

MAGNEETTISEN EROTUKSEN SUOMALAINEN INNOVAATTORI

LAURILAN EROTIN OSANA TUTKIJOIDEN KAIVOS-TEOLLISUUDELLE TEKEMÄÄ YLIRAJAISTA KEHITYSTYÖTÄ

Petri Paju

Kun tärkeä innovaatio jää pienen asiantuntijapiirin tietoon, se unohtuu muilta suhteellisen pian. Näin on käynyt monelle kotimaiselle kaivos- ja metalliteollisuuden sodanjälkeiselle uutuudelle. Suurimman huomion vieneen Outokumpu Oy:n liekkisulatusmenetelmän varjoon on jäänyt, että muutamien tutkijoiden ryhmä lähinnä VTT:llä ja TKK:lla urakoi keksintöjä noususuhdannetta eläneelle kaivosteollisuudelle sodanjälkeisessä Suomessa ja laajemminkin. Tärkeänä tilaajana toimi usein unohdettu Otanmäki Oy. Tässä ympäristössä syntyivät Erkki Laurilan henkilökohtaisen tutkimus- ja kehitystyön läheisimmät innovaatiot.

Suomalaisen teknologian ja tiede-elämän historian tutkijat ovat paikantaneet professorin ja Suomen Akatemian jäsenen Erkki Laurilan (1913–1998) etenkin tiedepolitiikan vaikuttajaksi sekä ydinvoiman ja tietokoneiden suomalaisen kehitystyön vauhdittajaksi ja koordinaattoriksi. Harva enää muistaa hänen työtään ja saavutuksiaan tutkijana ja kehittäjänä, varsinkaan sota-ajan Valtion lentokoneitehtaan luovan vaiheen jälkeen.¹ Fyysikko Erkki Laurilan yhteiskunnallisen vaikuttavuuden ja uskottavuuden kannalta oli kuitenkin olennaista, että hän toimi itse jatkuvasti keksijänä ja innovaattorina. Näissä rooleissa hän koki keksimisen ja kaupallistamisen vaikeudet ja menestyksen, voitot ja tappiot, kasvavan maineen ja sittemmin pitkän unohduksen. Tässä artikkelissa tarkastellaan Erkki Laurilan keksimistyön pohjalta tuotettua innovaatiota, magneettierotinta, seuraajineen. Ne jäivät ainakin erikoisalansa rikastustekniikan ammattilaisten perimätietoon.

Kysyn, millaisten yhteyksien varaan Laurilan keksimistyö ja innovaatio/t rakensivat, mistä yhteistyö kaivos- ja metalliteollisuuden kanssa sai alkunsa. Keskityn

tutkimaan ensimmäisen ja parhaiten menestyneen innovaation syntyä, käyttöönottoa ja leviämistä. Toiseksi esitän yleiskuvan tästä Laurilan työuran pitkäaikaisimmasta tutkimusalueesta keskittymällä sen ensisijaiseen laitetyyppiin, magneettiseen erottajaan. Ensimmäisessä vaiheessa hän kehitti 1950-luvun alussa tilauksesta magneettisen erottajan, joka sai nimen Laurilan erotin, tai Laurila-erotin, englanniksi Laurila Separator, ja jonka tilaajayritys otti välittömästi tuotantokäyttöön Yhdysvalloissa ja Ruotsissa. Viisikymmenluvun lopulla hän suunnitelti toisenlaisen magneettierottimen, jonka kohtalosta on vain vähän tietoa. 1970-luvun alkupuolella seurasi vielä kolmas erottimen päätyyppi, joka ei kuitenkaan lyönyt läpi markkinoilla. Eri teksteissä Laurila-erotin tai Laurilan erotin saattaa tarkoittaa näistä kolmesta erottimen päämallista mitä tahansa.

Magneettierottajaa käytetään malmin rikastamiseen: erilaisten magneettisten ratkaisujen avulla erotetaan magneettinen aines, joka tarttuu laitteen tuottamaan magneettikenttään, muusta maa-aineesta, joka voidaan poistaa eri menetelmin. Laurila ei suinkaan ollut ensimmäisten joukossa erot-



Professori Erkki Laurila 1950-luvulla.
Kuva: Maarit Leskelä-Kärjen arkisto.

timia keksimässä. Magneettisen erotuksen nykyaikainen historia aloitetaan englantilaisen William Fullartonin 1792 patentoimasta erotinlaitteesta malmeja varten. 1800-luvun lopulta alan keksimistyö laajeni kiihtyvästi. Monipuolinen keksijä Thomas Alva Edison patentoi sähkömagneettisen erottimen 1800-luvun lopulla. Hieman yllättäen niitä kehitettiin myös Suomen suuriruhtinaskunnassa, mutta siitä lisää alempana. Yhtenä tärkeänä etappina mainitaan amerikkalaisen Samuel Frantzin 1930-luvun puolivälissä luoma Frantzin erotin, joka laajensi erotettavien malmien kirjoa ratkaisevasti. Toisen maailmansodan jälkeen magneettinen rikastus oli vuosikausia alue, jolla tehtiin teollisuusmaissa runsaasti tutkimus- ja kehitystyötä kasvavan metalliteollisuuden tarpeisiin.²

Erkki Laurilan toimintaa ja tutkimustyötä jälkeinpäin tarkastelleita on pitkään ohjannut se, että ikääntyvä akateemikko vaikeni suunnilleen täysin teknisistä kek-

sinnöistään. Vain 1960-luvun alusta puhuessaan hän totesi, että oli ”eräänlaisena vapaa-ajan harrasteena kehitellyt muutamia instrumentteja, joita kuvittelin voivani myydä lähinnä vuoriteollisuudelle ympäri maailmaa”.³ Tätä voi kutsua vähättelyksi. Onneksi Laurilan kollega ja ystävä Matti Tikkanen täydensi Laurilan muistelmia kertomalla heidän jakamistaan kaivostekniikan kehityskokemuksista akateemikon 70-vuotisjuhlakirjaan, joka tosin on vähän tunnettu kokoelma.⁴ Lisäksi Laurilan nuorempi keksijätoveri kirjoitti kollegansa kanssa alan uranuurtajan töistä englanniksi 1980-luvulla. Julkaisukanavana palveli upouusi ammattilehti *Magnetic Separation News*. Yhteisartikkeli toimi samalla osana Laurilan viimeiseksi jääneen erotinmallin kaupallistamisponnistusta. Kotimaassa se arvatenkin tavoitti lähinnä pienen asiantuntijajoukon, joka tunsi Laurilan työn ennestään.⁵

Rikastustekniikkaa Teknillisessä korkeakoulussa opiskelleet teekkarit ovat toisaalta vuosikymmeniä saaneet lukea Laurilan kehittämistä laitteista alan oppikirjoista. Laurilan yhteistyökumppani, professori Risto Hukki kirjoitti muun muassa Laurilan kahdesta ensimmäisestä erottimesta kirjaansa *Mineraalien hienonnus ja rikastus* vuonna 1964. Professori Toimi Lukkarinen, Hukin seuraaja, lisäsi mukaan Laurilan 1970-luvulla kehittämän kolmannen keskeisen erottimen, kun hän julkaisi 1980-luvulla kaksiosaisen oppikirjansa *Mineraalitekniikka I-II*. Perustiedot Laurilan keksinnöistä ovat siten olleet yllättävän helposti saatavilla, mutta ne ovat silti jääneet käyttämättä Laurilaa sivuavissa tutkimuksissa tähän asti.⁶ Lukkarisen oppikirja on hyvä lähtökohta tutustua myös Risto Hukin kaivosalan keksintöihin, jotka Laurilan ja Tikkasen tulosten ohella kuuluvat samaan, enimmäkseen

unohdettuun sodanjälkeiseen, Suomessa tehtyyn kehitystyöhön.

Historiantutkijat, kuten sanottu, olivat Laurilan kohdalla pitkään kiinnostuneet aivan muista tiedoista. Esimerkiksi väitöskirjassani hahmotin kokonaiskuvaa Laurilan 1950-luvun toiminnasta, mutta magneettierotus jäi katveeseen. Laurilan keksimistöiminta avautui entistä laveammin, kun Sampsa Kaataja keskittyi väitöskirjassaan analysoimaan Helsingin yliopiston ja TKK:n tutkijoita tekniikan kehittäjinä ensisijaisena aineistonaan kotimaiset patentit. Aktiivisena patenttoijana Laurila valikoitui yhdeksi tutkimushenkilöksi. Puolet eli kuusi Laurilan Suomessa patentoimista keksinnöistä oli erilaisia magneettierottajia.⁷ Kun huomioidaan myös ulkomaiset patentit, mikä on tärkeää koko kuvan saamiseksi, hänen nimissään haettiin ensimmäiset patentit magneettierotuksesta vuonna 1952 Ruotsissa ja viimeisen aihepiiriin patentin hän sai vuonna 1981. Tosin Laurila haki erotinpatenttia jo vuonna 1951 Suomessa, mutta peruutti hakemuksen myöhemmin. Seikka on tärkeää ideoiden alkuperän selvittämisen kannalta.

Kaataja tuntee osan Laurilan ensimmäisen erotinkeksinnön taustasta sekä luettelee erottajien seuraavia kehitysvaiheita patentoivine yrityksineen. Yllä mainittu kirjallisuus jää häneltä Tikkasta lukuun ottamatta hyödyntämättä. Hän ei ole kartoituksessa voinut syventyä Laurilan tarinaan ja tähän innovaatiolinjaan, joten hän yhdistää Laurilan erottimet samaksi innovaatioksi. Toiminnan kokonaiskuvassa ja yksityiskohdissa on tarpeen tarkentaa monta asiaa.

Laurilan innovaatiotoiminnan vaiheiden tarkempi hahmottelu on vaatinut runsaasti lisätutkimusta. Tutkimusmenetelmänä on ollut etsiä ja verrata monenlaisia aineistoja entistä eheämmän kokonaiskuvan ja yksityiskohtaisempien tietojen saavuttamiseksi. Näihin kuuluvat Laurilan lukuisat julkaisut, patenttiedot, muistitieto ja tut-

kimuskirjallisuus. Arkistoaineisto ja tieto peruutetusta patenttihakemuksesta ovat pääasiassa ennen käyttämätöntä alkuperäismateriaalia. Jatkan artikkelissa biografisen tutkimusmenetelmän käyttöä Erkki Laurilan keksimistöiminnan tarkasteluun mutta kiinnittäen erityistä huomiota Laurilan yhteistyöhön muiden henkilöiden ja tahojen kanssa. Innovaatiotutkimuksen tulokset ovat pitempään kertoneet verkostojen ja yhteistyön suuresta merkityksestä keksintöjen ja innovaatioiden synnylle. Erityistä huomiota kiinnittää Laurilan innovaation kansalliset rajat ylittänyt kehitystyö, ylijärjisyys. Kansainvälinen vuorovaikutus oli toisaalta tyypillistä kaivosalan tutkimukselle, mutta vaikeuttaa innovaation nimittämistä kansallisella statuksella ja on saattanut siten osaltaan edesauttaa sen unohtamista.⁸

Artikkeli antaa uutta tietoa sekä Laurilan innovaatioista, joista on kerätty ja yhdistelty pääosin aiemmin kokoamatonta tietoa, että magneettisen erotuksen kehityksestä myös kansainvälisesti. Varsinkin jälkimmäiseltä osalta artikkeli jää pakosta päänavaukseksi. Tämän erikoisalan evoluutiota ovat toistaiseksi tarkastelleet lähinnä alalla toimineet asiantuntijat.

