



**Finnish
R&D**

Millennium Factory

The lifetime of products in electronics industry has been rapidly decreasing during the last ten years. There is no indication that the trend is going to change in the close future. The global dimension brings new problems concerning large variety of models and thus increasing number of components and suppliers. The "single production line/single product" thinking has to give room for new thoughts about flexible multiproduct production systems. The whole factory environment has to be flexible and scalable to meet new demands. It may be possible that the product development and production of goods are separated to different organisations due to high demands and expertise set on each branch.

The main target of Millennium project was to generate new approaches starting from the basic elements of production. The main project locates "basic modules" (ie. transportation, storage etc.) using "real life" CASE study. These modules are then defined and "exploded" to standard components which are already available. Each module can be individually tested before final assembly to shorten the rampup time in actual plant.

The project is belongs to the ETX programme and the contact person is Klaus Käsälä (klaus.kansala@vtt.fi).



Pitkällä aikavälillä tarkasteltuna elektronisten laitteiden markkinat ovat stabiilit. Lyhyemmällä ajanjaksolla ne käyttäytyvät kuitenkin valmistuksen ja tuotannon kannalta hankalasti. Ennen JOT-ajattelua ja varastojen minimointia kysynnän vaihtelut ratkaistiin tuottamalla tavaraa puskuriin – nyt haetaan joustavuutta tuotannosta. Tähän vaatimukseen nykyiset laitteet järjestelmät taipuvat vain natisten.

Miksi vasta nyt on herätty vaatimaan joustavuutta myös valmistukseen? Vertailukohta voidaan hakea esimerkiksi autoteollisuudesta: Henry Ford pys-

Joustavuutta elektroniikan valmistukseen

Yksilöllisyyttä liukuhihnalta



KUVA: JOT AUTOMATION

Tuotantoteemaa on aina lähestytty massavalmistuksen näkökulmasta, syyt lienevät historiallisia. Vaatimus joustavuudesta on uusi – sen ovat tuoneet mukaan nopeasti muuttuvat markkinat ja niiden ennustamaton käyttäytyminen.

tyi tuottamaan T-Fordeja menestyksekkäästi kymmeniä vuosia: ne olivat samanvärisiä ja tehtiin samalla liukuhihnalla. Elettiin autonvalmistuksen kulta-aikaa. Tärkeintä oli saada auto, malli ja väri eivät olleet tärkeitä. Nykyisin autot tehdään räätälöidysti asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Elektroniikan valmistuksessa on samoin ohitettu liukuhihnavaihe ja ollaan siirtymässä bulkkituotannosta räätälöityyn masatuotantoon. Ei ole epäilystäkään, etteikö autoteollisuudesta otettu malli toteutuisi myös kilpailun kiristymisen muodossa. Markkinoiden uusjako tehdään sen mukaan kenellä on kiinnostavimmat tuotteet; tekninen edistyskäsitys ei pelkäästään riitä.

Joustavuus tuotteen suunnittelusta

Vanha sääntö, jonka mukaan suurin osa tuotteen valmistuskustannuksista luodaan jo suunnitteluvaiheessa, pätee edelleen. Tästä syystä suunnittelun ja valmistuksen tulisi olla hyvin lähekkään toisiaan. Elektroniikka-tuotteiden osalta tässä on parantamisen varaa. Usein ylellään kansainvälisillä tuotesuunnittelu- ja design-tiimeillä, joissa ei ole mukana yhtään henkilöä siitä joukosta, joka tuotteen joutuu valmistamaan. Tuloksena on valmistuskustannuksiltaan kalliita ja huonosti tuottavia laitteita.

Joustavuus tulisi nähdä ensisijaisesti tuotteen ominaisuutena. Se on halvempaa toteuttaa tuotteeseen kuin tuotetta val-

mistavaan linjaan. Esimerkkinä voidaan esittää ne lukuisat keinot, joilla autoteollisuudessa loihditaan parista perusautosta koko mallisarja.

Tuotteen valmistaminen on ympyrä, jossa alku- ja lähtöpiste on asiakas. Suunnittelu lähtee hänen tarpeistaan ja hän loppujen lopuksi tekee valinnan ostessaan ja valitessaan tarpeisiinsa sopivan tuotteen. Tämän ympyrän kehälle sijoittuvat niin alihankkijat, komponenttitoimittajat kuin tuotteen valmistajatkin.

