



Logiikan historia ja tulevaisuus

Arkipuheessa "logiikalla" tarkoitetaan usein yksinkertaisesti järkeilyn tapaa tai ajattelun johdonmukaisuutta. Filosofissa sen merkitys määritellään tarkemmin, mutta yksimielisyyttä sen rajoista ei vallitse. Filosofian historiassa logiikka on näytellyt keskeistä osaa, ja se kuuluu edelleen kiinteästi filosofian opetusohjelmiin. Nykyään se on pitkälle erikoistunut systemaattinen tutkimusalueensa, jonka asemasta ja mahdollisuuksista sekä suhteesta filosofiaan tai tieteisiin käydään aktiivista keskustelua. Myös logiikan historia on löytänyt paikkansa ajatusten vaihdossa. *niin & näin* -lehden teema-artikkelit johdattavat muutamiin logiikan historian vaiheisiin sekä sen nykyisiin ja tuleviin haasteisiin.

Kuva: Verna Jääskinen, *Virta*

Aristoteles (n. 350 eKr.)

Länsimaisen muodollisen logiikan perustajahahmo. Tämä maine perustuu ennen muuta Aristoteleen teokseen *Ensimmäinen analytiikka*, jossa hän esittelee teoriansa loogisesti sitovista syllogistisista päätelmättyypeistä ja kehittää sitä edelleen kaiken järkipäisen ajattelun yleiseksi apuvälineeksi. Erikseen on hyvä huomata, että Aristoteles analysoi taitavasti ristiriidan käsitettä ja keksi niin muodoin epäsuoran todistuksen.

Aristoteleen logiikkaa ja kieltä koskevat ajatukset sisältyvät hänen kirjoituksiinsa *Kategoriat*, *Tulkinnasta*, *Ensimmäinen analytiikka*, *Toinen analytiikka*, *Topiikka* ja *Sofistiset kumoamiset*. Ne ovat perusklassikkoja myös tieteenfilosofian alalla. (Ks. Aristoteles *Teokset, osat I ja II.*) (RV)

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716)

Pohti universaali kielen mahdollisuutta ja ehdotti sellaisen eksaktin keinotekoisien kielen kehittämistä, jossa inhimillinen ajattelu palautuisi sarjaksi laskutoimituksia. Löydettyään binäärisen merkintätavan, jonka avulla mikä hyvänsä luku on ilmaistavissa pelkästään numeroilla 1 ja 0, Leibniz ryhtyi kehittämään ajatusta logiikan algebrasta, jossa kaikki logiikan käsitteitä hallitsevat säännöt olisivat määriteltävissä samaan tapaan kuin lukujen käsittelemisen säännöt tavallisessa algebrassa.

Leibniz työsti tätä ajatustaan monissa hahmotelmissa, mutta ei onnistunut kehittämään sitä valmiiksi formaaliseksi järjestelmäksi. (Ks. esim. Leibnizin ns. plus-miinus-kalkyyli kirjoituksessa "Non inelegans specimen demonstrandi in abstractis" (1687).) (RV)

George Boole (1815–1864)

Pani alulle nykyaikaisen matemaattisen logiikan kehityksen. Systematisoimalla logiikan ja joukkojen algebran välisen

yhteyden Boole todisti lopullisesti, että loogista päättelyä voidaan käsitellä matemaattisesti. Leibnizin alustavia tuloksia tuntematta Boole otaksui, että logiikan algebra on täsmälleen sama kuin kaksiarvoinen lukuihin 1 ja 0 rajoittuva tavallinen algebra.

