

Lassi Laakso

# SMED-tuotevaihtotekniikka R2-pullotussarjalla ja lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen vaih- toaikamatriisista

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Opinnäytetyö

23.4.2015

|  |  |
|--|--|
| Tekijä(t)<br>Otsikko<br><br>Sivumäärä<br>Aika  | Lassi Laakso<br>SMED tuotevaihtotekniikka R2-pullotussarjalla ja lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen vaihtoaikamatriisista<br><br>38 sivua + 3 liitettä<br>23.4.2015                        |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma  | Kemiantekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Prosessien suunnittelu ja käyttö   |
| Ohjaaja(t)   | Mikko Halsas, lehtori, Metropolia ammattikorkeakoulu<br>Veli-Matti Taavitsainen, yliopettaja, Metropolia ammattikorkeakoulu<br>Markus Valtonen, kehitys- ja kunnossapitopäällikkö, Altia Oyj |
| <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia SMED-tekniikan hyödyntämistä Altian Rajamäen tehtaan R2-pullotussarjalla tuotevaihtoaikojen pienentämiseksi. Samalla tutkittiin vaihtoajan vaikutusta pullotussarjan tehokkuutta mittaavaan OEE-prosenttiin. Tuotevaihtoajan optimointi on tärkeää yritykselle sen tuomien mahdollisten taloudellisten säästöjen takia. Samalla operaattorien työn mielekkyys paranee kun toiminta pullotussarjalla on johdonmukaista tuotevaihdon aikana. Työssä käytetty SMED-tekniikka on alkujaan lähtöisin Japanista ja se perustuu kahden aikakäsitteen soveltamiseen, sisäisen asetusajan ja ulkoisen asetusajan. On tärkeää ymmärtää toiminnan tärkeys ulkoisen asetusajan piirissä ja samalla pyrkiä minimoimaan sisäisen asetusajan toiminnot. Tässä työssä tehtiin myös vaihtoaikamatriisi sarjalla pullotuksessa oleville eri pullotyypeille. Matriisi antaa sarjan operaattorille aikaikkunan, jonka puitteissa tuotevaihto tulee suorittaa. Matriisi on tehty SMED-tekniikan pohjalta ja siinä oleviin aikoihin on mahdollista päästä SMED-tekniikkaa käyttäen. Tuloksista todettiin tuotevaihtoajan pienentämisen tuovan merkittävän OEE-prosentin parannuksen.</p> <p>Työn toisessa osiossa käsitellään tuotannosuunnittelun näkökulmasta probleemaa, joka voisi vastata kysymykseen optimi pullotyyppijärjestyksestä tuotannossa. Ongelma oli epäsymmetrisen kauppamatkustajan ongelman, ATSP:n eräs erikoistapaus, lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen. Polun löytämiseen käytettiin R-Studio-tietokoneohjelman heuristiikkaa. R-Studio on visuaalisempi käyttöliittymä alkuperäisestä R-ohjelmasta. Kompleksisuusteorian mukaan kyseessä oli NP-täydellinen ongelma, jossa mahdollisten ratkaisujen lukumäärä kasvaa eksponentiaalisesti suhteessa muuttujien lisääntymiseen. Ratkaisuehdotuksessa päädyttiin käyttämään ohjelmiston TSP-ratkaisupakettia "nearest_insertion"-menetelmällä. Ohjelman antama ratkaisu toimi tyydyttävästi ja tulos oli yksi käyttökelpoisista. Tulee huomioida kuitenkin optimin tarkentuvan toistojen lisääntyessä. Tulos oli kuitenkin parempi kuin satunnaisesti valittu järjestys.</p> |  |
| Avainsanat   | SMED, tuotevaihtoaika, OEE, optimointi, ATSP   |

