Vint Cerf ja Bob Kahn julkaisivat ”*A Protocol for Packet Network Interconnection*,” joka määritteli yksityiskohtaisesti TCP:n (*Transmission Control Program*).

Seittiselaimet, suhteellisen uusi keksintö, ovat siis vain syntaktista sokeria erittäin kypsän teknologian päällä.

Totuuden nimessä on sanottava, että on perusteita pitää Internetiä uutena teknologiana. Vuosina 1993–4 kirjoitin ohjelman (anteeksi, kehitin teknologian) ja perustin yhtiön markkinoimaan sitä. Saadakseni Internet-yhteyden tarvitsin luvan Israelin viestintäministeriöstä, koska tuohon aikaan ainoat yhteydet olivat yliopistojen välisen keskittimen kautta, ja niin jouduin todistamaan olevani tutkimus- ja kehitystehtävissä! Itse asiassa tämä vain osoittaa, että esteet Internetin leviämiseksi olivat poliittisia ja taloudellisia, eivät teknologisia.

Monet visionäärit ovat antaneet suurellisia lupauksia langoitettusta tulevaisuudestamme, eikä vähiten entinen Yhdysvaltain varapresidentti Al Gore käsitteellään ”*information superhighway*”, tiedon supervaltaväylä. Seuraavassa esimerkki tällaisesta Michael Dertouzosin

(MIT) utopisesta visiosta:

Yhteinen, elektronisella läheisyydellä saavutettu sidos voi auttaa välttämään tulevia etnisen vihan purkauksia ja kansallisia hajaannuksia.

Tässä on muutamia lainauksia lisää. Tiedättekö milloin ne on kirjoitettu?

On mahdotonta, että vanhat epäluulot ja vihamielisyydet voisivat jatkua niin kauan kuin tällainen väline on luotu ajatustenvaihtoon kaikkien maailman valtioiden välille.

[Se] ei ehkä haittaa aikakauslehtiä, mutta pelkkien sanomalehtien pitää alistua kohtaolonsa ja lakata olemasta.

Kauppias menee kotiinsa raskaan ja jännittävän työpäivän jälkeen myöhäiselle päivälliselle, yrittäen perhepiirissä unohtaa liiketoiminnan, kun hänet keskeyttää [sanoma] Lontoosta, . . . , ja mies-parka joutuu suoriutumaan päivällisestään niin pikaisesti kuin mahdollista voidakseen lähettää sanomansa Kaliforniaan. Nykypäivän liikemiehen täytyy olla jatkuvasti valmis toimintaan[.]

Nämä ovat selvästi utopistisia visioita, joissa korkea teknologia tuo meille rauhan, veljeyden ja paperittoman toimiston, vaikkakin välitön viestintä läpi kaikkien

aikavyöhykkeiden tuleekin aiheuttamaan äärimmäistä stressiä työympäristössä.

Ja tässä on luonnehdinta alan johtavan yhtiön monopolistisista käytännöistä:

Ei ole yllättävää, että yhtiö piti osittaista monopoliaan myönteisenä. Sen sijaan, että olisi rohkaissut kehitystä, kilpailu yhtiöiden kesken oli aktiivisesti hidastanut sitä, väitti [toimitusjohtaja]. ... [Yhtiö] intti, että sen monopoli oli kaikkien parhaaksi, vaikka se olisi epäsuosittu, koska se rohkaisisi standardointia.

Tarkoittaako kirjoittaja Bill Gatesia ja Microsoftia?

Itse asiassa lainaukset ovat 1800-luvun puolenvälin sähköpalvelun käytön kommentaarista [8] ja monopolistinen toimitusjohtaja oli Western Union -yhtiön William Orton. Näin Thomas Standage luonnehtii sähköpalvelun alkuvaihetta:

Uusi viestintäteknologia salli ihmisten viestiä melkein välittömästi suurten etäisyyksien yli. Se mullisti liiketoimintakäytännön, synnytti uusia rikoksen muotoja ja peitti käyttäjänsä tiedon tulvalla. Romanssit kukkivat, salaisia koodeja laadittiin ja rikottiin. Verkon etuja liioittelivat keskeyttämättä sen kannattajat ja vähätelivät sen epäilijät. Hallitukset ja säätelijät yrittivät ja epäonnistui-

vat hallita tätä uutta viestintävälinettä. Teknologinen alakulttuuri omine tapoineen ja sanastoineen oli vakiintumassa [8, s. vii-viii]

