



Tekniikan Waiheita
ISSN 2490-0443
Tekniikan Historian Seura ry.
42. vuosikerta: 1
2024
<https://journal.fi/tekniikanwaiheita>

Tekniikan mutkikkaita kehityspolkuja – soittimet, instrumentit, hienomekaniikka ja elävät koneet

Kari Leppälä

To cite this article: Kari Leppälä, ”Tekniikan mutkikkaita kehityspolkuja – soittimet, instrumentit, hienomekaniikka ja elävät koneet” Tekniikan Waiheita 42, no. 1 (2024): 37–45.
<https://doi.org/10.33355/tw.142408>

To link to this article: <https://doi.org/10.33355/tw.142408>

Tekniikan mutkikkaita kehityspolkuja – soittimet, instrumentit, hienomekaniikka ja elävät koneet

Kari Leppälä

Ymmärrys tekniikan roolista ihmislajin synnyssä ja ihmiskunnan keskeisenä resurssina tiivistää ilmeisen asiantilan. Se jättää kuitenkin huomiotta tekniikan ilmaantumiseen vaikuttaneet syyt ja ihmisen ja tekniikan läheisen erityissuhteen. Teknologian kehityspolkujen taustalta näyttää löytyvän psykologisia ja sosiaalisia tekijöitä sekä ihmisten kokema keinotekoisien esineiden erityisyys.

Jossain vaiheessa ihmiskunnan esihistoriaa ihmisestä tuli luova. Arkeologia ja paleontologia ovat jäljittäneet luovuuden alkupistettä etsimällä muinaisia luovuuden aikaansaannoksia. Nykyihmisen edeltäjä *Homo erectus* valmisti kivityökaluja jo 1,4 miljoonaa vuotta sitten. Joitain merkkejä *Homo sapiensin* varhaisesta luovuudesta 250 000 vuotta sitten on löydetty vanhoilta asuinpaikoilta. Jostain syystä suoranainen luovuuden hyökyaalto käynnistyi kuitenkin vasta noin 50 000 vuotta sitten. Ihminen löysi oman kätevyytensä, ja samalla hän alkoi lisätä valmistamiinsa esineisiin ylimääräisiä piirteitä, jotka miellämme estetiikaksi ja jopa taiteeksi. Esineitä ja vaatetusta alettiin kehittää välitöntä käyttötarkoitusta pidemmälle, ja niitä koristeltiin. Tehtiin jopa veistoksia, kalliopiirroksia ja vaikuttavia seinämaalauksia. Niistä ei ollut välitöntä hyötyä, mutta luultavasti ne olivat yhteisön kannalta sekä tärkeitä että hyödyllisiä. Ihmisten erityiskyky oli, että tekniset taidot otettiin haltuun sosiaalisesti. Ne levisivät, kehittyivät ja säilyivät sukupolvien yli. Taide ja teknologia tuottivat säilyviä ja tunnistettavia keinotekoisia esineitä, luovuuden tunnusmerkkejä. Niiden avulla antropologit ja historiantutkijat erottelevat muinaisia kulttuureja ja tekevät niistä päätelmiä (Valste 2012).

Ne edeltäjämme, joista on jäänyt kulttuurin tuottamaa materiaalia, olivat siis hyvin paljon kaltaisiamme, niin kuin oli myös rinnakkaislajimme Neanderthalin ihminen. Ei tiedetä, miksi ihmisen tekninen luovuus puhkesi kukoistukseen niin myöhään. Syyt voivat olla sisäisiä, sen saattoi aiheuttaa ihmiselle tyypillisen symbolisen kielen ilmaantuminen. Aivotutkija Michael Gazzaniga on esittänyt, että kun ihmiselle kehittyi puhetaito ja sen myötä neuvotteleva sosiaalisuus, laumakoko kasvoi ratkaisevasti, kymmenistä yksilöistä satoihin ja vielä suuremmiksi (Gazzaniga 2009). Suuremmat laumat olivat pitkäkestoisia ja turvallisia, ne mahdollistivat resurssien ja osaamisen karttumisen. Näihin resurssihin kuuluivat myös tekniset taidot ja keksinnöt. Muita vaikuttavia tekijöitä saattoivat olla muutokset ilmastossa, eläimistöissä tai hyötykasvien käyttöönotossa tai joku muutos tai yhteisöllisissä käytännöissä. Joka tapauksessa muutos oli peruuttamaton. Ihmisillä ei ollut syytä palata entiseen, koska tuon muutoksen hyödyt olivat niin ylivoimaiset.