|  |  |
|--|--|
| Author(s)<br>Title   | Lassi Laakso<br>SMED changeover technique in the R2 bottling line and finding the shortest Hamiltonian path from the changeover matrix |
| Number of Pages<br>Date  | 38 pages + 3 appendices<br>23 April 2015   |
| Degree   | Bachelor Of Engineering  |
| Degree Programme   | Chemical Engineering   |
| Specialisation option  | Process Technology   |
| Instructor(s)  | Markus Valtonen, Altia Oyj<br>Mikko Halsas, Senior Lecturer, Metropolia<br>Veli-Matti Taavitsainen, Principal Lecturer, Metropolia     |
| <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to research the benefits of the SMED technique in product changeover and to discover its effects on the OEE percent in Altia's Rajamäki plant. Optimizing the product changeover time is important when the goals in effectiveness have to be achieved. A more important goal than effectiveness is the company's financial savings which come from reduced changeover time. When the product changeover is rationalized and streamlined, it improves the employees' satisfaction with their work as well. SMED changeover technique was originally invented in Japan and was implemented in Toyota factory in the first place. The key in implementing SMED is to understand the difference between inner setup time and external setup time. These two time concepts are the basis of SMED. Main goal in SMED changeover is to maximize the external setup time and minimize the inner. A changeover matrix was made for operators to use. The matrix consists of changeover times from one bottle type to another. Achieving the times presented in matrix is possible when the implementation of SMED is done correctly. The results showed that cutting changeover time has relatively large positive effect on the OEE percent.</p> <p>The second part of this thesis is about finding effective ways to solve the production planning problem about finding a feasible bottling order from the changeover matrix. The problem is known as Asymmetric Travelling Salesman Problem and its special case, finding the shortest Hamiltonian Path. The problem is generally known as an NP-Complete problem in the complexity theory, and therefore its solution alternatives increase exponentially towards in relation to the increase in variables. To find this optimum path between the bottle types, a software called R-Studio was used. For solving the path, "nearest_insertion"- method was used from TSP-solving package. The method gave a feasible in bottling order, which was better than random selection. However, the possible optimum improves when the algorithm is repeated.</p> |  |
| Keywords   | SMED, changeover, OEE, optimizing, ATSP  |

## Sisällys

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1   | Johdanto   | 1  |
| 2   | Altia Oyj  | 2  |
| 2.1 | Yleistä yrityksestä  | 2  |
| 2.2 | Historiaa  | 2  |
| 3   | Single Minute Exchange Of Die, SMED                        | 4  |
| 3.1 | Menetelmän synty ja sen määritelmä                         | 4  |
| 3.2 | Shingon kahdeksankohtainen lista                           | 7  |
| 4   | Tuotannon tehokkuuden mittaaminen                          | 8  |
| 4.1 | Kokonaistehokkuus, OEE                                     | 8  |
| 4.2 | KNL-laskenta   | 9  |
| 5   | Rajamäen tehdas  | 11 |
| 6   | SMED-tekniikka R2 sarjalla                                 | 13 |
| 6.1 | Pullotuksen kulku  | 14 |
| 6.2 | Vaihto-osat  | 15 |
| 6.3 | Täysvaihdon kulku  | 16 |
| 6.4 | SMED toteutus sarjalla                                     | 17 |
| 6.5 | Kehitysehdotuksia  | 22 |
| 6.6 | SMED-tekniikan vaikutus OEE-prosenttiin                    | 24 |
| 7   | Johtopäätökset   | 25 |
| 8   | Lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen vaihtoaikamatriisista | 27 |
| 9   | Kombinatorinen optimointi                                  | 27 |
| 9.1 | Verkkoteoriaa  | 28 |
| 9.2 | Kauppamatkustajan ongelma, TSP                             | 29 |
| 9.3 | Hamiltonin polku   | 30 |
| 10  | Ongelmien vaativuusluokat vaativuusteorian mukaan          | 31 |
| 11  | Ongelman ratkaisu Altialla                                 | 32 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 11.1 | R-Studio                                     | 32 |
| 11.2 | Lyhin Hamiltonin polku vaihtoaikamatriisissa | 33 |
| 12   | Johtopäätökset                               | 35 |
|      | Lähteet                                      | 36 |
|      | Liitteet                                     |    |
|      | Liite 1. Vaihtoaikamatriisi pullotypeittäin  |    |
|      | Liite 2. CAD- piirros pulloitusarjasta       |    |
|      | Liite 3. R2-pulloitusarjan laitteet          |    |