Jos saan lainata Raamattua: ”Mitä on ollut, sitä on tulevinakin aikoina, mitä on tapahtunut, sitä tapahtuu edelleen: ei ole mitään uutta auringon alla.” [Saarnaaja 1:9]

Ohimennen, kannattaa huomata, että soluverkkoviestintä ei ole ollenkaan uusi teknologia. Ajatusta ehdotettiin ensin Bell Labsissä vuonna 1947, ja ensimmäisen puhelun kannettavasta soluverkkopuhelimesta, kännykästä, otti Martin Cooper (Motorola) 3.4.1973. Hän soitti Joel Engelille Bell Labsin tutkimusjohtajalle, jossa myös yritettiin kehittää tätä teknologiaa. Selvästikin tarvitaan aikaa ennen kuin teknologiat kypsyvät ja hyväksytään yleisesti, mutta vaikka soluverkkoviestintä on varmaankin merkittävä teknologia, ei se tarkoita, että lisäämällä kameran kännykään olisit luonut uuden teknologian. Tämä on vain tavallista kypsän teknologian kehittämistä ja meidän täytyy odottaa nähdäksemme, menestyykö se markkinoilla vai ei.

Haluan tehdä selväksi, etten ole luddiitti (*Luddite*). Luddiitit olivat englantilaisia työläisiä, jotka osoittivat mieltään teollisen vallankumouksen muutoksia vastaan, tuhoten villa- ja puuvillatehtaita 1800-luvun alussa. Britannian hallitus tukahdutti mellakat, teloittaen 17 miestä vuonna 1813. Siitä lähtien luddiitti on tarkoittanut henkilöä, joka vastustaa teknologian edistysaskeleita.

Saan elantoni tietokoneista ja olen aina saanut. Käytän säännöllisesti Internetiä enkä kestä eroa sähköpostistani kuin muutamana päivänä kerrallaan. Minulla on kaikki modernit vempaimet: kännykkä, Palm-Pilot ja kannettava tietokone. Minä en ole luddiitti. Sen sijaan uskon, että minulla on perspektiivi nähdä nämä vempaimet vain työkaluina eikä tienä utopiaan.

### 3 Tietojenkäsittelytiede

Valitettavasti uskon, että olemme myös hävittäneet perspektiivin tietojenkäsittelytieteeseen. Jokaista uutta järjestelmää toivotetaan uutena teknologiana, vaikka se voi olla vain koetellun teknologian uudelleenkoostamista. Otetaanpa esimerkiksi Java-ohjelmointikieli ja -järjestelmä. Ensinnäkin todettakoon, että vaikka Java ei olekaan mielikieleni, uskon sen olevan varsin hyvin suunniteltu ja käytän sitä laajalti opetuksessa ja ohjelmistotyökalujen kehityksessä. En kuitenkaan voi liittyä kokuun Javasta jonakin uutena; se on vain loistava kooste koeteltuja teknologioita, jotka ovat olleet käsillä vuosikymmeniä, kuten:

- kääntäminen virtuaalikoneelle – Pascal-P (1974),
- olio-ohjelmointi – Simula (1964),
- rinnakkaisuus ohjelmointikielessä – Concurrent Pascal (1974) ja
- kirjasto kielen sisällä – Smalltalk (1969).

Jopa kryptinen ulkoasu on otettu C-kielestä, joka kehitettiin 1971. Sikäli kuin tiedän, ainoa merkittävä keksintö Javassa on sen sisäänrakennettu tuki turvallisuudelle.

Jos katsomme uutta ACM/IEEE-ehdotusta tutkinnon rakenteeksi, näemme kasvaneen yksittäisten ohjelmistojen ja määrättyjen sovellusalojen korostuksen. Ehdotus jakaa ”tietojenkäsittelytieteen tietämyksen” seuraaviin 14 alaan [1]:

- diskreetit rakenteet,
- ohjelmoinnin perusteet,
- algoritmit ja vaativuus,
- arkkitehtuuri ja rakenne,
- käyttöjärjestelmät,
- verkkokeskeinen laskenta,
- ohjelmointikielet,
- ihmisen ja koneen vuorovaikutus,
- grafiikka ja visuaalinen laskenta,
- älykkäät järjestelmät,
- tiedonhallinta,
- sosiaaliset ja ammatilliset kysymykset,
- ohjelmistotuotanto sekä
- laskennallinen tiede ja numeeriset menetelmät.