Aiemmasta kirjallisuudesta kaivosteollisuuden teettämät yrityshistoriat tarjoavat tietoa useista yrityksistä ja kontekstista. Otanmäki Oy:n kohtaloksi tuli joutua monenlaiseen vastatuuleen ja painua unholaan. Se sulautettiin uudempaan Rautaruukiin, jonka näkökulmasta Otanmäen historia on näyttäytynyt vähemmän relevanttina ja sen teknologinen merkitys unohtunut. Tosin kaivosta suljettaessa vuonna 1985 vuoriteollisuuden ammattilaisten piirissä muistutettiin Otanmäen laajasta teknisestä merkityksestä ja nimenomaan rikastustekniikan kansainvälisestä arvostuksesta.⁹ Laurilan edeltäjistä on kirjoittanut aihepiiriin varhainen tutkija Eevert Laine. Alan ja ajankohdan innovaatioista on kirjoitettu etenkin Outokummun maailmanmenestyksestä,

liekkisulatuksesta. Outokummun säätion tarina kertoo lisää alan tutkimuksesta ja tutkijoista.¹⁰ Tässä artikkelissa keskitytään katveeseen jääneisiin innovaatioihin ja nostetaan esille useille yrityksille töitä tehneiden tutkijoiden rooli tiedon ja osaamisen tärkeänä välittäjänä. Tutkimus täydentää käsityksiä kaivosteollisuuden tekniikan kehitystyöstä ja sodanjälkeisen Pohjois-Suomen teollistamispolitiikan yllättävästä merkityksestä hie-man myöhemmin korostuneille ja nimetyille tiede- ja teknologiapoliitikalle.

KAIVOSTEKNIIKAN KEHITYSTYÖ ALKAA OTANMÄKI OY:N TILAUKSESTA

Sodanjälkeisessä Suomessa kaivosteollisuudelle lankesi entistä tärkeämpi tehtävä lounahia kotimaahan raaka-aineita, vientituloja ja siten hyvinvointia. Sotakorvauksista lähtien teollisuus tarvitsi runsaasti metalleja. Raaka-aineiden saanti oli maan teollistumisen elinehto ja metalliteollisuuden kasvun edellytys. Kaivosalaa kehittävä tekniikan tutkimus oli siten päivänpolttava ala ja elintärkeää teolliselle itsenäisyydelle.

Fysiikasta väitellyt Erkki Laurila puolestaan oli päässyt keksimistyössä vauhtiin sodan aikana Valtion lentokonetehtaal-la, jossa hän oli johtanut hienomekaanista osastoa vuodesta 1942. Vuonna 1946 hän aloitti vastaperustetussa teknillisen fysiikan professuurissa Teknillisessä korkeakoulussa ja sai pian oman laboratorion Valtion teknillisestä tutkimuslaitoksesta (VTT), jota kautta saattoi ottaa vastaan tilaustutkimuksia teollisuudelta. Röntgentutkimusmenetelmiä kehittänyt Laurila oli epäilemättä kiinnostunut kaivosteollisuudesta tutkimusmenetelmien soveltajana. Laurila sai varhain yhteyden Outokumpu Oy:ön, jolle hän selvitti malminetsinnän uusinta tekniikkaa vuonna 1946.¹¹ Toden teolla Laurila syven-tyi kaivosteollisuuden ongelmiin ensi kerran Otanmäki Oy:n takia, koska hän osallistui

sille toteutettuun yhteiseen tutkimus- ja kehityshankkeeseen.

Malmilöyö Kajaanin lähellä Otanmäesä oli tehty jo ennen toista maailmansotaa. 1940-luvun lopulla siellä valmisteltiin kaivostoiminnan aloittamista tietämien taipa-leiden takana. Teknilliselle korkeakoululle oli sodan jälkeisinä vuosina nimitetty use-ampi alan professori uuteen vuoriteollisuus-osastoon, mikä kertoo kaivosteollisuuden painoarvosta tuolloin. Osaston professori Kauko Järvinen toimi Otanmäen toimi-tusjohtajana valmisteluvaiheessa ja jatkoi Otanmäen teknisenä johtajana. Otanmäen malmin rikastamista tutkittiin aluksi labo-ratoriokokein etenkin VTT:n vuoriteknillisessä laboratoriossa. Kokeiden perusteella Otanmäkeen rakennettiin koetehdas vuon-na 1949.¹²

Samana vuonna 1949 Laurilaa pyydet-tiin mukaan kehittämään uutta tekniikkaa Otanmäen kaivostoiminnan avuksi. Kehi-tystyötä hän teki yhdessä Risto Tapani Hu-kin kanssa, joka oli aloittanut korkeakoulun rikastustekniikan professorina käytännös-sä vuonna 1945 (nimitys 1947). Hukki oli opiskellut Yhdysvalloissa muun muassa Outokummun säätion rahoittamana sotien aikana ja sai tohtorin arvon MIT:ssa vuon-na 1944. Heidän lisäksi mukana oli Olavi Jäntti, Laurilan toveri 1930-luvun Hämäläis-osakunnan soittajista, kemisti puolustusvoi-mien kemiallisesta tutkimuslaitoksesta. Siel-lä tehtiin tarpeelliset kemialliset kokeet, kun taas laitteet rakennettiin VTT:n teknillisen fysiikan eli Laurilan laboratoriossa.¹³ Labo-ratorio sijaitsi yhdessä Teknillisen korkea-koulun kellarihuoneistoista Hietalahdessa.

Hanke käsitti magneettisten ja ke-miallisten analyysimenetelmien ja -väli-neiden kehittelyä. Nopealla aikataululla vuosikymmenen vaihteessa syntyi peräkkäi-sissä projekteissa porasydän- tai myöhem-min magnetiittianalysaattori, magnetiitti- ja ilmeniittianalysaattori sekä potentiometriin perustava laitteisto.¹⁴ Koneista pääosa otet-

tiin käyttöön Otanmäen koelaitoksella. Todennäköisesti Hukin asiantuntemuksen vauhdittamana Laurila pääsi näin ensi kerran käytännönläheisesti tutustumaan kaivosteollisuuden teknologisiin tarpeisiin.

Tutkimusten tulokset laitekuvausineen julkaistiin ripeästi amerikkalaisessa Mining Engineering -lehdessä, missä varmasti Hukin kokemukset Yhdysvalloista auttoivat. Laurilan anti kaivosalalle tuli kotimaisille vuori-insinööreille tutuksi viimeistään, kun hän esitelmöi upouudesta magnetiittija ilmeniittianalysaattorista keväällä 1951 Vuorimiesyhdistyksen vuosikokouksessa.¹⁵ Yhdistys toimi aktiivisesti osana kaivosalan huimaa noususuhdannetta, keskusteli ja teki aloitteita ajankohtaisista teemoista.

Otanmäen merkityksestä kertoo, että uusi pääministeri Urho Kekkonen vetosi siihen, kun neuvostojohtaja Josif Stalin neuvottelussa vuonna 1950 tiukasti, miksei Suomesta saada rautaa omiin tarpeisiin. Kekkosen mukaan Stalin oli tyytyväinen, kun hän sanoi Otanmäen olevan ”ensimmäisiä tehtävämme”.¹⁶ Pääministeri Kekkonen kuului Otanmäki Oy:n hallintoneuvostoon 1950-luvun alussa.¹⁷ Korpikaivoshanke oli siten merkityksellinen ja ajankohtainen myös ulkopoliittisesti.

TUTKIMUSTILAUKSET LAAJENEVAT MAGNEETTISEEN EROTUKSEEN

Valtion yrityksen ja tutkijoiden yhteistyö sujui niin hedelmällisesti, että jo alkukesällä 1950 Otanmäki Oy palkkasi Laurilan laboratorion myös magneettierotuksen kehityshankkeeseen. Tässä ensimmäisessä tutkimushankkeessa oli kyse nimenomaan magnetiitin käsittelystä, sillä laitteesta kirjoitettiin ensin ”magneittiseparaattorina”. Valmistavat työt aloitti firman palkkaama apulainen kesällä 1950.¹⁸ Laurilan kehitysprojektien tapaan ensimmäinen laite valmistui vauhdilla, vajaan vuodessa.

Tyypilliseen tapaan Laurila ei työskennellyt yksin magneettiseparaattorin aikaansaamiseksi, vaan hänen laboratoriossaan tätä ensimmäistä tutkimusprojektia toteutti ainakin sen loppuvaiheessa, vuoden 1951 alussa, diplomi-insinööri Jarl Salminen apunaan tekniikan ylioppilas Bjarne Regnell. Hankkeesta suunniteltiin julkaisua, mutta sellaisen ilmestymisestä ei ole jäänyt tietoa.¹⁹ Loppuvuonna 1951 Otanmäki Oy tilasi jatkotutkimuksen, tällä kertaa ilmeniitin magneettierotuksesta. Sitä suoritti maisteri Matti Laurila, joka oli laboratorion johtajan pikkuveli, hiljattain yliopistolta valmistunut ja kemiaa opiskellut.²⁰ Nämä hankkeet johtivat Otanmäen tilaamaan Laurilan laboratoriolta magneettiseparaattorin (koe)tehdas-käyttöön.

Hankkeesta raportoitiin varhain julkisesti ainakin VTT:n toimintakertomuksessa. Laitteen kerrottiin perustuvan ”ennen käytettävään ideaan (liikkuva vaihtovirta-magneetikenttä)” ja valmistuvan keväällä 1951.²¹ VTT:n vuosikertomuksen vähistä tiedoista selviää, että Laurila oivalsi erittäin pitkälle kantaneen perusajatuksen liikkuvan magneettikentän käytöstä erotuksessa jo ensimmäisessä kehitysprojektissa vuonna 1950.

Kesällä 1951 Laurila jätti keksimäänsä erotustapaa koskevan patenttihakemuksen Suomessa. Hänen ensimmäinen magneettierotushakemuksensa ei kuitenkaan lopulta johtanut patenttiin. Seuraavana vuonna Laurila palaisi keksimistyönsä suojaamiseen, sillä kertaa Ruotsissa.²² Ruotsin erotinhanke oli alkanut Otanmäen keksinnön vanavedessä jo kiihkeinä kesänä 1951.

Laurilan keksimistyö magneettierottimien parissa ei kuitenkaan saanut alkuaan Ruotsissa, kuten on kirjoitettu aiemmin, vaan kotimaassa Otanmäki Oy:n tarpeisiin. Ruotsissa työ tuli kuitenkin ensin johtamaan nopeassa tahdissa tuloksiin ja käyttöönottoon.