Musiikki ruokkimassa teknisiä taitoja

On kiehtova, vaikka vaikeasti todennettava ajatus, että ihmisen tanssin ja laulun taidot olisivat inspiroituneet soittimien, kuten pillien ja rumpujen vaikutuksesta. Tämä tuskin on suorastaan totta, paleoantropologia ja vertailu kehittyneisiin eläimiin näyttävät viittaavan laulutaidon vanhoihin biologisiin juuriin. Ehkä soitto ja laulu kehittyivät kuitenkin lähei-

sessä vuorovaikutuksessa. Monet tutkijat katsovat, että musiikki on ihmiskunnan vanhinta kulttuuriperintöä. Arvellaan jopa, että tanssia ja laulua ovat harrastaneet jo nykyihmistä edeltäneet ihmislaajat. Anatoliasta on säilynyt 11 000 vuoden takaa püirros, joka esittää tanssivia miehiä, naisia ja lapsia. Varsinaisia musiikki-instrumentteja ei kuvasta voi tunnistaa. Kuvan voidaan kuitenkin tulkita esittävän tanssia, laulun ja soittimien kanssa tai ilman.

Soittimien historia on hämmästyttävän pitkä. Neanderthalin ihmisten tiedetään soittaneen pieniä karhun varvasluista tehtyjä pillejä noin 90 000 vuotta sitten. Vanhin tunnettu melodinen soitin on Sloveniasta löytynyt sormiaukoin varustettu putkiluusta valmistettu huilu 45 000 vuoden takaa. Myös korppikotkan siipiluista ja mammutin syöksyhampaista on valmistettu huiluja. Onttoja ja helposti työstettäviä ruokoja ja putkivartisia kasveja on saatavissa lähes kaikkialla, ne eivät tietenkään säily pitkään. Varmaankin erilaisia lyömäsoittimia oli samaan aikaan käytössä. Esihistoriallisia kielisoittimia ei ole ymmärrettävistä syistä säilynyt, niiden materiaalit eivät ole kestäneet aikaa. Jousi keksittiin ehkä 15 000 vuotta sitten. Kiristetty jousen jänne soi kauniisti, joten samalla varmaankin keksittiin kielisoittimet. Ei ole kaukana ajatus lisätä jouseen useita jäniteitä, jotta olisi helpompaa soittaa melodioita.

Vähitellen alkoi ilmaantua kuvallisia todisteita ihmisen musikaalisuudesta. Sumerilainen reliefi 4 800 vuoden takaa esittää miestä näppäilemässä kolmikielistä kaariharppua. Kuvissa alkaa esiintyä myös lyyran ja kanteleen kaltaisia soittimia. Antiikin Kreikan klassiselta kaudelta n. 500–300 eaa. on jo säilynyt runsaasti historiallista tekstiä ja kuva-aineistoa. Kreikassa vallitsi tuohon aikaan rikas musiikkikulttuuri. Soitinrakennus ja soittotaito kehittyivät huippuunsa 400–300-luvuilla eaa. Jopa eurooppalaisten kielten musiikkia tarkoittava sana perustuu muinaiskreikan sanaan *Mousa*, taiteiden jumalatar. Tuona aikana oli käytössä monipuolinen soitinvalikoima. Sellaisia olivat lyyran, harpun ja psalttarin kaltaiset kielisoittimet, Oli myös yksinkertaisia ruokohuiluja ja panhuiluja, jossa on rinnakkain kiinnitettyjä putkia. Lisäksi oli hyvin ilmaisuvoimainen aulós, oboen kaltainen sormiaukoin varustettu lehdykkäsoitin. Siinä saattoi olla myös kaksi putkea, joita soitettiin yhtä aikaa. Lyömäsoittimina käytettiin erilaisia rumpuja, metallilautasia ja tiukuja. Pasuunaa muistuttavia torvia kuten salpinx ei käytetty hienostuneessa musiikissa, vaan signaalisoitteina juhlissa ja sodankäynnissä.

Soittimet ovat varhaisimpia ihmisen valmistamia hienomekaanisia laitteita, ja siten ne kuvastavat oman aikansa parhaita teknisiä taitoja. Jokin syy on saanut ihmiset kehittämään taitojaan. Alun perin näitä taitoja on arvattavasti harjoitettu käytännöllisistä syistä: on valmistettu työkaluja, tarvikkeita metsästykseseen ja kalastukseen, ja erilaisia muita arkielämän tarvikkeita. Soittimien kohdalla syy ei kuitenkaan ole hyöty – soittimistahan ei odoteta saatavan välitöntä aineellista etua. Mahdollinen motivaatio soittimien kehittämiseen saattaa olla pikemminkin sosiaalinen tai uskonnollinen. Soittimia käytettiin rituaaleissa, ja niiden ainutlaatuinen ja luonnon äänistä poikkeava sointi rakensi yhteyden tuonpuoleiseen.