Toisin kuin Leibniz, Boole onnistui hiomaan oman järjestelmänsä täysin valmiiksi ja siten tiettyssä mielessä saavutti Leibnizin tavoitteleman järjenkäytön laskentasaäntöjen yleiskalkyylin (*calculus ratiocinator*). On kuitenkin syytä panna merkkille, että aksiomaattis-deduktiivisesta näkökulmasta katsottuna Leibniz oli Boolea "nykyaikaisempi" loogikko. Boolean tärkeimmät teokset ovat *The Mathematical Analysis of Logic* (1847) ja *An Investigation of the Laws of Thought* (1854). (RV)

Charles Sanders Peirce (1839–1914)

Kandidaatin tutkinto (Harvard). Logiikan lehtori Johns Hopkins -yliopistossa 1879–1884. Assistentti ja fyysikko Yhdysvaltain rannikko- ja maanmittausvirastossa (1859–1891). Vapaa tutkija, loogikko, filosofi, tietentekijä ja kirja-arvioija (1884–).

Kirjoitti huikeman määrän tutkielmia (n. 100 000 käsikirjoitussivua) mm. matemaattikasta ja sen perusteista (analyysi, algebra, geometria, topologia, joukko-oppi), loogikasta (tieteenfilosofia ja logiikka, päättely, logiikan algebra, totuustaulut, kvantifikaatioteoria, kolmiarvologiikka, diagrammit), filosofiasta (pragmatismi, merkkitheoria, merkitys, fenomenologia, evoluutio, usko ja epäily), fysiikasta (mittaustiede, tähtitiede), kemiasta, psykologiasta, tieteen historiasta, talous- ja kielitieteistä.

Vaikutti käänteentekevällä tavalla modernin logiikan ja filosofian myöhemmän kehitykseen. Peircen ansiota on, että pragmatismi on noussut yhdeksi suurista filosofian virtauksista. (ks. esim. *Writings of Charles S. Peirce: A Chronological Edition*, 1982–; *Essential Peirce*, 1993–). (AP)

Georg Cantor (1845–1918)

Keksi nykyisen matemaattisen analyysin perustana olevan joukko-opin. Jo uransa alkupuolella Cantorin onnistui todistaa, etteivät kaikki äärettömät joukot (esim. luonnollisten lukujen joukko ja reaalilukujen joukko) ole saman kokoisia. Eräs Cantorin kuuluisimmista otaksumista on yhä

vielä lopullista ratkaisuaan odottava kontinuumihypoteesi, jonka mukaan ei ole olemassa yhtään ääretöntä joukkoa, joka olisi mahtavuudeltaan suurempi kuin luonnollisten lukujen joukko mutta pienempi kuin reaalilukujen joukko. Tämän hypoteesin keksittyään Cantor ryhtyi kehittämään niin sanottua transfiniittista aritmetiikkaa, joka merkitsi mullistusta perusteiden tutkimuksen alalla ja laajensi huomattavasti siihen asti tunnettua matemaattista todellisuutta.

Cantorin tulokset jakoivat matematiikan perusteista kiinnostuneet tutkijat 1900-luvun alussa ainakin kolmeen eri leiriin (finitistit, intuitionistit ja transfinitistit). Hänen keskeisiä kirjoituksiaan on koottu esimerkiksi teokseen *Contributions to the Foundations of the Theory of Transfinite Numbers* (1941). (RV)

Gottlob Frege (1848–1925)

Yksi nykyaikaisen logiikan tärkeimmistä arkkitehdeista. Toteutti osan Leibnizin unelmasta muotoilemalla esikoisteoksessaan *Begriffsschrift* (1879) ensimmäisen loppuunsa kehitetyn formaalisen järjestelmän, joka kattoi kaiken klassisessa matemaattikassa esiintyvän loogisesti sitovan päättelyn. Hän myös laajensi ratkaisevasti perinteisen logiikan ilmaisuvoimaa keksimällä ns. kvantifikaatioteorian eli predikaattikalkyylin. (Ks. Risto Vilkon kirjoitus tässä numerossa.)