LÄPIMURTO RAUTAPULVERIN RIKASTUKSESSA RUOTSISSA

Otanmäki Oy:ön liittyvät tutkimukset kiihivät totta kai pian läheisten kollegojen tietoon ja yksi asia johti toiseen. Innovaation rakentumisen kannalta oli keskeistä, että ennen kesää 1951 Laurila sai kollegansa Matti Tikkanen välityksellä Ruotsista tehtävän, joka viimeistään ohjasi hänen tutkimuksiaan kaivosalalla pitkälle tulevaisuuteen. Kehitysprojektin menestyksestä varmaan johtui, että magneettisesta erotuksesta monine puolinen oli tuleva professorin pitkäaikaisin tutkimus- ja kehitystyömaa. Erkki Laurila oli tuolloin 38-vuotias neljän lapsen isä, eikä varmasti aavistanut, että saman aihepiirin hankkeet seuraisivat toisiaan yli 30 vuotta.

Diplomi-insinööri Matti Haakon Tikkanen oli tutustunut Laurilaan Valtion lentokonetehtaalla sotavuosina. Vuonna 1949 hän sai valmiiksi väitöskirjan ja siirtyi päätyöstään Ruotsista TKK:n metallurgian professoriksi. Työtilat hänelle osoitettiin Laurilan laboratorion viereisestä kellari-osastosta.²³

Tikkanen jatkoi sivutyönä toimintaansa konsulttina ruotsalaiselle Höganäs Ab:lle, joka oli kansainvälisesti merkittävä rautajauheen valmistaja. Jauhemetallurgiaa tarvittiin tuolloin maailmanlaajuisesti sekä elpyvässä autoteollisuudessa että kranaattien ohjausrenkaiden teossa etenkin Korean sodan mittaviin tarpeisiin, Tikkanen muisteli. Silloisilla magneettierottimilla ei kyetty saamaan tarpeeksi puhdasta rautajauhetta, mikä ongelma vaikeutui tuotantomäärien kasvaessa. Kun Tikkanen kertoi ongelmasta Laurilalle, tällä oli heti ratkaisun suunnitelma valmiina. Ruotsista saatiin lupa ryhtyä välittömästi töihin. Laurila ja Tikkanen tutkivat ongelmaa kesäkuussa 1951 vierailulla Höganäsillä Etelä-Ruotsissa. Laurilan suunnitelman piirustukset lähetettiin Ruotsiin ja loppukesällä 1951 professorit saivat kutsun

tulla katsomaan prototyyppiä toiminnassa.²⁴

Kun aiemmissa erottimissa käytettiin sähkömagneetteja, uuden tekniikan erottimet – jollaista kehitettiin samoina vuosina myös Ruotsissa KTH:ssa Tage Mörtsellin johdolla – perustuivat nopeasti pyöriviin ja moninapaisiin kestromagneettirumpuihin.²⁵ Rummun pinnalle muodostui magneettinapojen ja rummun kuoren keskinäisen liikkeen seurauksena nopeasti pyörivä magneettikenttä. Näissä olosuhteissa ja sopivilla yksityiskohtaisilla rummun pinnan muotoiluilla malmin hiukkaset saatiin aiempia ratkaisuja paljon tehokkaampaan liikkeeseen, jossa ei-magneettiset hiukkaset sirosivat pois rummulta, kun taas magneettinen aines kerättiin talteen.

Laurilan vastikään saamat kokemukset Otanmäen malmin erotusprosessista antoivat hyvän pohjan tälle työlle, joka eteni vauhdilla. Aiemmin Laurila oli pohtinut ja kehittänyt magneettien teknisiä sovelluksia jo jatkosodan ajoista. Kiinnostus johtui 1940-luvulla kehitetyistä uudenlaisista kestromagneeteista, joita saatiin hiljattain keksityistä Alnico-metalliseoksista, joka on valmistettu alumiinista (Al), nikkelistä (Ni) ja koboltista (Co). Laurila pyrki olemaan varhain mukana hyödyntämässä näiden mahdollisuuksien kokeilua ja soveltamista. Tampereella toimiessaan hän houkutteli joitakin yrityksiä valmistamaan uudenaikaisia kestromagneetteja Valtion lentokonetehtaan tarpeisiin. Heti sodan jälkeen Laurilan hienomekaaninen tehdas myös testasi magneettien lämpötila- ja värinäkestoa mittalaitetuotantoaan varten.²⁶

Ruotsin tilaustyön tuloksena Laurila suunnitteli keksinnön, joka oli pitkään hänen parhaiten tunnettu laitteensa ja ainoa, jossa kuului hänen nimensä: ”Laurilaseparatorn”, Laurila-erotin. Sen saaminen käytökelpoiseksi ei sentään käynyt aivan kädenkäänteessä. Erottimen suunnittelussa ja toteutuksessa tuli huomioida monia muutujia, joten uutta erotinta päästiin kunnolla

koekäyttämään Ruotsissa loka- ja marraskuussa 1952. Yhtiön tutkimusraportti viittaa siihen, että laitteen käyttöönotolla alkoi olla kiire, vaikka uusista parannusvaihtoehdoista oli keskusteltu Laurilan kanssa. Tulosten mukaan Laurila-erotin sopi erittäin hyvin suunniteltuun rautajauheen erotukseen. Laite toimi varmasti ja johtopäätösten mukaan koko Yhdysvaltain tehtaantanto voidaan ajaa vaihteittain läpi useamman Laurila-erottimen järjestelmästä ja näin minimoida raudan hävikki.²⁷ Laurilan erotin kulkeutui saman tien maailmalle kansainvälisen ruotsalaisen yrityksen mukana ja otettiin käyttöön Höganäsin tehtailla Rivertonissa, Philadelphian kupeessa.

Kiire selittyi sillä, että Rivertonin mitava tehdaskokonaisuus, jota operoi Höganäsin amerikkalainen tytäryhtiö Hoeganaes Sponge Iron Corporation, pääsi aloittamaan rautajauheen tuotannon vuonna 1953. Yhtiön lehti kertoi rautajauheesta valmistettavan monenlaisia pieniä metalliosia autoihin, leluihin, sähkö- ja konttorikoneisiin ja moniin muihin metallituotteisiin, aina hitsauspuikkoihin asti.²⁸ Sotatarviketuotannon edistämistä ei ymmärrettävästi mainittu, mutta aivan ilmeisesti Höganäsin konsultti Tikkanen ja Laurila tiesivät vuonna 1951 kehittävänsä keksintöä, joka osaltaan kylmän sodan johtavan länsivallan aseistautumista ja sodankäyntiä.²⁹

On melkoisen ironista, että myös Generalissimus Stalinin Suomeen kaipaama, toivottu raudan valmistaja, Otanmäki Oy, johti epäsuorasti monenlaisiin yllättäviin seurauksiin tarjotessaan tutkijoille ongelmia ja tilaisuuksia. Laurila sai näistä haasteista virikkeen kehittyä magneettisen erotuksen asiantuntijaksi ja kohta hänen hengentuotensa jauhoivat raaka-ainetta Yhdysvaltain asearsenaaliin.

Laurilan poika muisteli, että isä sai Höganäsilta keksintöpalkkioksi kodinkoneita, esimerkiksi perheessä pitkään palvelleen Electroluxin yleiskoneen. Maksutapa liittyi

tuolloiseen valuuttasäännöstelyyn.³⁰ Kodinkoneet olivat toki vielä harvinaisia luksus tuotteita Suomessa. Tosin Laurilalle maksettiin myös aivan riihikuivaa (esim. 3500 Skr.) pankkiin Tukholmassa, mutta rahojen siirto Suomeen vaati kuljetusjärjestelyjä.³¹ Todennäköisesti rahallinen palkkio oli kätevintä tuoda maahan kodinkoneina.

EROTINTYYPIN KÄYTTÖÖNOTTO SUOMESSA JA LEVIÄMINEN MAAILMALLA

Suomessakin Laurilan erottimen asia ja tunnettuus eteni. Vuoden 1953 alkupuolella Laurilan laboratorio sai valmiiksi kaksi tilattua kestopagneettiseparaattoria. Nämä olivat todennäköisesti varsin samantapaisina kuin Ruotsissa kehitetty ja ne toimitettiin Outokumpu Oy:lle ja Otanmäki Oy:lle, jolle oli ennestään tehty ainakin yksi separaattori ja useita muita laitteita ja tutkimuksia. Lisäksi hienomekaaninen työpaja teki ”analyysiseparaattorit” Otanmäelle ja VTT:n vuoriteknilliseen laboratorioon.³²

Kotimaassa Laurilan keksintöä ei tietenkään piiloteltu, päinvastoin, vaikka se onkin myöhemmin unohtunut. Kun patenttia oli (jälleen) haettu myös kotimaassa, keksintöä saattoi ja kelpasi näyttää yleisölle. Erkki Laurilan keksimää magneettista separaattoria esiteltiin havainnollisesti lehtimiehille yhtenä paraatiesimerkkinä VTT:n teknisen tutkimuksen tuloksista.³³ Kansalliseen promootiotapahtumaan kuuluvasti sen arveltiin olevan alallaan maailman parhaimpia tai paras. Tieto professorin keksinnöstä levisi valtakunnallisesti sanomalehdistön avulla. Alaa seuraaville erotinlaite vahvisti Laurilan viime vuosina saavuttamaa mainetta menestyksellisenä keksijänä. Samoin Laurilan tiedepoliittinen sanoma sai uutta, ratkaisevaa painavuutta.

Otanmäestä tiedettiin alun perin kiinnostua vanadiinin lähteenä. Vanadiinilla terästettyä rautaa tarvittiin varsinkin autojen

ja lentokoneiden valmistukseen.³⁴ Toisaalta vanadiini oli rautarikasteessa ongelmallinen epäpuhtaus. Matti Tikkanen kertoi, että Otanmäen tutkimukset vanadiinin erottamiseksi voitiin perustaa Höganäsän sodan aikana tekemiin perusteellisiin selvityksiin, jotka olivat johtaneet tiettyihin parhaisiin menetelmiin vanadiinin rikastamiseksi. Otanmäen rikastamon esimies Urmas Runolinn raportoiti puolestaan kansainvälisessä konferenssissa, että Laurilan keksimän erottimen prototyypin kokeiltiin onnistuneesti Otanmäki Oy:llä vanadiinin erotuksen tutkimuksissa ja sitä oli käytetty koetettaessa vuodesta 1954. Tulosten perusteella rakennettiin uusi tehdas, joka aloitti vuonna 1956. Tehtaaseen Laurila ja Runolinn suunnittelivat kehitetyt erottimet eli niiden järjestelmän. Nämä Laurila-erottimet valmistettiin Valmet Oy Suomessa.³⁵

Professori Laurilan suunnittelemissa kestopagneetteihin perustuvassa kuivaseparaattorissa, joka rikastamossa oltiin ottamassa tuotantokäyttöön vuonna 1955, ”sekä kestopagneettirumpu että vaippa pyörivät, mutta toisistaan riippumatta ja eri nopeuksille. Magneettisen rummun kehällä navat vuorottelevat. Rummun kierrosluku valitaan sellaiseksi, että napojen vuorottelu ravistaa magneettiset flokit [eli kokkarit] rikki ja vaipan kierrosluku sellaiseksi, että magneettirakeiden vetovoima juuri ja juuri voittaa keskipakovoiman, mutta ilmeisesti ja silikaattirakeet sinkoutuvat pois. Magnetiitti poistetaan vaipalta piikkipyörän avulla”.³⁶