## 1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää *Single Minute Exchange of Die*, eli SMED-tekniikan käytön mahdollisuuksia sekä siitä saatuja hyötyjä tuotevaihdossa Altia Oyj Rajamäen tehtaassa R2-pullotussarjalla. Tekniikan käytön tarkoituksena oli löytää käyttökelpoinen aikaoptimi, jossa tuotevaihto suoritetaan pullotussarjalla tarkkaan suunnitellulla työjärjestyksellä. Rationalisoidusti tehtynä, parantaa se tuottavuuden ohella myös työn mielekkyyttä. Kun tuotevaihtoon käytetty aika on minimoitu järkevin keinoin, on tuotannon suunnittelun mahdollista tiivistää pullotusohjelmaa ja täten kasvattaa pullotusmäärää tai vaihtoehtoisesti lyhentää tarvittavaa tuotantoaikaa.

Tekniikan soveltamisen kannalta tärkein asia on ymmärtää tuotevaihtoon liittyvien toimintojen jako sisäisen ja ulkoisen asetusajan välillä. Kun tiedetään toimintojen jaottelun perusteet sekä toimintojen luonne, voidaan niitä järjestää uudelleen siten, että ne muodostavat tehokkaasti etenevän jonon ilman haitallista odotusaikaa. Ulkoisen asetusajan toiminnot voidaan tehdä koneiden ollessa käynnissä. Sisäisen asetusajan toiminnot taas tehdään koneiden ollessa pysähdyksissä. Jälkimmäistä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää ja sisäisen asetusajan toimintoja tulisikin pyrkiä muuttamaan tehtäväksi mahdollisimman paljon ulkoisella asetusajalla.

SMED-tekniikan tavoitteella eli tuotevaihtoajan lyhentämisellä on selkeä positiivinen vaikutus tuotantolaitoksen tehokkuutta mittaavaan OEE-prosenttiin. OEE eli overall equipment efficiency ilmaisee kolmen muuttujan keskinäisen tulon yhtenä vertailtavana prosenttilukuna. Kerrottavat muuttujat ovat käytettävyyden, nopeuden ja laatu. Mitä korkeampi OEE-prosentti, sitä tehokkaammin voidaan tuotantolaitoksen ajatella toimivan. Yleisten määritelmien mukaan OEE:n ollessa 85 %, tuotantolaitos toimii maailmanluokan tehokkuudella.

SMED-tekniikka on yksi Lean johtamisajattelumallin työkaluista. Leanin ydinajatuksena on kaiken yritykselle arvoa tuottamattomien toimintojen eli turhuuden poistaminen. Lean pohjautuu pitkälti Toyota Production Systemin, TPS:n periaatteisiin.

On muistettava, että välitöntä vastausta oikeaoppiseen tuotevaihtoon SMED tuskin antaa ensimmäisellä kerralla, vaan tuotevaihtoja täytyy tehdä monia ja käytettyä aikaa iteroida, jotta lähestyttäisiin todellista optimia. SMED-tekniikka antaakin optimin löytämiseen varsin käyttökelpoiset työskentelyvälineet.

## 2 Altia Oyj

### 2.1 Yleistä yrityksestä

Altia Oyj on suomalainen, Pohjoismaiden johtava alkoholijuomayhtiö. Yhtiö valmistaa, markkinoi, myy, vie ja tuo erilaisia, pääasiassa väkeviä alkoholijuomia. Altian tuotevalikoima muodostuu yhtiön omista sekä päämies-tuotteista. Altian omia tuotenimikkeitä ovat muun muassa Koskenkorva Viina, Jaloviina sekä Skåne Akvavit. Viime vuosina mukaan ovat tulleet myös hanapakkausviinit, joista mainittakoon Nederburg sekä Ravenswood. Blossa-glögi on yksi yhtiön perinteisistä tuotteista [2].