Soittimissa korostuu aivan erityisesti niiden hienomekaniikka: tarkkuus ja pienet, huolellisesti tuotetut yksityiskohdat. Täsmällisyys ja valmistustarkkuus ovat musiikki-instrumenttien valmistuksessa ehdottomia vaatimuksia. Huonosti tehty soitin ei kerta kaikkiaan soi. Huilujen ja lehdykkäsoittimien kohdalla tarkkuusvaatimus on millimetrin kymmenesosan luokkaa tai sitäkin tiukempi. Samalla korostuu perimätiedon merkitys. Ei riitä, että kriittiset osat valmistetaan tarkasti. Pitää myös tietää täsmällisesti, miten ne pitää valmistaa ja miten ne toimivat yhdessä. Muissa arkipäiväisissä esineissä ei tarvittu yhtä suurta valmistustarkkuutta. Niissä ovat tärkeitä aivan muut asiat, kuten toimivuus ja esteettisyys.

Antiikin vaikea suhde tekniikkaan

Kreikkalaisten suhde tekniikkaan oli oudolla tavalla epäjohdonmukainen. Heillä oli hallussaan korkealuokkaisia metalliseosten tuottamisen ja materiaalien työstämisen taitoja. Samaan aikaan kulttuurin arvot olivat kuitenkin hyvin henkisiä ja filosofisia. Aineellista hyötyä ja käytännön taitoja väheksyttiin. Sellaiset olivat sopivaa toimintaa lähinnä orjille. Tämä nykyisin vallitseva käsitys perustuu lähinnä Kreikan pienen sivistyneen yläluokan mielipiteisiin, sillä juuri heidän kirjoituksiaan on säilynyt jälkipolville. Tekniikan kattava yleisyys antiikissa viittaa kuitenkin toimivaan tekniseen infrastruktuuriin. Siihen on kuulunut oppineita insinöörejä ja heidän apunaan työskennelleitä käsityöläisiä ja orjia. Muutamat antiikin insinöörit tiedämme jopa nimeltä: Archimedes (287–212 eaa.), Ktesibios (285–222 eaa.) ja Heron (10–70). Halvan orjatyön saatavuuden takia tekniikkaa ei kehitetty tuotantoa ja taloudellista etua lisäämään. Siitä huolimatta kreikkalaisilla oli käytössään aikansa kehittyneintä teknologiaa: työvälineitä ja koneita, kuten myllyjä, pumppuja, nostolaitteita ja oliiviöljyn ja viinin puristimia. Kreikkalaisten laivat olivat ketteriä, kevyitä ja runkorakenteeltaan tasasaumaisia. Niiden valmistuksessa tarvittiin kehittyneitä menetelmiä ja suurta taitoa. Esimerkiksi kylkilankut piti sovittaa huolellisesti toisiinsa, ja suuremmissa laivoissa ne kiinnitettiin paikoilleen mittatarkoilla kiiloilla ja vaarnoilla. Laivanrakennuksen yksityiskohtia on kuvattu Odysseia-runoelmassa (merkitty muistiin 750–650 eaa.). Kreikkalaisten aseet kuten ballistat ja scorpiot olivat tuhovoimaisia tarkkuusaseita, joiden valmistusmenetelmät ja mitoitukset oli määritelty tarkasti. Tekniikan korkeasta tasosta huolimatta teknisiä taitoja pidettiin Kreikassa jollain lailla epäilyttävänä ja jopa kartettavana, mikä käy hyvin ilmi ikivanhan Prometheus-myytin erilaisista versioista (vanhimmat kirjalliset versiot n. 700 eaa.). Käsityöläiset juhlistivat taitojaan vuotuisissa Prometheus-juhliissa, joita filosofit puolestaan paheksuivat voimakkaasti.