Höganäsän aiempien vanadiini-tutkimusten, erotuskokemusten ja Laurilan kestopagneettierottimen avulla vanadiinin erottaminen tuli mahdolliseksi ja kannattavaksi ja Suomeen perustettiin maailmanmittakaavassa harvinainen vanadiinitehdas.³⁷ Nimenomaan vanadiinista tuli Otanmäki Oy:n kannattava päätuote, josta pääosa vietiin ulkomaille. Päänavaajana Laurilan erotin ja myöhemmin sen seuraajat jauhoivat

Otanmäessä vientituloja teollistuvalla Suomelle 1980-luvun alkuun asti.³⁸

”Laurila-separaattoreina” tunnettujen koneiden järjestelmää tehokäytettiin niin ikään Etelä-Ruotsissa Höganäsän rautajauhetehtaalla, jossa niiden käyttötapaa kehitettiin edelleen.³⁹ Firman konsultti ja alan asiantuntija Matti Tikkanen, joka toimi metallurgian professorina vuosina 1949–1978, arvioi ystävänsä hengentuotetta: ”Jotta tämän innovaation arvoa ja merkitystä olisi mahdollista ymmärtää todettakoon, että tämä ensimmäinen kestopagneeteilla varustettu erotin korvasi kymmenen aikaisempaa sähkömagneettista erotinta ja antoi paljon paremman tuloksen!” Tikkanen mukaan Laurilan kehittämä erotintyyppi oli edelleen 1980-luvulla käytössä Ruotsissa ja Yhdysvalloissa rautajauheen valmistajatehtaissa.⁴⁰ Epäilemättä tämä innovaatio muiden mukana edesauttoi Höganäs Ab:n kestävästä menestystä.

Erkki Laurilan kestopagneettierottimen varhaisuudesta ja kiinnostavuudesta maailmalla kertoo se, että saksalaisen Krupp-yhtymän Rheinhausenin tytäryhtiö osti vuonna 1953 oikeudet valmistaa Laurilan patenteihin perustuvia koneita. Länsi-Saksasta 1950-luvulla saadut vuosikorvaukset tekivät tästä erottimesta Laurilalle taloudellisesti merkittävän ja suurella todennäköisyydellä kaikkiin hänen muihin keksintöihinsä nähden poikkeuksellisen tuottoisan innovaation. Erotin mahdollisti uuden auton, Opel Olympian, oston Länsi-Saksasta ja kesähuvilan rakentamisen Pälkäneen Laitikkalaan vuosikymmenen puolivälissä.⁴¹

Laurilan lisäksi hänen ensimmäistä erotintaan levittivät 1950-luvulla Höganäs Ab, joka teki omavaltaisesti joitakin kappaleita yhteistyökumppaneilleen Yhdysvalloissa, ja myös Krupp Rheinhausen, jonka aiheet valmistaa Laurila-erotinta päätyivät alan keskeiseen amerikkalaiseen aikakauslehteen.⁴² Tarkoista lukumääristä ei ole tietoa, mutta Laurilan kirjeaineiston perusteella puhutaan



Otanmäen kaivosalueella kaivostorni kohoaa 60 metriin. Syvyyttä kaivokselle kertyi reilut 650 metriä. Vanadiinitehdas näkyy vasemmalla. Otanmäen kaivoksen vanadiinituotanto saatiin käyntiin suureksi osaksi Laurilan erottimien avulla. Vanadiinia vietiin maailmalle lähes kolme vuosikymmentä ennen kuin kaivos suljettiin vuonna 1985. Viime vuosina yksityinen Otanmäki Mine Oy on suunnitellut kaivoksen ja vanadiinituotannon aloittamista uudelleen. Kuva: Kalervo Ojutkangas. Lähde: Ukkola 2004, 131.

kymmenestä tai enintään parista kymmenestä teollisuusasiakkaasta, joille Laurila-erotin tai niihin perustuva rikastusjärjestelmä toki saattoi olla hyvinkin arvokas työkalu. Keksijä itse tuskin hyötyi tästä suoranaisesti, mutta kaikki tämä levitti Laurilan laitteita ja tietoa niistä.

Lopulta Krupp Rheinhausen ei kuitenkaan ryhtynyt valmistamaan Laurila-erottimia. Syytä ratkaisuun ei tiedetä. Yritys jatkoi omien sähkömagneettisten erottimiensa myyntiä. Yksi mahdollisuus on, että saksalainen suuryhtiö päätti sittenkin tai halusi alun perin pitää Laurilan innovaation leviämisen minimissä ja rauhoittaa teknologiakilpaa sekä markkinoita minkä voi. Matti Tikkasen arvio edellä viittaa siihen, että Laurilan erotin olisi voinut syrjäyttää Rhein-

hausenin aiemmat erottimet markkinoilta. Samanaikaisesti 1950-luvun loppupuolella aikanaan tunnettu Sala Maskinfabrik kaupallisti Ruotsista käsin ns. Mörtzell-erottimen, joka perustui samoihin periaatteisiin ja kohosi laitemarkkinoilla Laurilan erotinta kansainvälisesti tunnetummaksi.⁴³

LAILILAN EDELÄJÄT MAGNETTIEROTUKSEN ALALLA SUOMESSA

Laurilan keksintöjen patentointiin vaikutti suomalaisen vuoriteollisuuden historia, joka oli totta kai jo ennen Laurilaa ollut varsin kansainvälistä ja ylijarajaista. Laurilan innovaatio merkitsi jonkinlaista käännettä vaikutteiden suunnassa, kun hänen erot-

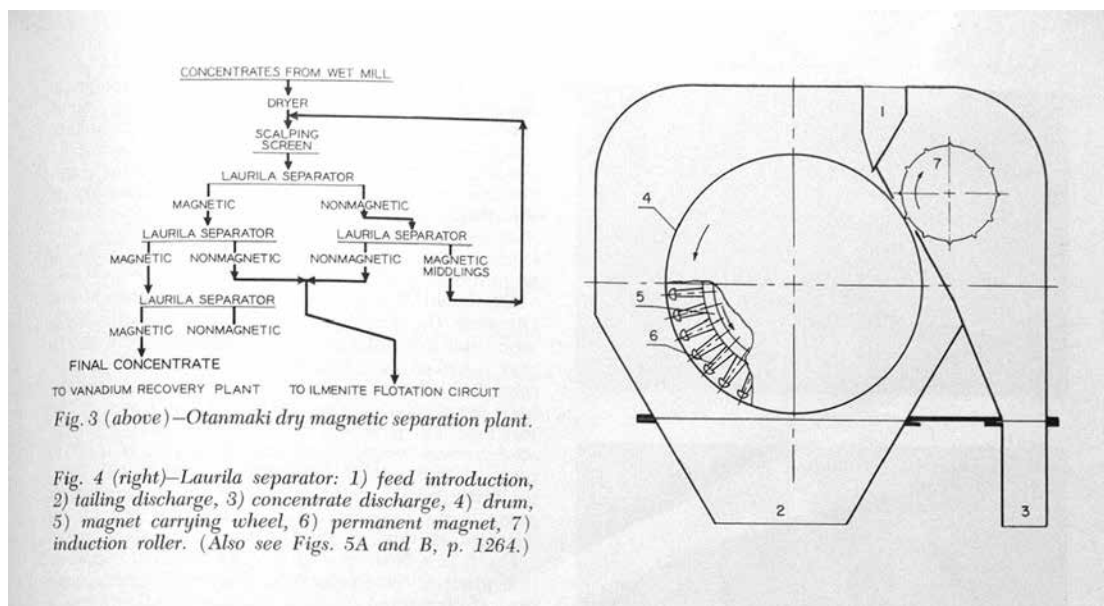


Fig. 3 (above)—Otanmäki dry magnetic separation plant.

Fig. 4 (right)—Laurila separator: 1) feed introduction, 2) tailing discharge, 3) concentrate discharge, 4) drum, 5) magnet carrying wheel, 6) permanent magnet, 7) induction roller. (Also see Figs. 5A and B, p. 1264.)

Kaaviokuva Otanmäki Oy:n kuivamagneettisesta rikastuksesta Laurilan erottimin 1950-luvun loppupuolella. Rikastustuote (vasemmalla) eteni vanadiinitehtaaseen. Kuva on todennäköisesti saatu Runolinnalta. Oikealla Laurilan piirros erottimen toiminnasta. Kuvat: Roe 1958, 1263.

timensa levisi ulkomaille. Oli täältä tosin viety alan keksintöjä ennenkin.⁴⁴ Laurilan ensimmäistä erotinta vietiin myös Ruotsista Yhdysvaltoihin ja Länsi-Saksasta toisaalle ulkomaille.

Suomalainen maaperä oli tarjonnut kansainvälisesti varhaisia ja merkittäviä virikkeitä magneettisen erotuksen kehittämiseksi 1800-luvun lopulla. Laatokan pohjoisrannalla sijaitsevassa Pitkärannassa, joka oli itsenäiseen Suomeen kuuluessaan Impilahden kunnan suurin asutuskeskus, oli aloitettu kaivostoimintaa jo 1700-luvulla. 1800-luvun loppupuolella kaivosta ryhtyi kehittämään Otto Trüstedtin isä, saksalainen Otto Gottlob Trüstedt, joka palkkasi sinne ensin ruotsalaisen kaivosinsinööri Gustaf Gröndalin vuonna 1880 ja myöhemmin kosmopoliittisen, Pariisissa syntyneen poikansa Oton. Gröndal nai nuoremman Oton sisaren. Yhteistyössä nuoremmat miehet kehittivät Pitkärannan kaivoksen

tarpeisiin magnetiitin rikastusta ja erityisesti magneettista erotusta sähkömagneettien avulla. Heidän keksimistyönsä johti siihen, että molemmat erikseen patentoivat magneettierottajia.⁴⁵

Gröndal sai patentin tavalleen erottaa magneettista malmia vuonna 1894. Pitkärannan uusi rikastusprosessi huipentui pyörivään sähkömagneettiseen erottimeen.⁴⁶ Gröndal myös julkaisi artikkeleita rikastustutkimuksistaan sekä Suomessa että Ruotsissa. Tekniska Föreningen i Finland -yhdistyksen kokousväelle ja sen lehdessä vuonna 1896 Gröndal mainitsi yhtenä alan kehittäjänä kaikkien tunteman Thomas Edisonin, joka nerokkuus oli hiljattain yltänyt tuloksiin myös magneettisessa erotuksessa. Otto Trüstedt puolestaan sai erottajalleen patentin Ruotsissa vuonna 1895, jatkoi pian sen kehitystyötä Saksassa, ja vuonna 1899 hänelle myönnettiin patentti Yhdysvalloissa.⁴⁷

Nämä yllirajaiset keksinnöt eivät johtaneet niiden taloudelliseen hyödyntämiseen Suomessa, ja Pitkärannan kaivos suljettiin 1900-luvun alussa. Ruotsiin palanneen Gröndalin erotinkeksintöä myytiin Ruotsiin ja maailmalle 1900-luvun alkupuolella. Gröndalin keksimistö pääsi kunnolla vauhtiin vasta Ruotsissa ja monen muun hankkeen ohella hän ehti avustaa Höganäs Ab:n rautapulverituotannon aloitusvaiheessa. Asiantuntija ja pätkätyöläinen Otto Trüstedt tuli myöhemmin kansallisesti tunnetuksi tärkeästä roolistaan Outokummun kuparimalmin löytämisessä vuonna 1910.⁴⁸ 1950-luvun alun patenttivirastoissa Erkki Laurilan keksintöjä mittailtiin vertaamalla tähän jo pitkään ja kansalliset rajat ylittäneeseen keksimisperinteeseen.