Hänen logisistinen ohjelmansa, eli yrityksensä palauttaa aritmetiikan peruslait logiikan aksiomoihin, tuhoutui, kun Bertrand Russell löysi vuonna 1902 hänen järjestelmänsä kohtalokkaan loogisen ristiriidan. Fregen loogisen analyysin välineitä soveltava työ on innoittanut loogikkojen lisäksi myös filosofeja, tarjoten mainion kasvualueen monille perustaville tarkasteluille etenkin matemaattikan filosofian ja kielifilosofian aloilla.

Begriffsschriftin ohella Fregen tärkeimpiin julkaisuihin lukeutuvat hänen kirjansa *Die Grundlagen der Arithmetik* (1884) ja *Grundgesetze der Arithmetik I-II* (1893/1903), sekä hänen filosofiset artikkelinsa "Function und Begriff" (1891), "Über Sinn und Bedeutung" (1892) ja "Ueber Begriff und Gegenstand" (1892). (RV)

David Hilbert (1862–1943)

Saksalainen matemaatikko. Hilbert on yksi nykyajan tärkeimmistä ja vaikutusvaltaisimmista matemaatikoista. Saavutti tärkeitä tuloksia useilla matematiikan eri osa-alueilla.

Teoksessaan *Grundlagen der Geometrie* (1899) Hilbert esitti ensimmäisen todella virheettömän ja täydellisen euklidisen geometrian aksiomajärjestelmän. 1920-luvulla hän keskitti huomionsa matematiikan perusteiden tutkimiseen. Hilbert ja tämän nuoremmat työtoverit tutkivat erilaisia loogisia järjestelmiä ja niiden todistuksia

ulkoapäin, metatasolla. Hilbertin tutkimusohjelma vaikutti ratkaisevasti nykyaikaisen logiikan kehitykseen. Hän itse kutsui sitä todistusteoriaksi tai metamatematiikaksi.

Vuonna 1928 Hilbert julkaisi yhdessä Wilhelm Ackermannin kanssa kirjoittamansa teoksen *Grundzüge der theoretischen Logik*, joka oli ensimmäinen nykyaikaisen logiikan oppikirja. Hilbertin ohjelma huipentui tämän yhdessä Paul Bernaysin kanssa kirjoittamaan monumentaaliseen kaksiosaiseen teokseen *Grundlagen der Mathematik*, (1934, 1939). (PR)

Bertrand Arthur William Russell (1872–1970)

Jaarli. Englantilainen filosofi. Tunnettu filosofian popularisoija, poliittinen liberaali ja pasifisti. Nuoren Russellin mielenkiinto keskittyi matematiikan filosofiaan. Vuonna 1902 hän löysi Fregen järjestelmästä ristiriidan (nk. Russellin paradoksi), joka vaikutti ratkaisevasti joukko-opin kehitykseen.

Vuonna 1908 Russell esitti oman ristiriidoista vapaan loogisen järjestelmänsä, nk. tyyppiteorian. Sen kattava esitys oli Russellin yhdessä A. N. Whiteheadin kanssa kirjoittama kolmiosainen *Principia Mathematica* (1910–1913). Tämä looginen järjestelmä muodostui logiikassa pitkäksi aikaa vakio-teoriaksi. Russell itse ei tämän jälkeen enää työskennellyt logiikan parissa vaan keskittyi yleisempiin filosofisiin aihepiireihin. Hän sai vuonna 1950 kirjallisuuden Nobelin palkinnon. (PR)

Alfred Tarski (ent. Teitelbaum) (1901–1983)

Puolalainen loogikko. Vuodesta 1939 Yhdysvalloissa. Saavutti lukuisia tärkeitä tuloksia monilla matematiikan ja logiikan osa-alueilla, mm. joukko-opissa. Tarski esitti vuonna 1933 totuuden käsitteen loogis-matemaattisen määritelmän, joka on vaikuttanut merkittävästi sekä logiikan että filosofian kehitykseen.