Katsoessani yksityiskohtaista aiheistaa verkkokeskeisessä laskennassa, ihmisen ja koneen vuorovaikutuksessa, grafiikassa ja visuaalisessa laskennassa, älykkäissä järjestelmissä, tiedonhallinnassa ja ohjelmistotuotannossa, löydän sentään kustakin muutaman kohdan, jolla on merkittävää tieteellistä sisältöä, mutta useimmat kohdat käsittelevät rajattuja sovellusaloja ja ohjelmistoja, jotka varmaankin vanhenevat. Tiedän opiskelijoiden pitävän näitä ”uusina teknologioina”, mutta näkisin paljon mieluummin heille opetettavan enemmän perustietojenkäsittelytiedettä ja matematiikkaa, lisäksi vielä peruskäsitteitä muiltakin aloilta, kuten elektroniikasta tai taloustieteestä. Mieleeni tulee avaruus- ja ilmailualan yhtiön projektipäällikkö, joka kerran kertoi minulle, että hänen kokemuksensa mukaan on helpompi opettaa tietojenkäsittelyä fysiikkaa pääaineena lukeneelle kuin fysiikkaa tietojenkäsittelyä pääaineena lukeneelle.

## 4 Miten päästiin kuuhun?

Lupasin puhua kuusta ja nyt minun on aika täyttää tuo lupaus. Tässä on lainaus NASA:n seittisivulta (<http://history.nasa.gov/ap11ann/introduction.htm>):

20. heinäkuuta 1969 ihmiskunta saavutti kaikkien aikojen suurimman yksittäisen teknologisen saavutuksen, kun ihminen ensi ker-

ran laski jalkansa toiselle taivaankappaleelle. Kuusi tuntia laskeutumisen jälkeen, kello 16.17 EDT (alle 30 sekunnin verran polttoainetta jäljellä), Neil A. Armstrong otti ”pienen askeleen” suureen tulevaisuuteen, kun hän astui alas kuumodulista nimeltä ”Eagle” kuun pinnalle, mistä hän saattoi ylös katsoonsaan nähdä maan kuin kukaan muu ei ennen häntä ollut nähnyt.

Vaikkakin teksti on vähän kukkaikeiltä, olen samaa mieltä että tämä oli ”suurin yksittäinen teknologinen saavutus”. Tarvitsee vain miettiä, miltä on mahtanut tuntua istua massiivisten rakettien kärjessä ja jättäytyä monimutkaisten taivaallisen mekaniikan laskelmien varaan jokaisessa erialusten ja taivaankappaleiden kohtaamisessa. Se, että kuusi seitsemästä yrityksestä laskeutua kuuhun oli täysin onnistunutta, on suorastaan hämmästyttävää.

Siispä, miltä näytti Apollo-raketin tietokonejärjestelmä [9]. Nimeltään *Apollo Guidance Computer*, se oli ”varsin tiivis paketti” ja painoi vain 32 kiloa! Yhden käskyn suoritus vei kaksi konejaksoa—noin 24 millisekuntia eli 83 kHz—ja tietokoneessa oli 36 kilosanaa kiinteää muistia ja 2 kilosanaa muutettavaa muistia. Ihan vain vertailun vuoksi: vaadin pomoani ostamaan minulle uuden Pentium 4 tietokoneen 256 megatavun muistilla; muuten en olisi pystynyt ajamaan tiettyjä uusia Java-pohjaisia opetusohjelmia. Kiinteää muis-

tia (*core rope*) oli mahdotonta muuttaa sen lähdettyä tehtaalta, joten ohjelmisto piti toimittaa kuukausia ennen lähtöä tuotantoa ja sähköistä testausta varten, asettaen pääpainon laadukkaan ohjelmiston tekemiseen ilman hakkerointia. Ja kuitenkin tällä tietokonejärjestelmällä NASA suoritti ”kaikkien aikojen suurimman yksittäisen teknologisen saavutuksen”!

Uskon, että sen sijaan, että korostaisimme uusia korkean teknologian tuotetikkelleita, ja sen sijaan, että panisimme opiskelijamme kirjoittamaan suuria ohjelmia koreilla käyttöliittymillä ja seittisivuilla, meidän pitäisi korostaa perusteita. Avaruuslentojen tietojenkäsittely tarjoaa monia kiinnostavia tapauksia, joita voi käyttää tietojenkäsittelytieteen opetuksessa.