Yleensä ajatellaan, että tekniikan kehittämiseen kannustaa tarve saada sen kautta aikaan kasautuvasti yhä uusia hyödyllisiä vaikutuksia. Kun antiikin Kreikassa tällaisia tavoitteita ei arvostettu, on syytä kysyä, miksi tekniikka kuitenkin kehittyi ajankohtaan nähden hämmästyttävän ja jopa tarpeettoman korkealle tasolle. Jos motivaatio ei ollut taloudellinen, se on ilmeisesti pikemminkin psykologinen, sosiaalinen tai niiden yhdistelmä. Keinotekoisuudessa on selvästi jokin erityisyys – ihmisen valmistamat esineet kiehtovat mieltä. Tämä viehtymys on havaittavissa myös omana aikanamme. Lapset näyttävän olevan herkkiä. He tunnistavat jo aivan pieninä ihmisen tekemien esineiden erityisyyden. Keinotekoisien lumovoimaa ja taianomaisuutta on hyödynnetty muinaisajoista alkaen musiikissa ja rituaaleissa. Kiinnostava kysymys, johon emme tosin mitenkään voi saada vastausta kuuluu: ovatko teknologian alkuperäiset juuret sen psykologisissa vaikutuksissa? Onko keinotekoisella esineellä erityissuhde mieleen, ja onko se jopa eräänlainen ihmisen mielen laajennus? Ajatukselle löytyy tukea neuropsykologiasta. On havaittu, kuinka fyysisen ympäristömme kohteet peilautuvat aivoihimme dynaamisiksi malleiksi (Jacoboni 2009).

Sellainen antiikin Kreikan teknologia, joka ei ole luonteeltaan musiikkia tai taidetta, ja joka ei suorita hyödyllistä työtä, näyttää valaisevan teknologian psykologiaa. Erilaiset mekanismit ja jopa itsestään liikkuvat laitteet ovat taianomaisia – ne on suoraan tarkoitettu herättämään ihmetystä. Kuuluisia koneita ovat teattereissa ja temppeleissä käytetyt mekanismit, kuten automaattiset ovenavaajat, mekaanisten laitteiden suorittamat teatterinäytökset, trumpetteja soittavat patsaat, mekaaniset linnut ja uhrilahoja kuljettavat laitteet. Liikkuvat koneet olivat omalla tavallaan eläviä, ja niillä näyttää olevan jopa omaa tahtoa. On kuvavaa, että kreikan kielen automaattia merkitsevä sana tarkoittaa oikeastaan ”itsestään ajattele-

va”. Heron aleksandrialaisen rakentama höyryturbiinin eli aeolipiili ei sekään tehnyt mitään hyödyllistä, mutta tuo vinhasti itsestään pyörivä laite herätti epäilemättä suurta ihmetystä. Ktesibioksen keksimät vesiurut (hydraulis) on soitin, jonka mekanismit lisäävät musiikin tuottamiseen ylimääräisen vaikuttavuuden. Tämä vanhin tunnettu kosketinsoitin on rakenteeltaan hämmästyttävän monimutkainen. Siinä on 8–13 urkupilliä ja koskettimien ohjaamat venttiilit, joilla ilmaa päästettiin pilleihin. Ilmanpaine tuotettiin pumppaamalla yhdellä tai kahdella mäntäpumpulla ilmaa säiliöön. Se on puolestaan sijoitettu suurempaan vesisäiliöön, jolloin veden paine pitää ilmanpaineen tasaisena.

Tällainen perinne säilyi roomalaiskauden yli ja jatkui islamilaisen kulttuurin kukoistuskaudella Persiassa ja Vähässä Aasiassa. Siellä suunniteltiin hyvin dokumentoituja mekaanisia laitteita ja jopa mekaanisia eläimiä. Tämän taidon kehitti huippunsa nykyisen Turkin Anatolian alueella vaikuttanut Ismail al-Jazari (1136–1206). Oppineiden kiinnostus näytti kohdistuvan erityisesti automaatteihin, jotka liikkuivat veden, jousien tai painovoiman avulla, ikään kuin niillä olisi oma elämä ja oma tahto. Al-Jazarin laitteet jatkavat antiikissa alkanutta perinnettä, missä tekniikan tarkoitus on ennen kaikkea hämmästyttää ja huvittaa ihmisiä. Tosin hän suunnitteli myös hyödyllisiä vesivoimaan perustuvia myllyjä ja vedenpumppauslaitteita. Al-Jazari ei pitänyt näitä taitoja salaisuutena, toisin kuin alkemistit. Hän kirjoitti laajalle levinneen kirjan insinööritaidosta, jossa hän esitteli noin 50 erilaista laitetta, ja kuvaili myös niiden suunnittelun ja rakentamisen periaatteita.