Tarski tutki uraa uurtavalla tavalla myös määriteltävyyden ja loogisen seurauksen käsitteitä, ja vaikutti ratkaisevasti loogisen semantiikan kehitykseen ja malliteorian kehittymiseen itsenäiseksi matemaattisen logiikan osa-alueeksi. Tarski osoitti, että (toisin kuin luonnollisten lukujen) reaali-lukujen yhteen- ja kertolaskun teoria on täydellinen ja ratkeava.

Teoksessa *Undecidable Theories* (1953) Tarski osoitti lukuisien erilaisten matemaattisten teorioiden ratkeamattomuuden. (PR)

Kurt Gödel (1906–1978)

Itävaltalainen loogikko, asui vuodesta 1939 Yhdysvalloissa. Osallistui nuorena Wienin piiriin toimintaan. Todisti vuonna 1929 predikaattilogiikan täydellisyyden. Seuraavana vuonna hän esitti käänteentekevät epätydellisyytyslouksensa.

Gödel saavutti merkittäviä tuloksia monilla matemaattisen logiikan eri osa-alueella. Hän todisti vuonna 1939, että Cantorin kontinuumihypoteesi on yhteensopiva joukko-opin vakiintuneiden aksiomien kanssa, eikä sitä voi näin ollen kumota niiden pohjalta.

Sittemmin Gödelin mielenkiinto siirtyi yhä enemmän filosofiaan. Hän tunsii sympatiaa Edmund Husserlin fenomenologiaa kohtaan; matematiikan filosofiaan hän kannatti platonismia.

Gödel kärsi pitkän elämänsä vakavista mielenterveyden häiriöistä. Lopulta hän alkoi uskoa, että hänen ruokaansa myrkytetään ja kieltäytyi syömästä, mikä johti hänen kuolemaansa. (PR)

Alan Turing (1912–1954)

Englantilainen matemaatikko. Turing esitti vuonna 1936 täsmällisen käsitteellisen analyysin tärkeälle intuitiiviselle ratkaisumenetelmän käsitteelle sekä siihen perustuvan ajatuksen idealisoidusta laskentakoneesta. Tämä työ vaikutti ratkaisevasti paitsi logiikan ja matematiikan perusteiden tutkimuksen kehitykseen myös ensimmäisten tietokoneiden kehittämiseen.

Toisen maailmansodan aikana Turing työskenteli Britannian tiedustelupalvelun hyväksi purkamalla salakirjoituksia. Hän mursi saksalaisten murtamattomana pidetyn Enigma-salakirjoitusjärjestelmän ja vaikutti näin merkittävästi sodan kulkuun.

Sodan jälkeen hän työskenteli ensimmäisten konkreettisten tietokoneiden rakentamisen parissa. Vuonna 1952 Turing pidätettiin ja tuomittiin homoseksuaalisuudesta.

Hänet määrättiin ”kemialliseen kastroitioon” naishormonien avulla. Hänen ei myöskään annettu jatkaa työtään sotilaalliseksi teknologiseksi ymmärrettyjen uusien tietokoneiden kehittämisessä, koska häntä pidettiin turvallisuusriskinä. Turing teki itsemurhan 1954. (PR)

Jaakko Hintikka (s.1929)

FT (Helsingin yliopisto, 1953, *Distributive Normal Forms in the Calculus of Predicates*; ohjaaja: Georg Henrik von Wright). Professori (Bostonin yliopisto, 1990-). Kirjoittanut kielifilosofiasta, logiikasta, epistemologiasta, tieteenfilosofiasta, kielen semantiikasta ja pragmatiikasta, kognitiotieteestä, matematiikan filosofiasta, fysiikan filosofiasta ja filosofian historiasta (Aristoteles, Descartes, Leibniz, Kant, Peirce, Wittgenstein).