Altialla on tuotantolaitoksia Nurmijärven Rajamäellä, Ilmajoen Koskenkorvalla sekä Virossa Tabasalussa. Vuonna 2013 konsernin liikevaihto oli 475,8 miljoonaa euroa ja henkilökuntaa oli 1074. Yhtiön omistaa Suomen valtio [2]. Kansainvälistyminen näkyy yhtiön logon tunnuslauseena.



Kuva 1. Altian logo

### 2.2 Historiaa

Altian tarina alkoholijuomavalmistajana alkoi jo vuonna 1888, kun Wilhelm Juslin perusti yhdessä kolmen muun insinöörin kanssa hiivatehtaan Rajamäelle. Hiivatehdasta perustettaessa heillä oli jo tiedossa, että prosessissa muodostuu sivutuotteena etanolia enemmän kuin itse hiivaa. Sadasta kilosta viljaa saatiin 8,2 kiloa hiivaa ja 52,5 litraa etanolia [3]. Tämän vuoksi tehtaalle haettiin lupaa toimia polttimona, eli tislaamona heti alusta asti.

Rajamäki valittiin tehtaan paikaksi kahdesta syystä. Rajamäeltä oli nopea yhteys rautateitse etelään ja pohjoiseen Hanko-Hyvinkää radan ansiosta. Toinen syy oli alueella sijainnut lähde, josta virtasi noin 4,5 miljoonaa litraa vettä vuorokaudessa ja lähteen vesi oli poikkeuksellisen puhdasta. Lähteellä sijaitsee edelleenkin yksi tehtaan pumppaamoista, eikä sen vettä ole tarpeen erikseen puhdistaa [3].

Vuonna 1886 voimaan tulleiden asetusten myötä moni pieni polttimo joutui maaseudulla sulkemaan ovensa maakuntien oikeuden myötä lopettaa viinan poltto pitäjissään sen käytön rajoittamiseksi. Rajamäen polttimo, tällöiseltä nimeltään Hyvinkään Tehdas, selvitti tiensä näistä haasteista ja siitä tulikin vuoteen 1896 mennessä Suomen suurin tislamo.

Kieltolain tullessa voimaan 1.6.1919 Suomen valtio osti tehtaan omistukseensa, jotta sen toimintaa kyettiin valvomaan. Kieltolaki kielsi juotavaksi kelpaavien eli denaturoimattomien alkoholien maahantuonnin, myynnin, kuljetuksen sekä varastossa pidon niiden aineiden osalta, jotka sisälsivät enemmän kuin kaksi tilavuusprosenttia etanolia +15 °C:n lämpötilassa [4]. Kieltolain aikana tehtaalla valmistettiin pääasiassa hajuvesiä, mutta poikkeusluvalla saatiin kuitenkin valmistaa etanolia lääkinnällisiin, teknillisiin sekä tieteellisiin tarkoituksiin [5]. Kieltolaki kumottiin kansanäänestyksellä joulukuussa 1931 ja Vuonna 1932 Suomessa avattiin ensimmäinen Alko [3].

Rajamäen tehtaiden ensimmäinen myyntiin tullut tuote oli Pöytäviina vuonna 1932. Tehtaan ensimmäisenä virallisena toimintapäivänä sitä pullotettiin 2500 pullollista. Pullotuslaitteiston silloinen kapasiteetti vakiintui myöhemmin kahdeksaan tuhanteen pullolliseen päivässä [3].

Talvisodan alettua vuonna 1939 alkoholin valmistus lopetettiin Rajamäen tehtailla kokonaan. Panssarintorjuntaa varten tehtaalla alettiin valmistamaan Molotovin cocktaileja eli polttopulloja. Polttopulloja valmistettiin sodan aikana yhteensä 542 194 kappaletta vajaan sadan hengen voimin [3]. Tehdas sai osansa pommituksista polttopullon korkissa lukeneen ”Alko-Rajamäki”-tekstin vuoksi.