Asiakaslähtöisyys ja verkottuminen ovat sanoja, jotka näkee usein tässä yhteydessä. Valitettavasti kokonaisuus pyrkii hämärtyämään helposti. Asiakkaaksi mielletään vain jakelutiellä oleva seuraava porras, joka maksaa toimitukset. Horisontti, jossa toimintaa suunnitellaan ja visioidaan on usein hyvin kapea.

Verkottumisen tulisi myös tarkoittaa yhdessä tapahtuvaa kehittymistä, jossa partnerhipulottuu tehtaan seinien sisälle ja avoimuus tarkoittaa myös toisen taseen tuntemista ja win-

win -periaatteen toteuttamista käytännössä.

Millennium Factory -hankkeessa keskityttiin etsimään menetelmiä tehtaansisäisen logistiikan parantamiseen, toimintaan alihankkijan kanssa sekä joustavien tuotantomallien analysointiin. Mukana olevat yritykset edustivat valmistajia, komponenttitoimittajia, alihankkijoita sekä valmistusautomaation toimittajia.

Tuotteen elinkaarimalli – joustavuusmalli

Elektroniikan valmistuksessa on tuotteiden elinaika lyhentynyt huomattavasti. Äärimmillen tämä ilmiö on kehittynyt matkapuhelinvalmistuksessa, jossa käytännössä koko mallin suunnitteluun ja tuotekehitykseen käytetty panostus on rahastettava markkinoilta noin kahdeksan kuukauden kuluessa tuotteen tuonnista markkinoille. Tämän ajan jälkeen sekä katteet että markkinat rapautuvat nopeasti. Vaikutus yrityksen talouteen voi pörssikykentöjen kautta olla dramaattinen, kuten Ericssonin tapauksessa.

Oheisessa kuvassa on esitetty tyypillinen elinkaarimalli tämäntyyppiselle tuotteelle. Alkuvaiheessa, kun eletään Rampup-vaihetta, on tuotteen talous miinuksella. Katteen nousu riippuu siitä, miten kitkattomasti tuote saadaan täysimittaiseen tuotantoon ja alenevan tuotannon aikana siitä, miten hyvin kustannukset pidetään kurissa. Kuvassa katkoviivat kuvaavat rampup-vaihetta ja vihreä nuoli tilannetta, jossa tuote on kattanut kaikki investointikustannukset. Kuten huomataan, pienetkin ajoitusviiveet markkinoille tulossa tai markkinoiden kypsyneiden arvioinnissa ovat hyvin kriittisiä.

Nykyisin toimintamalli on usein sellainen, että Rampup-vaiheessa rakennetaan täysimittainen linja, joka toimii vajaalla käyttöasteella, kunnes volyymit nousevat suunnitellulle tasolle. Tämän jälkeen tuotetaan maksimivolyyymillä ja tasapainotellaan tuotevarianttien aiheuttamien ongelmien kanssa, kunnes tulee laskevan tuotannon vaihe – rampdown, jossa yleensä linjat puretaan ja myydään alihankkijalle, joka hoitaa tuotteen alasajon.

Toimintamalli sisältää riskejä, jotka liittyvät tuotannon maksimivolyyymien tasoon sekä siihen, missä vaiheessa maksimivolyymit saavutetaan. Vaarana on, että rakennetaan liikaa tai liian vähän valmistuskapasiteettia, tai että sitä ei saada riittävän

nopeasti käyttöön, kun buumi alkaa. Tästä tyypillinen esimerkki oli Nokian ensimmäinen WAP-puhelin.

Paha virhearvio voi johtaa siihen, että tuotteen osalta menetetään huomattavia summia. Jos valmistukseen käytettävät linjat olisivat nykyistä joustavampia, voitaisiin näitä riskejä tehokkaasti pienentää.

Myös tuotantoinvestointien käyttöasteen nostaminen tulisi olla nykyistä helpompaa. Tulevaisuudessa saattaa tuotantolaitteiden elinkaari riittää esimerkiksi kahden tuotesukupolven valmistamisen. Näin rampup-kustannuksia voidaan edelleen leikata.

Ajatuksena on siis rakentaa tuotantolaitteistot niin, että kapasiteettia voidaan varioida tuotantotilanteen mukaan. Tällöin on mahdollista hoitaa myös laskevan elinkaaren tuotteiden tuotanto tehokkaasti.