Tätä taustaa vasten ei yllätä, että Laurilan ideoiden ja laitteiden patentointi oli työlästä, vaati runsaasti perustelua ja kesti yleensä useamman vuoden. Sinänsä tämä tuskin oli poikkeuksellista. Suomessa Patentti- ja rekisterihallitus empi patentin myöntämistä magneettierottajalle (tai useammalle), koska sellaisen periaate oli patentoitu jo huomattavasti aiemmin. Laurila korosti keksintönsä tehostavan aiempaa tekniikkaa huomattavasti ja kirjoitti vastineessaan, että keksintö oli jo käytössä Suomessa ja se oli saanut asiantuntijoilta hyvän vastaanoton.⁴⁹ Matti Tikkanen muisti, että patenttiviraston tarkastaja vastasi Laurilan hakemukseen, että tällainen erottaja ei yksinkertaisesti voi toimia! Virkamies saatiin lopulta suostuteltua parin korttelin matkalle teknillisen fysiikan kellarilaboratorioon ihmettelemään laitteen pienikokoista ja kiistatta toimivaa prototyyppiä. Tikkasen mukaan tarkastajan epäuskoinen ilme oli näkemisen arvoinen.⁵⁰

LAILILAN KOLME EROTINTA JA ANTI MAGNEETTISEN RIKASTUKSEN TEORIAAN

Tieteentekijänä Laurila halusi julkaista keksintönsä. Alusta asti Laurila suuntasi tutkimus- ja kehitystyönsä julkaisut kansainväliselle tiedeyhteisölle ja teollisuudelle. Ensimmäiset magneettierotukseen liittyvät artikkelinsa Laurila julkaisi vuonna 1954, molemmat saksaksi. Toinen oli teoreettinen tieteellinen julkaisu, joka kyllä esitteli myös Laurilan erottimen käytännön ratkaisuna alan ongelmiin, Suomalaisen tiedeakatemian sarjassa ja toinen teknisempi artikkeli saksalaisessa Stahl und Eisen -lehdessä, joka keskittyi raudan ja teräksen metallurgiaan.⁵¹

Ehkä yllättäen juuri Laurilan Suomalaisen tiedeakatemian julkaisusta tuli alalla paljon käytetty ja viitattu, varhainen lähde. Seuraavassa Laurilan tästä aihepiiristä kirjoittamassa kansainvälisessä julkaisussa kieli oli vaihtunut englanniksi ja sillä hän myös jatkoi. Useampi julkaisu ilmestyi Suomalaisen tiedeakatemian sarjassa, mutta niidenkin avulla Laurila tuli kansainvälisesti tunnetuksi.⁵²

Kun muilta tehtäviltä pystyi, Laurila jatkoi magneettisen erotuksen kehitystyötä aina 1980-luvulle asti. Entisen Suomen Akatemian jäsenyys tarjosi Laurilalle mahdollisuuden jatkaa työskentelyä 70-vuotiaaksi, jolloin hän jäi eläkkeelle vuonna 1983. Tässä vaiheessa hänen viimeisen erottimensa kaupallistaminen eteni vielä suhteellisen lupaavasti, tietenkin vailla varmuutta tulevasta.⁵³ Avonainen tilanne selittää osaltaan sitä, että hän jätti koko innovaatiotoimintansa pois muistelmakirjastaan, joka julkaisiin vuonna 1982.

Teollisuusurallaan Outokumpu Oy:ssä akateemikkoon tutustunut Toimi Lukkariinen esitteli oppikirjassaan kolme Laurilan erotinta, kaikki piirroskuvoin: 1. kestomagneeteilla varustettu kuivaerotin, joka ”soveltuu hienon malmin rikastukseen”, 2. Lauri-

lan vahvamagneettinen rumpuerotin, jossa on ”nerokas rikasteen poiston järjestely” ja 3. Laurilan HIPS-erotin.⁵⁴ HIPS-akronyymi saatiin sanoista High Intensity Permanent [Magnet] Separator.

Näiden kolmen Laurilan erottimen ajoitus on siis karkeasti 1950-luku, 1960-luku ja 1970-luku. Niiden väliin sijoittui lisäksi liuta muita ja vähäisempiä erottimiin liittyviä keksintöjä ja parannuksia. 1950-luvun Laurilan erotinta on käsitelty edellä. Siitä ei tullut kappalemääräisesti maailmanmenestystä. Laitte jäi monista syistä suhteellisen pienen teollisuusyritysten ryhmän käyttöön, mukaan lukien Otanmäki Oy. Näille, Laurilalle ja varsinkin Höganäs Ab:lle Laurilan erotin oli erittäin tärkeä ja onnistunut innovaatio.⁵⁵

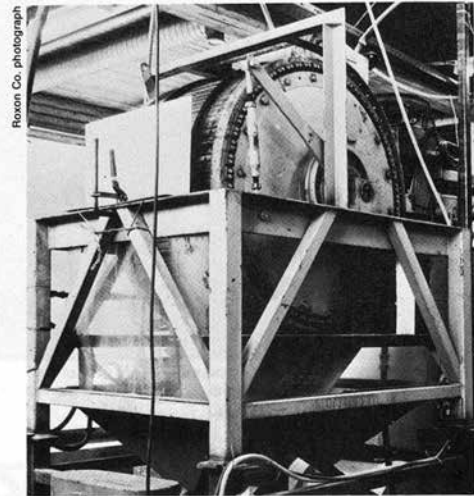
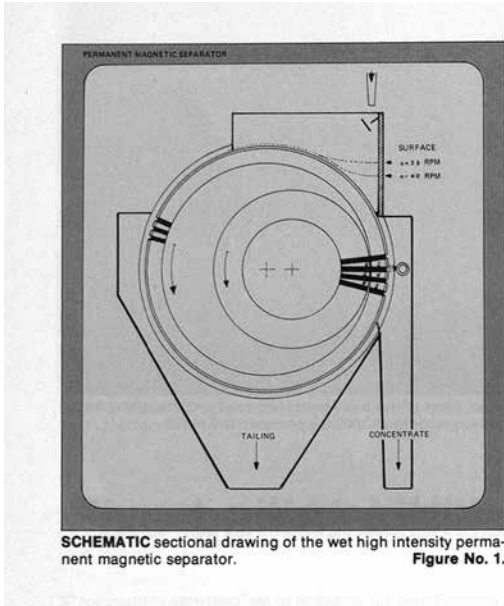
Laurilan 1960-luvun vahvamagneettisen erottimen menestyksestä tai vaikutuksesta on vain vähän tietoja. Laurila pyrki yhteistyökumppaneineen kaupallistamaan laitteen tai laiteperheen, saamaan siitä teollisen tuotteen maailmanmarkkinoille myytäväksi, mutta toiset yritykset olivat tässä vai-

heessa jo vakiinnuttaneet markkinat. Laurila keskittyi kotimaan asioihin eikä käytännön yritystoiminnalle jäänyt riittävästi aikaa. Harva edes tiesi, että Laurilan lähipiiri oli perustanut yrityksen nimeltä Permeco Oy vuonna 1964. Perheyritys jäi 1970-luvulla toiseksi myös hänen poikiensa muille mielenkiinnon kohteille.⁵⁶

1970-luvulla HIPS-erotinta muokattiin kahden kotimaisen yrityksen kanssa. Prototyypin valmisti Murskauskone, sittemmin nimeltään Roxon Oy.⁵⁷ Yrityskaupan mukana laite siirtyi Kone Oy:n kehitysohjelmaan. Rikastustekniikan professori Toimi Lukkarinen, joka oli aiemmin seurannut Laurilan kehitystyötä Outokumpu Oy:ssä, totesi Kone Oy:n valmistamasta HIPS-laitteesta vuonna 1987, että ”Laurilan erotin on antanut lupaavia tuloksia sekä kuiva- että märkärikastuksessa, mutta todellista läpimurtoa sen kohdalla ei ole tapahtunut”.⁵⁸ Sitä saatiin maailmalle kaupaksi joitakin kappaleita,⁵⁹ kunnes Kone Oy luopui kaivosliiketoiminnasta kokonaan. Osaksi kaivosteollisuuden

Suomen Akatemian jäsen Laurila sai johtamansa VTT:n teknillisen fysiikan laboratorion henkilökunnalta 60-vuotislahjaksi pienikokoisen, pöydälle sopivan magneettiseparaattorin kesällä 1973. Laitte erottelee sähkömagneettisesti valkoisia ja punaisia puupalloja toisistaan – epäilemättä ensimmäisenä maailmassa. Juju oli siinä, että toisiin palloihin oli upotettu metallia, jota magneetti veti puoleensa. ”Ihmelaitte” luovutettiin päivänsankarille tämän kesäpaikassa Laitikkalassa pidetyissä juhlissa. Huvilaa oli 1950-luvulla rakennettu osaltaan Laurilan erottimen lisenssituloilla Länsi-Saksasta. Kuva kesämökiltä: Maarit Leskelä-Kärjen arkisto. Lähikuva laitteesta: Petri Paju.





Tältä näyttivät Erkki Laurilan 1970-luvun alussa kehittämän HIPS-erottimen piirros ja prototyyppi. Kone Oy:n osasto ryhtyi kaupallistamaan laitetta vuosikymmenen lopulla, mutta yhtiö luopui koko alasta 1980-luvun keskivaiheilla. Kuvat: Laurila ja Meinander 1976.

alamäki ja ahdinko 1980-luvulla hautasi Laurilan viimeisen laitteen.