Kehittänyt peliteoreettisen semantiikan, ja toiminut uranuurtajana distributiivisten normaalimuotojen teoriassa, mahdollisten maailmojen semantiikassa, todistusten puunenetelmien kehittämisessä, äärettömän syvien logiikkojen tutkimuksessa, induktiivisten yleistysten teoriassa sekä riippumattomuusjärjestelmien ja kvanttilogiikan parissa.

Kirja *The Philosophy of Jaakko Hintikka* ilmestyy sarjassa The Library of Living Philosophers. (AP)

K. Jon Barwise (1942–2000)

FT (Stanfordin yliopisto, 1967, *Infinitary Logic and Admissible Sets*; ohjaajat: Solomon Feferman, Dana Scott). Filosofian, matematiikan ja tietojenkäsittelyopin professori Indianan yliopistossa (1990–2000).

Nykyaikaisen logiikan monialainen taitaja matematiikan, filosofian, kielen semantiikan, laskennan ja graafisten esitystapojen aloilla. Erityisansiota logiikan pedagogiikassa, mistä osoituksena oppikirjat ja tietokoneohjelmistot *The Language of First-order Logic* (1990), *Tarski's World* (1991), *Turing's World* (1993), *Hyperproof* (1994) ja *Language, Proof and Logic* (2000), sekä alalle omistautunut laaja jälkipolvi.

Edelläkävijä yleistettyjen kvanttorien sovelluksista luonnolliseen kieleen. Uudisti informaation käsitteen tutkimusta ja loi uusia loogisia menetelmiä, tähtäimessään kieli- ja tietojenkäsittelytieteisiin verrattavissa olevan uuden tieteenalan luonti. (AP)

Saharon Shelah (s.1945)

FT (Heprealainen yliopisto, 1969, *Stable Theories*; ohjaaja: Michael O. Rabin). Professori (Heprealainen yliopisto, Jerusalem; Rutgersin yliopisto, New Jersey). Aikamme tuotteliain loogikko ja matemaatikko, joka on kohta rikkonut tuhannen julkaistun artikkelin rajan. Mm. János Bolyai- (2000) ja Wolf -säätion (2001) palkinnot.

Mullistanut käsityksiämme joukko-opista ja malliteoriasta sekä näiden perusteista, ja osallistunut ennen näkemättömällä tavalla uusien tulosten ja menetelmien luomiseen kardinaaliaritmetiikan, algebran, mittateorian, kombinatoriikan ja topologian alueilla. Lohkaisi malliteoriasta ns. stabiiliteetti-teoriaksi kutsutun tärkeän tutkimussuunnan.

Omien sanojensa mukaan ”ei koskaan esitä konjektuureja”. (Ks. esim. *Classification theory and the number of nonisomorphic models*, 2. painos 1990). (AP)

Dov M. Gabbay (s.1945)

FT (Heprealainen yliopisto, 1969, *Non-Classical Logics*; ohjaajat: Azriel Levy, Michael O. Rabin). Logiikan Augustus De Morgan -professori Lontoon yliopistossa, King's Collegessa.

Tutkinut logiikan ja laskennan yhteyksiä, käytännön päättelyä, reaktiivisia järjestelmiä, epämonotonista logiikkaa, moniulotteista modaalilogiikkaa, yleisiä deduktiivisiä ja todistusteoreettisia menetelmiä sekä luonnollisen kielen logiikkaa. Ehtymättö-

mänä tieteenharjoittajana käynnistänyt mitavia käsikirjahankkeita (mm. *Handbooks of Philosophical Logic*, 18 nidettä; *Logic in Computer Science*, 5 nid.; *Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*, 5 nid.; *Defeasible Reasoning and Uncertainty Management*, 7 nid.; *History of Logic*, 12 nid.; *Logic and Philosophy of Sciences*, 15 nid.; *Who's Who in Logic; Tableaux; Logic of Argument and Practice; Logic and Law*). (AP)

Abti Pietarinen (AP)

Panu Raatikainen (PR)

Risto Vilkko (RV)