Ratkaisun avain: tuotantomoduulit

Tuotteen elinkaaren eri vaiheissa tarvitaan erityyppistä joustavuutta: Tuotannon aloitusvaiheessa tarvitaan pientä volyymiä, kuten yksi päivä viikossa. Lopun aikaa laitteet voisivat tuottaa toista tuotetta täydellä volyyymillä. Volyymituotannon ollessa käynnissä tarvitaan tuoterpehen sisäistä ja mallien välistä joustavuutta, jolla tasapainotetaan kysynnässä olevia vaihteluita. Tuotannon loppuvaiheessa tarvitaan jälleen pienenevää tuotantovolyyymiä ja kykyä ottaa uusia tuotteita vastaan.

Nykyinen valmistusajattelu on hyvin linjaorientoitunutta. Tuotantolinjat ovat hyvin tehokas yksikkö, mutta samalla se on hyvin rajoittava. Kun tuotantoa rakennetaan linjaorientoidusti, päädytään yleensä puhumaan linjaan liittyvistä tuotantoa ohjaavista ja rajoittavista tekijöistä. Itse tuotanto jää taka-alalle. Sen sijaan kannattaisi puhua toiminnallista kokonaisuudesta, moduuleista, joiden avulla voidaan hoitaa useiden tuotteiden tuotanto.

Moduulit ovat ikään kuin tuotannon rakennuspalikoita, joista voidaan joustavasti koota tarvittava tuotantokapasiteetti. Kun moduuleita on riittävästi, päästään tilanteeseen, jossa niitä voidaan ylläpitää ja poistaa tuotannon joustavasti. Näin tuotantolaitteistoa päivitetään ja kehitetään jatkuvana prosessina tuotannon tarpeita vastaavaksi. Tuotantomoduuleita voitaisiin myös vuokrata tai ne voisivat olla kokonaan esimerkiksi tie-



Vihivaunu Salcomp Oy:n tehtailla Kemijärvellä.

AGV at Salcomp factory in Kemijärvi. Salcomp is the world leader producer of fast chargers for mobile telephones.

tystä tuotannon vaiheesta vastaavan alihankkijan omaisuutta.

Joustavien solujen ajatus on siis korvata linja-layout moduulilayoutilla, jossa moduulijako perustuu toiminnallisiin kokonaisuuksiin. Valmistusalueella olisi siis esimerkiksi pintaliitos-, testaus- ja loppukokoonpanomoduleita, joista kukin soveltuisi esimerkiksi kahden tuoterpehen valmistamiseen. Tällaisesta toimintamallista saatavia etuja on havainnollistettu oheisessa laatikossa. Se osoittaa, kuinka suureen joustavuuteen tuotannossa päästään, kun saman tuotantovaiheeseen voidaan valjastaa kolme eritehoista moduulia.

Hankkeeseen liittyen on Kemijärvellä pikalatureita valmistava Salcomp Oy rakentanut tuotantolaitteista muodostetun solun yhdessä muoviosien toimittajan kanssa. Projektissa tutkitaan paitsi teknisiä kysymyksiä, myös työvoiman kouluttamiseen liittyviä asioita sekä win-win -periaatteella toimivan yhteistyön toimivuutta käytännössä.

Joustavien moduulien toteuttaminen on mahdollista ilman, että kustannustaso tuotetta kohti nousee liikaa. Tarvittavat koneet ja laitteet voidaan tehdä jo nykyisellä tekniikalla. Joustavuudella voidaan saavuttaa merkittäviä etuja käyttöasteen nousun myötä ja näin voidaan päästä kannattavuudessa parempiin tuloksiin.

Toimivan toteutuksen tiellä on eräitä muita seikkoja, joista tärkeimpiä on materiaalivirran hallintaan liittyvät ongelmat, sekä joustavuuden mukanaan tuomat tuotannon hallintaongelmat.

Materiaalin kuljetus – ongelma?

Jos tehtaan layout muutetaan moduulipohjaiseksi, tarkoittaa se myös sitä, että kiinteitä reittejä tai kuljettimia moduulien välillä ei ole. Moduulien sisällä tavara liikkuu entiseen tapaan kuljettimilla, mutta moduulien välillä kysymykseen voivat tulla erityyppiset vihivaunutoteutukset tai siirrettävät makasiinit. Erityisesti komponenttien toimittaminen eri paikkoihin tuotantotilanteen vaatimusten mukaan vaatii nykyistä kehittyneempää materiaalivirran hallintaa.