Pitkin 1900-lukua kaivos- ja metalliteollisuuden tarvitsemaa kasvavaa rikastusalaa vei eteenpäin magneettisten terässeosten kehitystyö. Myös Laurila seurasi herkeämättä uusien kestmagneettimateriaalien ominaisuuksia. Lopulta hän ei enää mennyt mukaan, kun 1970-luvun lopulla tulivat käyttöön harvinaisiin maametalleihin perustuvat magneetit, jotka mullistivat erotinsuunnitelmat 1980-luvulta alkaen – tämä materiaali- ja teknologiamurros sinetöi Laurilan kolmannen erottimen kohtalon.⁶⁰

Laurilan erottimien kaupallistamishistoria monine vastuksineen 1950-luvulta 1980-luvulle on kuitenkin toinen, laajempi tarinansa. Lisäksi erottimien kehitystyötä tukivat, vaikka samalla keskeyttivät, useat muut kehityshankkeet, joita Laurila niin ikään johti kaivos- ja metalliteollisuuden parissa. Näiden tuloksista tunnetuin ja pitkäikäisin on Satmagan-niminen magneet-

tin analysaattori, jonka Outokumpu Oy kaupallisti 1960-luvulla. Sitä myydään edelleen, yli 50 vuotta laitteen julkistamisen jälkeen.⁶¹

Outokumpu Oy nimitti Erkki Laurilan yhtiön hallintoneuvostoon jo vuonna 1955, mikä oli merkittävä tunnustus Laurilan alalla hankkimasta asiantuntijuudesta. Laajemmin merkittävää oli, että tultuaan valituksi Suomen Akatemian jäseneksi vuonna 1963 Laurila käytännössä siirsi laboratorionsa hankkeita, kuten juuri Satmagan-projektin, hieman aiemmin perustettuun Outokumpu Oy:n Fysiikan tutkimuslaitokseen ja yrityksen tuleviksi tuotteiksi. Tästä Laurilan ja kumppaneiden kaivostekniikan kehitystyön jatkeesta ja jatkajasta syntyi monta menestystuotetta.⁶² Tutkimusyksikkö oli yksi nykyisen Outotec-yhtiön tärkeä alkujuuri.

Alusti asti Laurila siis tarkasteli ja jalosti julkaisuissaan magneettisen rikastuksen teoreettista, matemaattista käsittelyä. Nämä tulokset olivat tärkeässä osassa, kun Lauri-

lan ansioita vuonna 1963 arvioitiin Suomen Akatemian uuden jäsenen valintaa varten: ”Erittäin ansiokkaita ovat ne hänen tutkimuksensa, jotka käsittelevät magneettisen rikastuksen teoriaa. Näiden perusteella hänet tunnetaan – rikastustekniikan professorin [mahdollisesti Hukki, tämän kirjoittajan lisäys] antaman lausunnon mukaisesti – yhtenä magneettisen rikastuksen johtavana teoreetikkona maailmassa.”⁶³ Arvioija muisti niin ikään tulosten käyttökelpoisuuden arvon: ”Teoreettisten tutkimustensa tuloksia hän on myös soveltanut käytäntöön niin, että useita hänen nimiinsä patentoituja laitteita on sekä kotimaassa että ulkomailla rikastustekniikan käytössä.”⁶⁴ TKK:n rehtori Jaakko Rahola, joka taisi haluta korkeakoululle edustajan Suomen Akatemiaan, lausui ylimääräisenä todistajana, että Laurilan asiantuntemusta magneettierotuksen saralla oli käytetty ulkomailla Ruotsista Saksaan, Italiaan ja Filippiineille. ”Pyörivä-kenttä-magneettiseparaattori” oli käytössä monissa maissa.⁶⁵ Vaikka niiden tapahtumista ei ole syytä epäillä, useista tällaisista ulkomaan hankkeista ei ole jäänyt tiedonmuruakaan Laurilan papereihin.

Laitteiden ja organisaatioiden kehitystyön sijasta Erkki Laurilan magneettisten rikastustutkimusten kestäväntä antia ovat olleet hänen teoriaa koskevat julkaisunsa. Kun alan kokeneet asiantuntijat hiljattain tarkastelivat magneettisen erotuksen tärkeimpiä teknologisia virstanpylväitä viimeisen sadan vuoden ajalta, Laurilan erotin (I) ei ollut mukana – kuten eivät esimerkiksi useammat venäläiset ja jotkin ranskalaiset keksinnöt. Vaikka Laurila oli ja on edelleen tuttu nimi alan asiantuntijoille, hänen innovaatioidensa suhteellisen suppea leviäminen tekee ymmärrettäväksi tämän jäämisen pois alan kehityksen kohokohdista.⁶⁶ Samaan aikaan kun magneettisen erotuksen laiteratkaisut ovat vuosien myötä harpponeet eteenpäin, Laurilan reilut 40 vuotta sitten julkaisemiin teoreettisiin tuloksiin luotetaan

edelleen 2000-luvun magneettisen rikastuksen oppikirjassa.⁶⁷

1970-luvulla Erkki Laurila ennakoி magneettiselle erotukselle monenlaista tulevaa käyttöä.⁶⁸ Nykyään tämä tekniikan erikoisalue tosiaan kukoistaa eri tehtävissä – ja osin suomalaisten valmistajien toimesta. Vuosisadan lopun nopea kehitys on levittänyt magneettiset erotusmenetelmät yhä laajemmalle alueelle jätevesien puhdistuksesta ruoka-aineteollisuuteen sekä monipuoliseen käyttöön bioteknologiassa.⁶⁹ 2000-luvulla kansainvälinen suomalainen Metso-konserni jatkaa ostamansa perinteisen magneettierottimien toimittajan Sala International Ab:n liiketoimintaa. Metso Minerals kuuluu maailman johtaviin magneettisten rikastus- ja kiertäytysratkaisujen toimittajiin. Niin ikään Outotec, jonka yhtä tärkeää edeltäjää Laurila siis oli oleellisesti rakentamassa, tekee nykyään magneettierottimia.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä tutkittu Erkki Laurilan tutkimusyh-teistyö rakentui aiempien Valtion lentokonetehtaan, TKK:n ja VTT:n yhteisten kollegoiden sekä teollisuusyhteyksien varaan. Erityisen merkittävä yritys Laurilan sisäänpääsulle kaivosteollisuuteen oli aloitteleva valtionyhtiö Otanmäki Oy tutkimustilauksineen. Kollegoineen Laurila edustaa malliesimerkkiä korkeakoulujen ja yritysten hedelmällisestä yhteistyöstä. Jatkossa ruotsalainen Höganäs Ab teki Laurilan työstä yllirajaista, kansalliset rajat ylittävää. Laurilan ja tutkijakollegoiden toimintaa voi tosin ajatella yllirajaiseksi myös siinä mielessä, että se ei noudattanut yritysten rajoja, vaan professorit saattoivat toimia useassa yrityksessä ja tällä tavoin hyödyntää ja hyödyttää useiden yhtiöiden kokemuksia sekä toimintaa. Yritysten myötävaikutuksella Laurilasta kasvoi 1950-luvun edetessä laajemmin tärkeä

kotimaisen kaivosteollisuuden teknologian uudistaja.

Keväällä 1955 valtioneuvosto nimitti Erkki Laurilan Energiakomitean puheenjohtajaksi, mistä alkoi hänen pitkä työnsarkansa suomalaisen ydinvoima-alan kehittäjänä. Professorin ansiot kaivosalalla epäilemättä tukivat hänen valintaansa. Näiden asioiden yhteys on jäänyt aiemmin huomaamatta, koska tämä puoli Laurilan työurasta on pysynyt huonosti tunnettuna. Uusien vastuiden seurauksena yhä suurempi osa professorin ajasta tuli sitoutumaan muuhun kuin tekniikan tutkimukseen ja kehitystyöhön. Emme koskaan saa tietää, mitä olisi seurannut toisenlaisesta, enemmän tutkimukseen keskittyneestä työurasta. Tosin esimerkiksi Laurilan kollega Risto Hukki teki sellaisen. Hukki toimi erikoisalallaan pitkään kansainvälisesti arvostettuna tutkijana ja keksijänä. Näistä jälkimaailma Suomessa, historiantutkijat varsinkin, on muistanut lähinnä Laurilan julkisia tehtäviä.

Monet seikat hautasivat Laurilan erottimen suuren yleisön silmistä. Todennäköisesti yllärajoitus Laurilan erotusinnovaation syntyprosessissa vaikutti osaltaan siihen, että menestys jäi pienen piirin tuntemaksi Suomessa. Höganäs Ab:lla ei ollut kansallista eikä muuta intressiä mainostaa innovaatiota. Yleisemminkin Höganäs-konsernin edelleen jatkuva menestys on pidetty poissa julkisuudesta. Höganäs Ab ja siitä irtautunut entinen Yhdysvaltain tytäryhtiö jatkavat toimintaansa maailman johtavina teknologia-yhtiöinä erikoisaloillaan jauhemetallurgiassa.⁷⁰ Etenkin aluksi Höganäs Ab halusi nimenomaan rajoittaa Laurilan keksinnön leviämistä, ettei laite päädy heidän kilpailijoilleen. Samoihin aikoihin näin toimi myös kanadalainen kaivosjätti INCO, joka viimeisteli oman liekkisulatusmenetelmänsä pian Outokummun jälkeen, mutta piti sen vain omassa käytössään.⁷¹ Ensimmäinen Laurilan erotin saattoi ratkaisevana aikana joutua erinomaisuutensa vangiksi.

Toisaalta Laurila varmaan tunnisti innovaationsa yhdeksi pieneksi rattaaksi kaivos- ja metalliteollisuuden monimutkaisissa prosesseissa. Niissä esimerkiksi rikastukseen kehitettiin jatkuvasti monia erilaisia ratkaisuja magneettisen erotuksen ohella ja tämä laaja teollisuusalojen keksimis- ja kehitystyö jäi ja jää säännöllisesti vain alan ammattilaisten tietoon ellei ko. yritys tai kehittäjä sitä erityisesti markkinoi ulospäin.⁷² Otanmäki Oy teki osaltaan Laurilaa tunnetuksi etenkin 1950-luvulla,⁷³ mutta joutui sittemmin huonoon asemaan. Keksijä itse ei halunnut kerskua saavutuksillaan. Sen sijaan hän keskittyi tulevana vuosikymmeninä julkisuudessa toimittajia ja yleisöä kiinnostaneeseen sekä yhteiskunnallisesti tärkeämpään atomivoimaan, vaikka arjen työssä jatkoi sitkeästi magneettisen erotustekniikan tarkastelua ja parantelua.

Kun Laurilan keksinnöt ja muu tutkimustyö on jäänyt unohduksiin, on muodostunut käsitys, jonka voisi kärjistäen esittää siten, että Laurila oli tiedemiehenä lähinnä kansallisesti tunnettu suuruus, jonka aika ja kenties maltti ei yhteiskunnallisilta tehtäviltä riittänyt tutkimukseen syventymiseen. Tarkempi tutkimus, kuten Laurilan erottimen tarina, osoittaa, että hän teki aktiivisesti teknistä tutkimus- ja kehitystyötä ja tuli kansainvälisesti tunnetuksi tutkimusalueillaan 1950-luvun alkuvuosien mennessä.

Kiinnostavasti Sampsu Kaataja arvelee Laurilan ”kestomagneettiseparaattorin” 1950-luvulta yhdeksi tutkimuksensa kahden korkeakoulun harvoista 1900-luvun ”menestysinnovaatioista”, samaan joukkoon esimerkiksi Artturi Ilmari Virtasen keskeisten keksintöjen kanssa.⁷⁴ Toisaalta luettelon kahdeksasta innovaatiosta vain Virtasen kehittämät ovat laajemmin tunnettuja. Silti edes Virtasen suurimmat innovaatiot eivät kaikki olleet rahasampoja eivätkä levinneet ulkomaille, vaikka niin voisi kuvitella, koska ne tai itse akateemikko Virtanen ovat Nobel-palkinnon maineen esiin nostamina

harvinaisen tunnettuja.⁷⁵ Tämän artikkelin tulokset vahvistavat kuitenkin sen, että Laurilan ensimmäinen magneettierotin oli menestyksenkäs innovaatio.