Sodan jälkeen tehdas oli taloudellisesti hyvin heikoilla kantimilla, eikä toiminnan jatkosta oltu varmoja alkoholin kysynnän vähäisyyden vuoksi. Pari vuotta rauhan jälkeen tuotanto kuitenkin hiljalleen elpyi huipentuen vuoden 1953 ponnauduslautaan, Koskenkorva Viinan markkinoille tuontiin.



Vuosina 1969–1995 yhtiön nimenä oli Oy Alko Ab. Yhtiöllä oli monopoli valmistuksen ja markkinoinnin osalta Suomessa [6]. Vuonna 1995 Oy Alko Ab jakautui kolmeksi yhtiöksi. Valmistus ja markkinointi nimettiin Primalco Oy:ksi, vähittäis- ja tukkukauppaa harjoittava osa Alko Oy:ksi ja hotelli- sekä ravintolatoimintaa harjoittava osa Arctia Oy:ksi. Näiden yhtiöiden emoyhtiöksi perustettiin Alko-yhtiöt Oy. Konserniin tuli vuonna 1996 uusi yhtiö, alkoholijuomien tukkumyyntiä ja jakelua hoitava Havistra Oy. Alko Oy erotettiin tästä konsernista vuonna 1999 ja se siirrettiin sosiaali- ja terveysministeriön alaisuuteen. Jäljelle jääneiden Primalcon ja Havistran emoyhtiön nimeksi vaihdettiin Altia Group Oy. Primalco ja Havistra sulautettiin emoyhtiönsä vuonna 2002 ja yhtiön nimeksi muutettiin Altia Oyj. Altian suurin asiakas on Alko Oy [7].

### 3 Single Minute Exchange Of Die, SMED

Käsitteenä SMED esiteltiin teollisuudelle Japanissa jo 1950-luvulla. Menetelmän kehittäjänä ja luoja pidetään japanilaista insinööriä Shigeo Shingoa (Shingō dai-sensei, 1909–1990). Hän toimi konsulttina monille japanilaiselle tuotantoyritykselle joiden yhteinen ongelma oli pitkät tuotevaihtoajat. Pitkistä tuotevaihtoajoista johtuen tuotannon eräkojoja kasvatettiin, eikä toiminta olisi pidemmän päälle ollut näin meneteltynä kovinkaan kannattavaa varaston arvon kasvaessa. Shingo pyrki löytämään erilaisia järkeviä ratkaisumalleja näiden vaihtoaikojen lyhentämiseksi [11]. Merkittävämpänä SMED-tekniikalla saatuna hyötynä voidaan pitää Toyotan autotehtaalla luotua toimintamallia, joka auttoi lyhentämään muotinvaihtoaikaa alkuperäisestä 72 tunnista yhteen tuntiin [11].

#### 3.1 Menetelmän synty ja sen määrittely

Keväällä 1950 Shingo teki tehokkuustutkimusta Toyo Kogyon Mazdan autotehtaalla Hiroshimassa. Tehtaalla haluttiin päästä eroon vaihtoprosessin pullonkauloista, jotka aiheutuivat kolmesta satojen tonnien painoisten korimuottien vaihdoista. Muotit toimivat tasaisella nopeudella ympäri vuorokauden ja tuottavuuden parantamiseksi tehtaanjohto piti ainoana keinona hankkia lisää prässejä. Shingo kyseenalaisti lisähankintojen tuoman hyödyn ja keskittyi sen sijaan selvittämään juurisyytä tuotevaihdon hitaudelle. Kun muotinvaihto koitti, työntekijät alkoivat hänen mukaansa pyörimään päämäärättömästi ympäriinsä ilman selkeää suuntaa. Tarvittavat kiinnityspultitkin olivat hukassa. Vasta pultit löydettyään työntekijät hakivat uuden muotin koneen lähelle. Tällöin Shingo pystyi näke-

mään suurimmat aikahävikkiä aiheuttavat tekijät. Koetun perusteella hän jakoi tuotevaihdon toiminnot kahden aikakäsitteen piiriin, sisäisen ja ulkoisen asetusajan kategorioihin. Nämä aikakäsitteet luovat perustan SMED-tekniikan ymmärtämiselle [12].