Astronomiset koneet

Antiikin ajan hienomekaniikan ehdoton huippusaavutus on Antikytheran mekanismi, joka on valmistettu noin vuonna 100 eaa. Se löydettiin Kreikasta Antikytheran saaren läheltä haaksirikkoutuneen laivan hylystä vuonna 1901. Puusta ja pronssiosista rakennettu laite on pahasti syöpynyt, ja sen rakenteen hienoimpia yksityiskohtia on saatu selvitettyä vasta 2000-luvulla röntgentomografian avulla. Kyseessä on astronominen laskinlaite. Se kertoo auringon ja kuun sijainnin eläinradalla sekä pimennykset ja kuun vaiheet haluttuna kalenteripäivänä, menneisyydessä tai tulevaisuudessa. Laite on hämmästyttävän kompakti, se on paksun kirjan kokoinen (34 × 18 × 10 cm), ja siinä on noin 40 suurella tarkkuudella valmistettua pronssista hammasratasta. Laitteen paneeleissa on myös kirjoitusta, kuten käyttöohjeet ja erilaista kalenteritietoa. Kaikkiaan laitteessa arvellaan olevan noin 15 000 merkkiä kirjoitusta, mutta vain 3 000 merkkiä on onnistuttu tulkitsemaan. Kyseessä ei ole mikään prototyyppi, vaan laite edustaa pidempää teknistä perinnettä. Roomalainen sotapäällikkö Marcellus otti saman tapaisen laitteen haltuunsa Arkhimedeeltä Syrakusan valtauksen yhteydessä vuonna 212 eaa. Arkhimedes oli myös kirjoittanut kirjan astronomisista koneista, kirja on tosin kadonnut. Tällaisia laitteita oli siis kehitelty jo ainakin muutamien vuosisatojen ajan.

Laitteen hammasrattaat on valmistettu suurella tarkkuudella ja täsmällisyydellä, eurooppalaiset kellosepät pystyivät tuottamaan saman tasoisia laitteita vasta 1600-luvulta eteenpäin. Ilmeisesti sen valmistuksessa on tarvittu poran ja sorvin kaltaisia mekanisoituja työkaluja, vaikka niistä ei ole säilynyt tietoa. Antikytheran laitteen tyyppisillä laskimilla ei ollut mitään hyödyllistä tai käytännöllistä merkitystä. Ne olivat pitkälle erikoistuneita analogialaskimia, joiden rakenne jäljitteli taivaanmekaniikan ilmiöitä. Niiden toimintatarkkuus ei tosin ollut erityisen hyvä, sillä se oli sidottu tuon ajan astronomisten teorioiden tasoon. Mutta minkälainen motiivi ja syy innoitti näin suurisuuntaisten laitteiden luomiseen? Laitteen käyttötarkoi-

tusta voi luonnehtia samaan aikaan rituaaliseksi ja uskonnolliseksi ja filosofiseksi. Se oli osa antiikin mytologis-filosofista maailmankuvaa. Laite voidaan nähdä myös maailmankuvan todentamisena, eksaktin luonnontieteen esiasteena ja harjoittamisena. Tuohon aikaan nykyisen kaltaista luonnontieteisiin soveltuva matematiikka ei vielä ollut kehittynyt. Samalla tuollaisen laitteen toiminta oli varmaankin tuntunut lähes yliluonnolliselta.

Hienomekaniikka ja tieteelliset instrumentit

Erilaisia mittausvälineitä käytettiin jo antiikin aikana kaupankäynnissä, esineiden valmistuksessa ja arkkitehtuurissa. Tunnettiin myös matkamittari, odometri, jossa oli työnnettävä tai vedettävä pyörä ja mekaaninen kierros-laskija. Juridiikassa ja politiikassa tarvittiin ajan mittausta, jotta puheenvuorojen pituutta voitiin säädellä. Uudella ajalla kehittyvä luonnontiede synnytti aivan uuden sovellusalueen. Hienomekaniikan tehtävä ei nyt ollut vain herättää ihmetystä, vaan tuottaa tietoa ja ymmärrystä maailmasta tieteellisten instrumenttien avulla. Galileo oli tiettävästi ensimmäinen, joka alkoi systemaattisesti hyödyntää hollantilaisien keksimää teleskooppia astronomiassa, ja hän joutui opettelemaan myös linssien hiomista. Optiikassa valmistustarkkuus siirtyikin aivan uuteen vaatimusluokkaan. Teleskooppien ja mikroskooppien suorituskyky näytti määrättyvän pitkälle lasinhiojen taidoista. Monet astronomit kokivat instrumenttien kehittämisen olennaisen tärkeäksi osaksi tieteellistä työtä. Esimerkiksi Johannes Kepler, Isaac Newton, Christian Huygens ja William Herschel olivat taitavia teleskooppien kehittäjiä. Galileo ja Huygens kehittivät myös mikroskooppia.