- Ensimmäisen kuuhun laskeutumisen aikana kolme tietokoneen uudelleenkäynnistystä 40 sekunnin jakson aikana aiheutti varoitusvalojen syttymisen. Ohjelmisto oli katsonut tärkeiksi keskeytykset, jotka toteuttivat laskurien kasvatuspyynnöt, ja kohtaamistutka aiheutti niin monia keskeytyksiä, että 15% järjestelmän laskentakapasiteetista oli sidottu näiden palvelemiseen. NASA:n insinöörit tunnistivat ongelman lähteen ja sallivat laskeutumisen jatkua [9].
- Avaruussukkulan ensimmäinen lento peruutettiin johtuen synkronointiongelmasta ensisijaisen ja varatietokonejärjestelmän kesken. Sen

syyksi paljastui kahden vuorotus-algoritmin keskinäinen ristiriitaisuus, joka pulpahti pinnalle, kun ohjelmistomuutokset rikkoivat oletuksen siitä, että eräs prosessi suoritettaisiin ensin. Jos tietokone kytkettiin päälle 15 ms aikaikkunassa kunkin sekunnin sisällä, ongelma toistuisi. Ratkaisu oli yksinkertaisesti kytkeä tietokone pois päältä ja sitten taas päälle [7].

- Mars Pathfinder -lennon aikana nopeasti toistuvat uudelleenkäynnistykset aiheuttivat kerätyn datan menetyksiä. Syyksi havaittiin *käänteisprioriteetti-ongelma*, joka aiheutti sen, ettei korkeaprioriteetista tiedonhallintaprosessia saatu valmiiksi ajoissa. Ohjelmisto alustettiin uudestaan käyttämään *prioriteetin perintää* [6] ja ongelma ratkesi [4].
- Historian todennäköisesti kallein ohjelmointivirhe oli se, joka aiheutti ranskalaisen Ariane 5 raketin räjähtämisen neitsytlennollaan. Raketin tietokonejärjestelmä käytti osin Ariane 4:n ohjelmistoa, mutta oletukset, jotka olivat siellä olleet tosia, eivät enää pitäneetkään paikkaansa [5, 2].

Nämä tapaukset ovat opettavaisia, eivät vain niiden teknisen sisällön vuoksi, vaan myös koska ne nostavat esiin testauksen ja luotettavuuden ongelmia, jotka usein ohitetaan vähin äänin, kun työpöytäsovelluksia kehitetään.

## 5 No kuinka päästään kuuhun ilman Powerpointia?

Tämän puheen kalvoesitys kirjoitettiin  $\LaTeX 2_{\epsilon}$ :llä käyttäen Prosper-tyylitiedostoa.  $\LaTeX 2_{\epsilon}$  lähdetiedostot ladottiin pdf-muotoon käyttäen kaupallista järjestelmää VisualTeX. Nämä pdf-tiedostot pakattiin WinZip-ohjelmalla ja näytettiin käyttäen Acrobat Reader-ohjelmaa.

### Viitteet

- [1] ACM/IEEE-CS. Computing curricula 2001: Computer science volume. <http://www.acm.org/sigcse/cc2001>, 2001.
- [2] Mordechai Ben-Ari. The bug that destroyed a rocket. *Journal of Computer Science Education*, 13(2):15–16, 1999.
- [3] Florian Coulmas. *The Writing Systems of the World*. Basil Blackwell, Oxford, UK, 1989.
- [4] Mike Jones. What really happened on Mars Rover Pathfinder. *The Risks Digest*, 19(49), 1997. <http://catless.ncl.ac.uk/Risks/19.49.html>.
- [5] J. L. Lions. Ariane 5 flight 501 failure: Report by the inquiry board. <http://ravel.esrin.esa.it/docs/esa-x-1819eng.pdf>, 1996.
- [6] L. Sha, R. Rajkumar, and J. P. Lehoczky. Priority inheritance protocols: An approach to real-time synchronization. *IEEE Transactions on Computers*, 39:1175–1185, 1990.
- [7] Alfred Spector and David Gifford. The Space Shuttle primary computer system. *Communications ACM*, 27(9):874–900, 1984.
- [8] Thomas Standage. *The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century's On-line Pioneers*. Walker Publishing Company, New York, 1998.
- [9] James E. Tomayko. Computers in spaceflight: The NASA experience. <http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/computers/CompSPACE.html>, 1988.
- [10] Robert H. Zakon. Hobbes' Internet timeline. <http://www.zakon.org/robert/internet/timeline>, 2002.