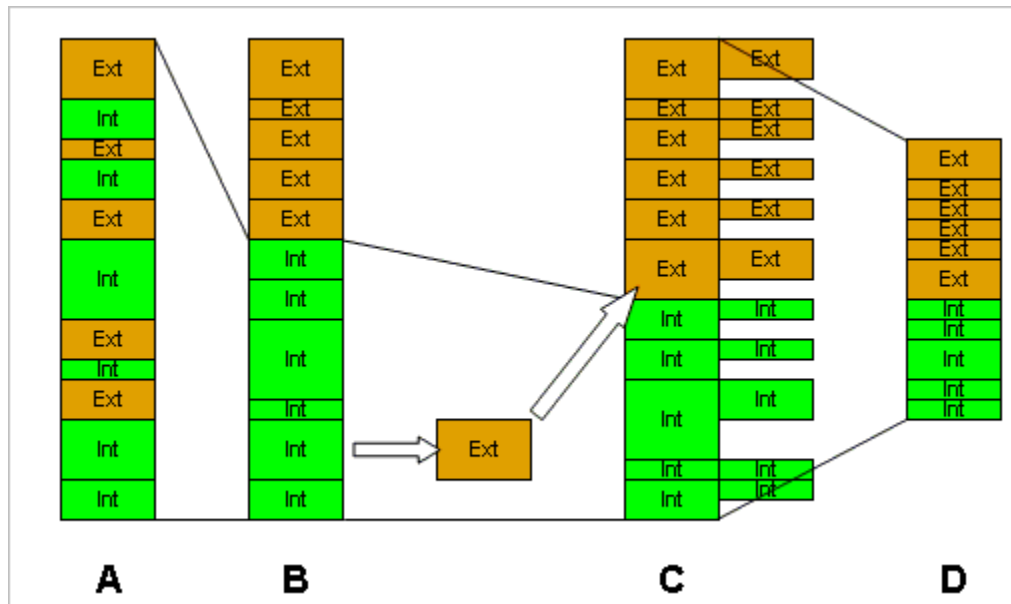
Sisäisen asetusaja (Internal setup):

Sisäinen asetusaja käsittää vaihdon aikaiset toiminnot, jolloin linjaston on oltava pysähtyneessä.

Ulkoinen asetusaja (External setup):

Ulkoinen asetusaja käsittää vaihdon aikaiset toiminnot, jotka voidaan suorittaa linjaston ollessa käynnissä.

Edellä esitetyssä tilanteessa kiinnityspulttien etsintä näytti selvästi olevan sisäisen asetusajan toiminto. Tätä Shingo ei kyennyt ymmärtämään, vaan vastaavanlaiset toimenpiteet hän kategorioikin sen ja muut vastaavanlaiset toimenpiteet ulkoisen asetusajan toimintoiksi. Tämän jälkeen seurasi joukko muita toimintoja, jotka vaihdettiin sisäiseltä ulkoiselle asetusajalle. Lopulta koko muotinvaihtoprosessi järjesteltiin uudelleen siten, että ulkoisen asetusajan piirissä suoritettiin niin monta toimintoa kuin vain pystyttiin. Yksinkertaisella työjärjestelyllä voitiin vähentää vaihtoon käytettyä aikaa puolella alkuperäisestä. Kuvassa 2. on esitelty toimintojen uudelleenjärjestely yleisellä tasolla.