Luonnontiede alkoi hyödyntää myös matematiikkaa. Käytännöllisiä ja numeroilla laskevia mekaanisia laskukoneita saatiin tosin odottaa vielä muutama vuosisata, sillä kertoja jakolasku tuottivat rattaistoille lähes ylivoimaisia vaikeuksia. Sen sijaan alettiin kehittää analogisia mekaanisia laskimia (Leppälä 2020). Galileo alkoi valmistaa ansiotarkoituksessa ”sotilasteknistä harppia”, jolla pystyi tekemään mittakaavamuunnoksia ja tykistön laskelmia. Huomattava läpimurto syntyi, kun John Napier keksi logaritmit 1500-luvun lopulla, ja niihin perustuvia laskuviivaimia ja laskukiekkoja alettiin valmistaa seuraavalla vuosisadalla. Ne piti valmistaa hyvin suurella tarkkuudella. Mitä suurempi oli valmistustarkkuus, sen paremmin nuo laskutikun edeltäjät laskivat.

Instrumenttien kehittämisen perinne jatkui ja vahvistui edelleen, kun luonnontieteet kehittyivät seuraavien vuosisatojen aikana moderniksi fysiikaksi. Monen tieteellisen löydön takana ovat nerokkaasti ja suunnattomalla kärsivällisyydellä valmistetut hienomekaaniset laitteet, joissa hyödynnettiin mekaniikkaa, optiikkaa ja ajan myötä myös sähköä. Hyvä esimerkki instrumenttien ja tieteen suhteesta on gravitaatiovakion mittaaminen. Helposti käsiteltävien massakappaleiden välinen vetovoima on häviävän pieni. Englantilainen fyysikko Henry Cavendish onnistui kuitenkin vuonna 1798 mittaamaan tällaisen voiman kiertovaa’an avulla ja laskemaan siitä gravitaatiovakion arvon. Suoritus oli hämmästyttävä, ja etenkin se, että tulos poikkesi vain 1% verran oikeasta arvosta. Samalla Cavendish tuli punninneeksi maapallon painon – pienen ja yksinkertaisen laitteen avulla.

Hienomekaniikan erityinen sovellusalue on kellosepäntaito, kellot ovat olennaisesti aikaa mittaavia instrumentteja. Kehittyvät mekaniikan taidot tuottivat jo 1600-luvulla mukana kuljetettavat henkilökohtaiset taskukellot ja pari sataa vuotta myöhemmin rannekellot. Astronomia ja navigointi asettavat erityisen suuria vaatimuksia niiden tarkkuudelle. 1700-luvulla kehitettiin laivakronometrit, joiden käyntivirhe kuukausien pituisten meri-

matkojen aikana oli vain muutama sekunti. Näin saatiin ratkaistua valtameripurjehdusta vaivannut vaikea navigointiongelmaksi eli pituuspiirin määrittäminen. Leveyspiirin määrittäystä varten kehitetyt optiset kulmamittausslaitteet sekstantti ja oktanti saivat nykyisen muotonsa ja suorituskykynsä samoihin aikoihin.

Automaatit, androidit ja muut ohjelmoidut koneet

Koneiden ihmismieltä kiehtovaa luonnetta havainnollistaa ranskalaisen keksijän ja filosofin Jacques Bessonin (1540–1573) laajalle levinnyt ja runsaasti kuvitettu teos *Theatrum instrumentorum et machinarum*. Kirjan tarkkaan piirrettyjen kuvataulujen esikuvina on ilmeisesti oikeita koneita, mutta useimmat Bessonin piirtämät koneet olivat liioiteltuja ja fantastisia. Bessonin kuvia näkee oppikirjoissa ja artikkeleissa esimerkiksi 1500-luvun teknologiasta. Tuskin mitkään kuvien esittämissä koneista olisivat kuitenkaan toimineet käytännössä, koska tuohon aikaan ei tunnettu voiman ja energian käsitteitä eikä lujusoppia. Bessonin kirja oli pikemminkin oman aikansa kuvitettua tieteiskirjallisuutta. Koneissa katsojaa viehättävät niiden huolellisesti, joskin yleensä myös epäloogisesti piirretyt kekseliäät yksityiskohdat. Mekaniikka näyttää tuottavan hämmästyttäviä vaikutuksia. Riittävän nerokkaasti suunnitellun mekanismin avulla yhden ihmisen voimat riittävät jopa suuren myllynkiven tai kehysahan pyörittämiseen. Bessonin tarkkaan piirretyt kuvat, joita havainnollistavat vielä mukaan piirretyt koneiden käyttäjät luo illuusion ihmeestä.