Samanaikaisesti kun Laurilan erotin muistuttaa siitä, miten vaikeaa on historiallisesti määritellä innovaation menestystä, sen voi todeta olleen kiistaton menestys sekä keksijälleen että useammalle yritykselle. Varmuudella Laurila toivoi siitä silti enemmän, mitä sopimus Krupp-yhtymän osayhtiön kanssa antoi odottaa. Seuraavat erotininnovaatiot eivät yltäneet lähellekään aiempaa tulosta.

Yhtäältä menestys kaivos- ja metalliteollisuuden innovaattorina oli yksi, kenties välttämätön edellytys Laurilan tulevalle asemalle, hänen kultakaivoksensa. Samalla on perusteltua olettaa, että innovoinnin vaikeudet ajoivat häntä osaltaan kehittämään nykytermein sanottuna suomalaista innovaatioympäristöä ja tutkijoiden työnteon sekä vaikuttavuuden edellytyksiä kauaskantoisella tavalla. Nimenomaan välillisesti Laurilan erotin muodostui seurauksiltaan arvaamatoman tärkeäksi sodanjälkeisen teknologisen Suomen kehitykselle.

Kirjoittaja työskentelee projektitutkijana Aalto-yliopistossa. Tutkimushanketta Erkki Laurilan elämäkerran kirjoittamiseksi ovat rahoittaneet Niilo Helanderin säätiö, Kariston säätiö, Alfred Kordelinin säätiö ja Suomen Kulttuurirahasto.

Tämä artikkeli on vertaisarvioitu. Tekniikan Waiheita kiittää arvioijia arvokkaista kommentista.

Kiitos kaikille tiedoja antaneille.

¹ Tutkimusta näistä on kuitenkin tehty viime vuosina. Ks. Paju 2008; Kaataja 2010; Paju 2015. Vrt. esim. Oksanen, Rilla, Pesonen ja Ahola 2010.

² Hukki 1964, 489, 494; Svoboda 2004, 1–2.

³ Laurila 1982, 130.

⁴ Tikkanen 1983.

⁵ Kokkala ja Meinander 1983.

⁶ Ehdin itsekin selvittää Laurilan keksintöjä hyvän aikaa ennen kuin sain vinkin näistä kirjoista.

⁷ viite tulossa; Kaataja 2010, sivut.

⁸ Ks. Miettinen, Lehenkari, Hasu & Hyvönen 1999; Paju 2015; Särkikoski 1999, passim. Ylirajaisuuden käsitteestä teknologian historian tutkimuksessa ks. van der Vleuten 2008.

⁹ Illi, Lindholm, Levanto, Nikula, Pöyliö ja Vuoristo 1985, 98, 103, 106. Ks. myös Tervo 2011, 165.

¹⁰ Laine 1955; Kuisma 1985; Särkikoski 1999; Ukkola 2004; Nykänen 2009. Otanmäki Oy:n herättämästä pitkäkestoisesta julkisesta väittelystä ks. Raudaskoski 2014. Nasevan yleiskuvan Otanmäen historias-ta antaa Tervo 2011.

¹¹ Särkikoski 1999, 270; Paju 2015.

¹² Harki 1955; Runolinna 1955. Otanmäen hankkeen taustasta jo ennen sota-aikaa, ks. Nykänen 2009, 102–103.

¹³ Laurila, Erkki: "Några i laboratorium för teknisk fysik vid Helsingfors Tekniska Höskola utvecklade mätinstrument." Esitelmä n. 1951, 6. Laurilan arkisto, KA; Laurila, Jantti & Hukki 1951, passim; Nykänen 2009, 94, 102.

¹⁴ Laurila, Jantti & Hukki 1951; Hukki 1964, 511–512.

¹⁵ Runolinna, Urmas: "Vuorimiesyhdistys – Bergsmannaföreningen ry:n toimintakertomus vuodelta 1951." Vuoriteollisuus, 10. vsk, 1/1952, 41.

¹⁶ Uino 2000, 39.

¹⁷ Raudaskoski 2014, 79 ja passim.

¹⁸ Vuosikertomus 1950. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki 1951, 28.

¹⁹ Julkaiseminen jäi oletettavasti tekemättä. Salmi-nen siirtyi pian töihin yritykseen, Regnell aloittamaan laboratorion matematiikkakonehanketta ja Laurila ei kiireiltään ehtinyt raportoida tutkimusta, joka eteni jo uusia uria. Salmisesta ks. DI-matrikkeli 1965.

²⁰ Vuosikertomus 1951. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. VTT, Helsinki 1952, 34.

²¹ Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Vuosikertomus 1950. Helsinki 1951, 28.

²² Patenttihakemus 8.8.1951. Hakija ja keksijä Erkki Laurila. "Tapa heikosti magneettisen mineraalin rikastamiseksi magneettista separointia käyttäen." Hakemus peruutettu 11.1.1954. PRH:n Patenttidiaari 1951, kirja 1–1000, s. 346. KA.

²³ Diplomi-insinöörit ja arkkitehdit 1965, 586.

- ²⁴ Laurila, Erkki: PM angående magnetseparering, 25 Juni 1951. LH, kotelo 2, KA; Tikkanen 1983, 8.
- ²⁵ Ks. Kihlstedt 1960, erit. 823.
- ²⁶ Laurila, Erkki: Huomioita kotimaisista Al- Ni- kes- tomagneeteista, 2 s. Merkitty maaliskuu 1945. Laurilan arkisto, KA; Hukki 1964, 485–486; Paju 2015.
- ²⁷ Undersökning av Laurilaseparatorn för järnpul- ververket i Riverton, USA. Höganäs den 22 decem- ber 1952. (Allekirjoitus epäselvä.) Anrikt. rapp. nr 25. Laurilan arkisto, KA.
- ²⁸ "Hoeganaes Sponge Iron Corp. i Riverton "världens största järnpulveranläggning". Brännpunkten årg. 13, 5/1955, 11.
- ²⁹ Höganäs-yhtiön historiankirjoitus vahvistaa tämän kysynnän. Höganäs AB's historia, 2012.
- ³⁰ Markku Laurilan haastattelu 20.5.2014.
- ³¹ Erkki Laurila Torstenssonille, Höganäs-Billesholm Ab, 14.4.1953. VTTA.
- ³² Vuosikertomus 1953. Valtion teknillinen tutkimus- laitos. VTT, Helsinki 1954, 22–23.
- ³³ Mm. "Teknillinen tutkimus teknisen kehityksen tärkein edellytys." Maaseudun tulevaisuus 28.3.1953, 6.
- ³⁴ Raudaskoski 2014, passim.
- ³⁵ Erkki Laurila Valmet Oy Tourulan tehtaalle, Jyväskylä, Helsinki 14.1.1955. VTTA; Runolinna 1957, 255–256.
- ³⁶ Runolinna 1955, 28.
- ³⁷ Brundin, Nils H.: "Järnpulver, reducerad ilmenit och atomiserat stål." Brännpunkten årg. 14, 4/1956, 3–6, erit. 6; Tikkanen 1983, 9.
- ³⁸ Illi, Lindholm, Levanto, Nikula, Pöyliö ja Vuoristo 1985, 105; Ukkola 2004, 14, 130. Otanmäen rikas- tusratkaisujen kehityksestä ks. myös Kokkala & Meinander 1983; Lukkarinen 1987, 259–260.
- ³⁹ "På rationaliseringsrevy i Västervik." Brännpunkten årg. 15, 2/1957, 7–12, erit. 8–9.
- ⁴⁰ Tikkanen 1983, 8.
- ⁴¹ Erkki Laurila herroille Döring ja Taeger, Maschi- nen- und Stahlbau, Krupp-Rheinhausen. Helsinki 24.2.1955; M. H. Tikkanen (Laurilan puolesta) Fried. Krupp-ille, Patentabteilung, 4.9.1957. VTTA; Markku Laurilan haastattelu 20.5.2014; Markku Laurilan sähköposti 16.6.2015.
- ⁴² Höganäsän toimitusjohtaja P. E. Gummesson Erkki Laurilalle 26.11.1958. VTTA; Roe 1958, erit. 1264.
- ⁴³ Hukki 1964, 496–497, 501; Lukkarinen 1987, 241
- ⁴⁴ Ks. myös Raumolin 1992.
- ⁴⁵ Stigzelius 1987, 6.
- ⁴⁶ Laine 1955, erit. 29.
- ⁴⁷ Gröndal 1896; Stigzelius 1987, erit. 6.
- ⁴⁸ Laine 1955, 29–30; Kuisma 1985, 9, 11; L'Estrade 2003, passim.
- ⁴⁹ Kaataja 2010, 158, 160.
- ⁵⁰ Tikkanen 1983, 9.
- ⁵¹ Laurila 1954a; 1954b.
- ⁵² Laurila 1958.
- ⁵³ Ks. Kokkala ja Meinander 1983.
- ⁵⁴ Lukkarinen 1987, 240–241, 247–248, 252–253.
- ⁵⁵ Paju, tulossa.
- ⁵⁶ Markku Laurilan haastattelu 20.5.2014; Paju, tulossa.
- ⁵⁷ Laurila ja Meinander 1976.
- ⁵⁸ Lukkarinen 1987, 252.
- ⁵⁹ Lauri Heikkilän sähköposti 5.2.2015. DI Lauri Heikkilä työskenteli tuolloin Kone Oy:llä myymässä rikastusratkaisuja maailmanlaajuisesti.
- ⁶⁰ Hukki 1964, 485–486; Svoboda 2004, erit. 2 ja passim.
- ⁶¹ Paju 2014; tulossa.
- ⁶² Kuisma 1985, 372–373, ja passim; Särkikoski 1999, 248.
- ⁶³ Akatemialautakunnalle. Turussa 4.2.1963 Martti Kantola. Akatemialautakunnan arkisto, KA.
- ⁶⁴ Akatemialautakunnalle. Turussa 4.2.1963 Martti Kantola. Akatemialautakunnan arkisto, KA.
- ⁶⁵ Pöytäkirjan liite. 28.3.1963 Jaakko Rahola. Akate- mialautakunnan arkisto, KA.
- ⁶⁶ Ks. Arvidson & Norrgran 2014; Bo Arvidsonin sähköposti PP:lle 23.2.2016.
- ⁶⁷ Hukki 1964; Lukkarinen 1987; Svoboda 2004, 166.
- ⁶⁸ Laurila, Erkki: "PM. Kestomagneetti-vahvakenttä- erottimen markkinointi." Päiväämätön, n. alkuvuosi 1977. Laurilan arkisto, KA.
- ⁶⁹ Svoboda 2004, 1–2; Yavuz, Prakash, Mayo & Colvin 2009.
- ⁷⁰ Ks. Simon 2009, erit. 3.
- ⁷¹ Korhonen & Välikangas 2014, erit. 271.
- ⁷² Ks. myös Napier-Munn 1997.
- ⁷³ Ks. Runolinna 1955; 1957; Roe 1958.
- ⁷⁴ Kaataja 2010, 158–161, 206.
- ⁷⁵ Pulkkinen 2011, 13–16.