Kuva 2. A) Alkutila B) Toimintojen ryhmittely C) Sisäisestä ulkoiseen aikaan D) Toimintojen tehostus

Vuonna 1969 Shingoa pyydettiin Toyota Motor Companyn tehtaalle, jossa oli samankaltaisia ongelmia kuin Toyo Kogon tehtaalla. Toyotan ongelmana oli korimuotin vaihto, joka kesti neljä tuntia. Volkswagenin tehtaalla Saksassa samaisen muotin vaihtoon meni vain kaksi tuntia ja japanilaisten piti nyt alittaa tämä aika. Puolen vuoden aktiivisen työskentelyn jälkeen vaihtoaika oli onnistuttu lyhentämään 90 minuuttiin. Tämä ei kuitenkaan riittänyt tehtaan johdolle, vaan Shingo määrättiin kehittämään tuotevaihto siten, että se veisi enää vain kolme minuuttia. Tähän aikamääreeseen pääseminen edellytti uudenlaista tapaa käsitellä tuotevaihtoa. Tuotevaihtoa tulikin käsitellä kokonaisuutena, joka koostuu kolmesta osasta. Aluksi pitää erottaa sisäisen ja ulkoisen asetusajan toiminnot toisistaan. Toiseksi tulee muuttaa systemaattisesti sisäisen asetusajan toimintoja ulkoiseksi niin paljon kuin vain mahdollista. Lopuksi kaikkia jäljelle jääneitä elementtejä tulee tehostaa niille sopivalla tavalla. Shingo teki kahdeksankohtaisen listan tekniikoista kolmen pääkohdan pohjalta. Listan tekniikoita systemaattisesti noudattaen voidaan saavuttaa merkittävä etu aikaisemmin käytössä olleeseen toimintamalliin verrattuna [12].

### 3.2 Shingon kahdeksankohtainen lista

#### 1. Sisäisen ja ulkoisen asetusajan toimintojen erottaminen toisistaan

Tärkein asia SMED-tekniikan soveltamisen kannalta on ymmärtää jako sisäisen asetusajan ja ulkoisen asetusajan välillä. Kuten aiemmin todettiin, sisäinen asetus aika on aikaa, jolloin koneet ovat pysähdyksissä ja ulkoinen asetus aika tarkoittaa aikaa, jolloin koneet käyvät. Teoriassa on usein selvää, että tuotevaihtoa valmistelevat toimenpiteet esimerkiksi työkalujen haku suoritettaisiin ulkoisen asetusajan puitteissa. Käytäntö on kuitenkin osoittanut, että useissa paikoissa paikoissa toimitaan juuri päinvastoin. Tehokkuusseurannat ovat hyväksi havaittuja metodeja käytetyn ajan kartoittamiseen.

#### 2. Sisäisen asetusajan toimintojen muuttaminen ulkoiselle asetusajalle

Jäljelle jäävästä sisäisestä ajasta saadaan aikaikkuna, jonka puitteissa tuotevaihto tulee suorittaa. Käytännön työssä tämä aikakäsitysten muuttaminen tarkoittaa ennakointia ja siitä saatua hyötyä. Laitteiston säätäminen ennen tuotannon aloittamista on myös eräs tehokas tapa.

#### 3. Työn standardointi

Operaattorista riippumatta työvaiheeseen käytetty aika on vakio. Standardointiin päästään vain useiden tuotevaihtoharjoitusten jälkeen.

#### 4. Pikalukitusten käyttö

Tuotevaihdossa vaihdettavien osien kiinnitykset vaihdetaan ruuvattavista ja työkalua vaativista pikalukituksellisiin malleihin. Tiedettyä on, että vain viimeinen lenkkiavaimen kääntö kiristää pultin. Muu on vain aikaa vievää liikettä.

#### 5. Väliohjainten käyttö

Tarkkuutta vaativissa asetteluissa käytetään ohjureita. Toyotan tapauksessa tällainen oli muotin laskeminen prässiin nosturilla.

#### 6. Päällekkäistoiminta

Ideaali toimintamalli on sellainen, jossa työvaiheet suoritetaan samanaikaisesti. Tällöin voidaan myös minimoida tuotevaihdon onnistumista haittaava odotusaika. Pullotussarjalla tämä on helposti toteutettavissa riittävän henkilölukumäärän vuoksi.