Sama pätee myös tuotannon suunnitteluun. Kuten laatikossa on esitetty on pelkästään yhden tuotantovaiheen toteuttamiseen olemassa monia lähes tasavertaisia vaihtoehtoja ja näiden välisen optimin löytäminen on ongelma, jonka ratkaiseminen onnistuu ainoastaan tietokoneella.

Toimivien ratkaisumallien esteenä ovat myös nykyisten tuotantolaitteiden monenkirjavat ja alkeelliset liityntäpinnat tehdasverkkoon. Erilaisia standardeja on tekeillä useita, mutta kehityksen nopea vauhti ajaa edelle komiteoiden mietinnöistä ja syntyvä tulos on jo ennen julkaisemistaan vanhentunut. Näyttääkin siltä, että Internetin nopea kehittyminen ja sen luomat "standardit" tullaan ottamaan käyttöön tuotantolaitteissa.

Selaintekniikka Java-toteutuksina valtaa alaa käyttöliittymäpuolella ja XML yleistyy koodeidenvälisessä tiedonsiirrossa. Langaton WLAN-teknologia ja siihen liitetyt Linux-pohjaiset ohjaimet saattavat yleistyä muu-

tamassa vuodessa de facto - standardiksi tuotantolaitteissa.

Valmistuksen globalisoituminen tukee myös tätä kehitystä. Jos kehitys tapahtuu www-pohjaisia ratkaisuja hyväksikäyttäen, toimii kaikki välittömästi myös globaalisti ja väylät ovat jo olemassa Internetin myötä.

Alihankintojen ohjaaminen verkostossa

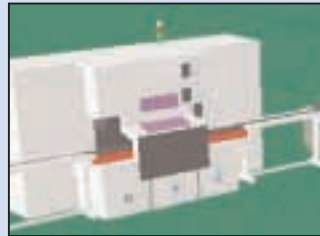
Jos tuotanto saadaan hallintaan tehtaan sisäpuolella, odottaa sekin ulkopuolella alihankkijoiden verkosto tietoa siitä, mitä pitää toimittaa ja minne. Tämän tiedon tuottaminen ja oikea-aikainen hallinta on myös tärkeä ratkaistava haaste. On ilmeistä, että tieto on saatava syntymään ja siirtymään verkoston käyttöön automaattisesti.

Sähköisen kaupankäyntiin on jo kehitetty toimivia järjestelmiä, mutta ne ovat hyvin massiivisia ja laadittaessa on ollut pääpaino tilausten käsittelyssä. Suurimmat komponenttien toimittajat ovat myös pystyneet luomaan omia järjestelmiään, joissa päämiehen ja toimittajan välinen tiedonsiirto on saatu automaattiseksi.

Tämän hetken aktiivisimmin tutkittavia teemoja ovat kuitenkin erilaiset toimittaja-alihankkijaportaaliit. Ideana on koota tehdasjärjestelmästä alihankkijan tarvitsemat tiedot ja siirtää ne turvallisesti palomuurin takana toimivaan portaalipalvelimeen, johon alihankkijalla on käyttöoikeus. Käyttöliittymät voidaan räätälöidä esimerkiksi Java-toteutuksina sovellusriippumattomiksi, jolloin niiden käyttöönottokynnys on matala.

Oheisessa kaaviossa on kuvattu tuotantovaihe, jonka voi suorittaa kolme moduulia. Tuotannossa ovat tuotteet A, B ja C. Moduulit ovat kapasiteetiltaan eritehoisia ja niiden volyymit on merkitty kappalemäärinä. Esimerkiksi moduulille 1 on ilmoitettu seuraava tuotantoteho (A100/B80) (A+B;40+30). Se tarkoittaa, että moduuli pystyy tuottamaan tuotetta A 100 kappaletta tunnissa tai tuotetta B 80 kappaletta. Mikäli tuotetaan molempia yhtä aikaa voidaan tuottaa tunnin kuluessa 40 A:ta ja 30 B:tä.

Jos tarkastellaan erilaisia tuotantovolyymeja, mitä yllä olevalla moduulistolla voidaan tuottaa, saadaan esimerkiksi seuraavatyypiset vaihtoehdot:



A100/B80 (A+B;40/30)

Lisäksi voidaan tuottaa tästä poikkeavia variaatioita tuottamalla yhdellä tai useammalla moduulilla jätettävä tuotantoa. Kuten havaitaan jo tällä yksinkertaisella skenaariolla saadaan erittäin suuri määrä erilaisia volyyminvaihtoehtoja tuotteille A, B ja C.