Voimakas ja vaikuttava illuusio syntyy myös, kun koneet liikkuvat itsestään. Antiikin ajoista lähtien on rakenneltu itsestään liikkuvia keinotekoisia eläimiä ja jopa ihmistä muistuttavia nukkeja. Antiikin Kreikan lisäksi tällaisia koneita rakenneltiin myös Kiinassa. Lähi-idässä niiden merkittävä kehittäjä oli al-Jazari, ja Pohjois-Ranskassa Artoisin kreivi Rudolf II kansoitti niillä automaattipuistonsa noin vuonna 1300. Euroopan katedraaleihin rakennettiin uskonnollisia automaatteja: pyhimyksiä ja raamatun hahmoja esittävät nuket liikehtivät määrääjakoina ihmisten ihmetykseksi. Kun koneiden liikkeistä haluttiin tehdä mutkikkaampia, sitä varten kehitettiin erilaisia ohjelmalaitteita. Automaattisten koneiden toimintaohjelmat tuotettiin hyvinkin erilaisilla mekanismeilla. Vanhimmat laitteet hyödynsivät rattaistoja ja pyöriviä kiekkoja ja kaavioita. Tällä periaatteella Leonardo da Vinci rakensi kävelevän leijonan ja liikkuvan ritarin, ja ilmeisesti muitakin eläviä koneita.

Mekaanisten androidien eli ihmistä muistuttavien automaattien rakentelu saavutti korkean teknisen tason 1700-luvulla. Mutkikkaimmat androidit osasivat soittaa urkuja ja huilua, kirjoittaa musteella paperille lauseita, ja jopa piirtää kuvia. Se edellytti jo varsin monipuolista ohjelmakoneistoa, joka näyttää suurelta osin periytyvän automaattisista musiikkikoneista. Niilläkin on pitkä historia antiikista aina nykyisiin tuntemiimme soittorasioihin ja posetiiveihin. Niiden ohjelmakoneina sovellettiin mekaanisten kaaviolevyjen ohella piikkirumpuja, reikälevyjä, sekä reikänauhoja ja reikäkortteja. Varkauden Mekaanisen Musiikin museossa on nähtävissä ja jopa kuultavissa ainutlaatuinen kokoelma vanhoja soittokoneita, ja jopa mekaaninen robottiorkesteri. Sanaa ”robotti” ei tuolloin tunnettu, kirjailija Karel Capek keksi sen vuonna 1920.

Koneiden automatisoinnin taito astui talouselämän ja teollisuuden palvelukseen varsin myöhään. Ranskassa alettiin kehitellä 1720-luvulla pahvisten reikäkorttien ohjaamia automaattisia kutomakoneita. Monien yritysten jälkeen Joseph Marie Jacquard onnistui valmistamaan luotettavasti toimivan koneen. Vuonna 1805 itse Napoleon tutustui kutomakonee-

seen, joka julistettiin kansalliseksi omaisuudeksi. Kehitystyön taustalla oli suuri taloudellinen hyöty. Monimutkaisia silkkisillä kuvakudoksilla oli valtavasti kysyntää. Ne olivat hyvin arvokkaita, koska niiden valmistaminen käsitöillä kangaspulla oli hankalaa ja hidasta. Niiden ohjelmointiin Jacquardin konetta varten saatettiin tarvita tuhansia tai jopa kymmeniä tuhansia reikäkortteja, mutta kun ohjelmointi oli tehty, kone pystyi valmistamaan samanlaisia kankaita jatkuvasti. Reikänauhojen ja reikäkorttien toimintaperiaate nousi uuteen, vaikka lyhyeen kukoistukseen 1950-luvulla, kun niiden avulla alettiin syöttää ohjelmia ja dataa vasta keksittyihin tietokoneisiin.