LÄHTEET

Arkistot

Kansallisarkisto (KA)

Akatemialautakunnan arkisto.

Erkki Laurilan arkisto.

Patentti- ja rekisterihallituksen patenttidiarit.

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen arkisto (VTTA)

Erkki Laurilan paperit.

Lehdet

Brännpunkten (Höganäs Ab:n henkilöstölehti) 1955–1957.

Maaseudun tulevaisuus 1953.

Vuoriteollisuus 1952.

Haastattelut ja tiedonannot

Bo Arvidsonin sähköposti kirjoittajalle 23.2.2016.

Lauri Heikkilän sähköposti kirjoittajalle 5.2.2015.

Markku Laurilan haastattelu 20.5.2014 ja sähköposti kirjoittajalle 16.6.2015.

Keskustelut muun muassa seuraavien henkilöiden kanssa: Lauri Heikkilä, Väinö Kelhä, Teuvo Kohonen, Heikki Lantto, Alpo Maksimainen, Martti Paju, Tor Meinander ja Jorma Routti.

Kirjallisuus

ARVIDSON, B. R., & NORRGRAN, D. "Magnetic separation." C. G. Anderson, R. C. Dunne, & J. L. Uhrig (Eds.). *Mineral processing and extractive metallurgy—100 years of innovation*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration, Englewood, CO, 2014, 223–233.

GRÖNDAL, G.: "Anrikning af malmer." *Tekniska föreningens i Finland förhandlingar*, årg. 16, 3/1896, 113–116.

Diplomi-insinöörit ja arkkitehdit. *Diplomingenjörer och arkitekter 1965*. STS:n ja TFi:n julkaisema matrikkeli. Insinöörijärjestöjen kustannus, Helsinki 1965.

Höganäs AB's historia. En resumé, av Rolf Andersson, Nov. 2012. Julkaisematon.

HARKI, Ilmari: "Otanmäki. Otanmäki tänään." *Vuoriteollisuus* 1/1955, 16–17.

HUKKI, Risto Tapani: *Mineraalien hienonnus ja rikastus*. Teknillisten tieteiden akatemia, Helsinki 1964.

ILLI, Jorma, LINDHOLM, Ole, LEVANTO, Ulla-Maija, NIKULA, Jukka, PÖYLIÖ, Esko ja VUORISTO, Esko. "Otanmäen kaivos." *Vuoriteollisuus*, vsk. 43, 2/1985, 98–107.

KAATAJA, Sampsa. *Tieteen rinnalla tekniikkaa*. Suomalaiset korkeakoulututkijat kaupallisten sovellusten kehittäjinä 1900-luvulla. Suomen tiedeseura, Helsinki 2010.

KIHLSTEDT, P. G.: "Magnetiten och bergshantering." *Teknisk Tidskrift* 32/1960, 821–831.

KOKKALA, Matti & MEINANDER, Tor: "Magnetic Separation in Finland." *Magnetic Separation News*, vol. 1, 1983, 25–36.

KORHONEN, Janne M. & VÄLIKANGAS, Liisa.

"Constraints and Ingenuity: The Case of Outokumpu and the Development of Flash Smelting in the Copper Industry." Benson Honig, Joseph Lampel & Israel Drori (eds.). *Handbook of Research on Organizational Ingenuity and Creative Institutional Entrepreneurship*. Edward Elgar, Cheltenham 2014, 254–276.

KUISMA, Markku. *Outokumpu 1910–1985: kuparikavoksesta suuryhtiöksi*. Outokumpu Oy, Helsinki 1985.

LAINE, Eevert: *Neljännensvuosisata maamme kaivos-toimintaa 1885-1910*. Geologinen tutkimuslaitos, Helsinki 1955.

LAURILA, Erkki: "Magnetscheider mit Dauermagneten zur trockenen Aufbereitung feinverteilter starkmagnetischen Eisenerze." *Stahl und Eisen*, vol. 74, 25, 1954a, 1659–1661.

LAURILA, Erkki: *Zur Theorie der trockenen magnetischen Aufbereitung des feinverteilter starkmagnetischen Materials*. *Annales Academiae scientiarum Fennicae*. Sarja A 1, 171. Suomalainen tiedeakatemia, Helsinki 1954b.

LAURILA, Erkki: *An approach to the theoretical treatment of magnetic concentration*. *Annales Academiae scientiarum Fennicae*. Sarja A 6, 8. Suomalainen tiedeakatemia, Helsinki 1958.

LAURILA, Erkki. *Muistinvaraisia tarinoita*. Otava, Helsinki 1982.

LAURILA, E. & JÄNTTI, O. & HUKKI, R. T. "Magnetic and Chemical Analyses of Ores and Mill Products Containing Magnetite and Ilmenite." *Mining Engineering*, vol. III, September 1951, 797–802.

LAURILA, Erkki ja MEINANDER, Tor. "HIMS with Permanent magnets works well in lab tests." *World Mining*, vol. 29, November 12/1976, 56–58.

L'ESTRADE, Leif. *Från järnmalm till järnsvamp - Direktreducering av anrikad järnmalm*. En historik översikt. Stawfordska Sällskapet. Historikgruppen för Höganäs AB. Rapport 5, December 2003. <http://www.stawford.se/pdf/svamphist.pdf> (haettu 26.1.2016.)

LUKKARINEN, Toimi: *Mineraalitekniikka I. Mineraalien hienonnus*. (1. painos 1984.) Insinööritieto Oy, Helsinki 1985.

LUKKARINEN, Toimi: *Mineraalitekniikka. Osa II. Mineraalien rikastus*. Insinööritieto Oy, Helsinki 1987.

MIETTINEN, Reijo, LEHENKARI, Janne, HASU, Mervi & HYVÖNEN, Jukka. *Osaaminen ja uuden luominen innovaatioverkoissa*. Tutkimus kuudesta suomalaisesta innovaatiosta. Helsinki 1999.

MURTO, Eero, NIEMELÄ, Mika & LAAMANEN, Tapio. *Altavastaajasta ykköskenttään: Suomen teknologiapolitiikan ja sen toimijaorganisaatioiden kehitysvaiheita 1960-luvulta nykypäivään*. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Helsinki 2007.

NAPIER-MUNN, T.J. "Invention and innovation in mineral processing." *Minerals Engineering*, vol.

- 10, 8/1997, 757–773.
- NYKÄNEN, Panu. Jos kultaa kaivannet: Outokumpu Oy:n säätiö vuoriteknikan, metallurgian ja geologian opetuksen ja tutkimuksen edistämistä varten 1937–2010. Outokumpu oy:n säätiö ja Tekniikan Historian Seura, Helsinki 2009.
- OKSANEN, J., RILLA, N., PESONEN, P. ja AHOLA, E. Löystymätön ruuvi – merkittäviä kotimaisia metsä- ja metalliteollisuuden innovaatioita 60 vuoden ajalta. Tekes katsaus 269/2010. Tekes, Helsinki 2010.
- PAJU, Petri. ”Ilmarisen Suomi” ja sen tekijät. Matematiikkakonekomitea ja tietokoneen rakentaminen kansallisena kysymyksenä 1950-luvulla. Turun yliopiston julkaisuja C 269. Turku 2008.
- PAJU, Petri (ilman nimeä): ”Laurilan keksintö voimissaan.” Tekniikan historia, vsk. 2, 6/2014, 4.
- PAJU, Petri. ”Hienomekaaninen keksintötehdas kriisiaikana: Erkki Laurila tutkimusjohtajana Valtion lentokonetehdaalla.” Tekniikan Waiheita, vol. 33, 1/2015, 17–40.
- PAJU, Petri. Erkki Laurilan elämäkerta. Käsikirjoitus (tulossa).
- PULKKINEN, Jarmo: ”AIV-menetelmä - suomalainen teknologinen järjestelmä.” Tekniikan Waiheita, vsk. 29, 1/2011, 5–18.
- RAUDASKOSKI, Miika: Malmireservi vai rautapulan ratkaisu? Otanmäki kaivospoliittisessa keskustelussa 1938–1953. Suomen historian pro gradu -tutkielma. Itä-Suomen yliopisto 2014.
- RAUMOLIN, Jussi. ”The diffusion of technology in the forest and mining sector in Finland. The shift from the object to the subject of transfer of technology.” Teoksessa Vuori, Synnöve & Ylä-Anttila, Pekka (eds). Mastering technology diffusion: the Finnish experience. Helsinki, Etna ja Taloustieto 1992, 321–378.
- ROE, L. A. ”Advances in Magnetic Separation of Ores.” Mining Engineering, vol. 10, December 1958, 1261–1265.
- RUNOLINNA, Urmas: ”Dry Magnetic Separation of Finely Ground Magnetite.” International Mineral Dressing Congress, Proceedings 1957. Almqvist & Wiksell, Stockholm 1957, 255–284.
- RUNOLINNA, Urmas: ”Otanmäen rikastamo.” Vuoriteollisuus 1/1955, 20–28.
- SIMON, Hermann. Hidden Champions of the 21st Century: Success Strategies of unknown World Market Leaders. Springer, London 2009.
- STIGZELIUS, Herman. ”Otto Trüstedt and his impact on the Finnish mining industry.” Geological Survey of Finland. Special Paper 1. Helsinki 1987, 5–13.
- SVOBODA, Jan: Magnetic Techniques for the Treatment of Materials. Kluwer Academic publishers, 2004.
- SÄRKIKOSKI, Tuomo: Tiedon liekki. Kuinka Outokumpu loi keksinnön ja teki siitä kulttuurin. Suomen Tekniikan Historia, Julkaisuja nro. 1, Helsinki 1999.
- TERVO, Katja. ”Otanmäki – katsaus erään kaivoskylän elinkaaren vaiheisiin.” Terra. Suomen maantieteellisen seuran aikakauskirja, vsk. 123, 3/2011, 165–173.
- TIKKANEN, M. H. [Matti Haakon]. ”Bygone years at Helsinki University of Technology.” Väinö Kelhä, Mauri Luukkala and Turkka Tuomi (eds.): Topics in technical physics: publication in honour of professor Erkki Laurila on the occasion of his seventieth birthday on August 20th, 1983. Teknillisten tieteiden akatemia, Helsinki 1983, 7–10.
- Vuosikertomus 1950; 1951; 1953. Valtion teknillinen tutkimuslaitos. Helsinki 1951; 1952; 1954.
- VAN DER VLEUTEN, Erik. ”Toward a Transnational History of Technology. Meanings, Promises, Pitfalls.” Technology and Culture, vol. 49, 2008, 974–994.
- YAVUZ, Cafer T., PRAKASH, Arjun, MAYO, J.T. & COLVIN, Vicki L. ”Magnetic separations: From steel plants to biotechnology.” Chemical Engineering Science, vol. 64, 2009, 2510–2521.
- UINO, Ari (toim.): Viidesti pääministeri. Urho Kekkonen 1950–1956. Otava, Helsinki 2000.
- UKKOLA, Jukka: Kuumaa terästä. Rautaruukki 1960–2003. Rautaruukki, Helsinki 2004.