A (kpl/h)	B (kpl/h)	C (kpl/h)
180	100	0
180	0	100
100	100	100
100	200	0
0	180	100
0	280	0



A80/B100 (A+B;30+40)

Lisäarvoa konseptille saadaan, jos tarkastellaan vikasetoitaisuutta, olettaen että yksi moduuli on poissa käytöstä. Havaitaan, että ensimmäisen tai toisen moduulin osalta kaikkia tuotteita voidaan edelleen tuottaa. Tuotteella C ei ole vaihtoehtoista reittiä, joten sen suhteen tilanne on herkempi.

Kuvattu tuotantomalli on käyttökelpoinen esimerkiksi silloin, kun tuote B on volyymituote, tuote C on rampup-vaiheessa ja tuote A on elinkaarensa loppupäässä. Tuotantoa on mahdollista ajaa B tuotetta suosien ja kuitenkin on mahdollisuus hallita suuri määrä erilaisia volyyminvaihtoehtoja.



B100/C100 (B+C;40+40)

Kustannukset portaalin räätälöimisestä ovat luokkaa 100000–200000 markkaa alihankkijaa kohti. Hyödyt ovat molemminpuoliset. Alihankkija voi tehostaa omaa toimintaansa parantuneen tiedon avulla ja päämies hyötyy täsmällisemmistä toimituksista ja vähentyneistä puskurivarastoista.

Tässäkin on nähtävissä Inter-

netin vaikutus. Suurimmat ongelmat portaalin toteutuksessa liittyvät tietoturvaan ja avoimuuden puutteeseen. Päämies ei aina halua avata tarpeeksi paljon tuotantoon liittyviä tietokantojaan ja pelkää järjestelmien sotkevan tuotantoa. Tietoturvaan liittyvät ongelmat ovat ratkaistavissa. Tämän jälkeen tuskin löytyy mitään estettä portaalien voimakkaalle yleistymiselle.

Löytyykö viisasten kivi?

Todennäköisesti viisasten kiveä, joka tuottaisi kaikkiin ongelmiin valmiita ratkaisuja on tuskin järkevää edes etsiä. Käyttökelpoisia ja toteutettavissa olevia malleja on olemassa riittävästi muiden teollisuudenalojen piirissä. Ne tarvitsee vain löytää, analysoida ja soveltaa elektroniikan tuotantoon. Suoraan kopiaamalla ei tulos ole paras mahdollinen. ●

Tietoteknisen tuotteen elinkaarimalli. Kuvassa katkoviivat kuvaavat rampup-vaihetta ja vihreä nuoli tilannetta, jossa tuote on kattanut tuotantoon liittyvät investointikulut. The lifecycle model of IT-product. Rampup-phase is indicated with two dotted lines. Green arrow indicates break-even point of the product.

Aiheesta enemmän
Kuitunen, Räsänen, Mikkola, Kuivanen: Kehittyvä yritysverkosto. Toimittajaverkostot kilpailukykyyn ja osaamisen lähteenä, VTT Automaatio, 1999.
Koski, Räsänen, Schienstock: Kohti verkostomaisia toimintatapoja, Työministeriö, 1997.
Sakki: Logistinen prosessi, tilaus-toimitusketjun hallinta, Jouni Sakki Oy, 1999.
Bernus, Nemes, Williams (Eds): Architectures for Enterprise Integration, Chapman & Hall, 1996.
Osorio, Antunes, Barata: Communicational Infrastructure, Kluwer Academic Publishers, 1999.

Taustat

Kirjoittajat: Klaus Känsälä on mekatroniikan ryhmän vetäjä VTT Automaation Oulun laitoksessa. Kari Ruokonen on teknologiapäällikkö Salcomp Oy:n Kemijärven tehtaalla.

Tutkimus: Millennium Factory

Yhteystieto: klaus.kansala@vtt.fi

Yhteistyössä: VTT Automaatio, Nokia Networks, Salcomp, ABB Industry, JOT Automation, Kaski Tech, Arrow-Finland, GWS Systems, Eimo, Rocla, Projekti-Insinöörit.

Teknologiaohjelma: ETX