Musiikin ja hienomekaniikan toinen kohtaaminen

Renessanssiajalta lähtien sävellystaide ja musiikin teoria kehittyivät voimakkaasti. Tämä asetti kasvavia vaatimuksia soittimien suorituskyvylle. Orkesterisoitossa korostui sävelpuhtaus ja kyky soittaa kaikissa sävellajeissa. Puhallinsoitinten kohdalla ongelma oli erityisen hankala. Eräs mahdollisuus oli rakentaa eri kokoisia ja eri vireisiä soittimia. Lähes samanlaisten soitinten kokoelma olisi kuitenkin epäkäytännöllinen ratkaisu, ja soitinta olisi hankala vaihtaa kesken esityksen. Puupuhaltimiin lisättiin läppiä, ja niitä kokeiltiin myös torvissa. Samaan aikaan hienomekaniikka oli vähitellen jalostunut itsenäiseksi kelloseppien, kultaseppien ja mittalaitteiden rakentelijoiden ylläpitämäksi tarkaksi metallin työstämisen taidoksi. Tämä johti soitinrakennuksen ja kehittyneen hienomekaniikan uuteen kohtaamiseen. 1800-luvun alussa syntyivätkin aivan uudenlaiset koneistohuilut ja venttiilein varustetut torvet.

Nykyaikaisen huilun kehittäjä Theobald Böhm (1794–1881) oli opiskellut kultasepäksi, mutta hän oli jo nuorena myös etevä huilisti. Böhm ratkaisu oli hyvin tekninen. Huilussa on 16–17 ääniaukkoa, eivätkä muusikon sormet muutenkaan yltäisi C-huilun pituudelle. Tarvittiin läpät sekä vipujen ja akselien mekanismi. Suuret ja täsmällisesti sulkeutuvat läpät paransivat sävelpuhtautta, ja laajempi metallirunko tuotti suuren orkesterin tarvitseman äänenvoimakkuuden. Sivuvaikutuksena syntyi myös huilulle ominaisen heleä sointiväri. Suunnitteen samaan aikaan kehitettiin toisten mestareiden toimesta käyrätorven, trumpetin ja monen muun torven soittoa helpottavat venttiilikoneistot. Niissä voi nähdä jopa historiallisen sillan antiikin insinööri Ktesibioksen keksimiin metallisiin mäntäpumppeihin.

Theobald Böhm toiminta valottaa tekniikan kehittämisen olennaista piirrettä. Soittimen suunnittelu ja kehittäminen ei ollut insinöörisuoritus suppeassa teknisten taitojen mielessä. Se edellytti myös syvällistä ymmärrystä musiikista ja soittamisesta. Böhm laaja-alaiset kyvyt muusikkona, säveltäjänä ja hienomekaanikkona toimivat ainutlaatuisesti ja korvaamattomasti yhdessä. Hän työskenteli käsityöläisten ja insinöörien tapaan, toisaalta materiaalin asettamia rajoituksia vastaan, mutta yhtä lailla myös materiaalin tarjoamia mahdollisuuksia etsien ja niitä hyödyntäen.

Tämä piirre tulee erityisen selvästi esiin viulunrakennuksessa, joka saavutti ylittämättömän tason 1600-luvun Italiassa. Vaikka viuluja ei pidetä perinteisenä hienomekaniikkana, niissä korostuvat käsityöläismestarien syvälinen perehtyminen soittamiseen, musiikkiin ja materiaalien ominaisuuksiin. Viulunrakennus edustaa puhtaaksi viljeltyä teknologian syvintä inhimillistä puolta, joka on aina mukana tekniikan luomisprosessissa.

Lähteet ja viitteet

- Boehm, Theobald. Flute and flute-playing in acoustical, technical, and artistic aspects. New York: Dover, 1984.
- Gazzaniga, Michael. Inhimillinen. Ainutlaatuisuutemme tiede. Helsinki: Terra Cognita, 2009.
- Iacoboni, Marco. Ihmisten peilaus. Kytkeytymisemme uusi tiede. Helsinki: Terra Cognita, 2008.
- Landels, J. G. Engineering in the ancient world. London: Chatto & Windus, 1980.
- Leisiö, Timo. Musiikin yhdeksän evoluutiota. *Tieteessä tapahtuu* 1 /2010.
- Leppälä, Kari. Tekoäly ja laskemisen lajit. *Tieteessä tapahtuu*, Vol 36 Nro 6 (2018).
- Murtomäki, Veijo 2005. Antiikin soittimet. Muhi – Musiikinhistoriaa verkossa, Taideyliopiston Sibelius-Akatemia. Verkkoaineisto. https://muhi.uniarts.fi/ant_antiikki3/ (luettu 11.4.2022).
- Price, Derek J. de Solla. Science since Babylon. New Haven & London: Yale University Press, 1975.
- Pulkkinen, Jarmo. Sudenluusta supertietokoneeseen. Laskemisen kulttuurihistoriaa. Helsinki: Art House, 2004.