#### 7. Säätöjen minimointi

Kaikenlainen säätäminen on tunnetusti aikaa vievää. Joskus saatetaan säätää jotain tiettyä komponenttia niin kauan, että tuotevaihto aika jopa kaksinkertaistuu

#### 8. Mekanisointi

Toyota otti käyttöönsä tämän Shingon kehittämän sarjan tekniikoita kaikissa tehtaissaan ja se onkin yksi pääperiaatteista Toyota Production Systemsissä, TPS:ssä [11].

### 4 Tuotannon tehokkuuden mittaaminen

Tuotannon tehokkuutta on mielekästä mitata menetelmällä, joka antaa käyttöön selkeän ja vertailukelpoisen luvun. Luvun tulee olla helposti ymmärrettävissä, jotta siihen vaikuttaviin tekijöihin voidaan tarvittaessa puuttua nopeastikin. Tehokkuuden mittarina voidaan pitää esimerkiksi saantoa ja läpimenoaika. Tuotannon kokonaistehokkuutta kuvataan usein kuitenkin yhdellä käytännönläheisellä luvulla, OEE-prosentilla.

#### 4.1 Kokonaistehokkuus, OEE

OEE, *Overall Equipment Effectiveness* on Seiichi Nakajiman 1960-luvulla kehittämä tehokkuuden laskentamenetelmä. Menetelmä arvioi valmistusprosessin tai yleensä linjaston tehokkuutta prosenttilukemana. Laskentamenetelmä perustuu Harrington Emerson -ajatteluun, jonka perustana oli 1900-luvun alkupuolella verrata vetureiden korjaustöiden tehokkuuden ja kustannusten välistä yhteyttä. Nakajiman voidaan sanoa kehittäneen Emersonin verrattain kapea-alaisesta kahdentoista tehokkuuden teesistä nykyaikaisemman version, joka toimii yleisenä tehokkuuden mittaustyökaluna nykyajan teollisuuslaitoksissa [9].

OEE-laskenta koostuu kolmesta muuttujasta, jotka ovat käytettävyys, nopeus ja laatu [10]. Jokainen muuttuja saa oman prosenttilukunsa, jotka lopulta kerrottuna keskenään muodostavat yhden toiminnan tehokkuutta mittaavan prosenttiluvun eli OEE-prosentin. Menetelmän suurin hyöty saadaan edellä olevan muuttujien sisällä olevien parametrien

antamista välittömistä tuloksista. Tuloksista voidaan nimetä OEE-prosenttiin vaikuttavat syyt ja näin ollen niihin voidaan puuttua tehokkaammin. Yleisesti arvoa 85 % on pidetty maailmanluokan tehokkuutena. Tähän yltäessä oltaisiin tehokkaimpien toimijoiden joukossa maailmanlaajuisessa vertailussa.

OEE-laskennan tulosten tarkastelun yhteydessä puhutaan usein kuudesta suuresta menetyksestä (Six big losses). Menetykset jakaantuvat kolmen päämuuttujan alle taulukon 1. mukaan.

Taulukko 1. Kuusi suurinta menetystä

| <b>Käytettävyys</b>         | <b>Nopeus</b>      | <b>Laatu</b>                      |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Suunniteltu ahaallaolo-aika | Pienet pysähdykset | Hylätyt tuotteet lkm              |
| Hajoamiset                  | Nopeushäviöt       | Hylätyt tuotteet aloituksessa lkm |

#### 4.2 KNL-laskenta

Kuten aiemmin mainittiin, OEE-prosentti muodostuu kolmen tekijän keskinäisestä tulosta. Tekijät ovat käytettävyys, nopeus ja laatu. KNL-laskenta on määritelty PSK-standardissa 7501.

##### Käytettävyys

Käytettävyys esittää käytettävissä olevan ajan ja todellisen tuotantoon käytetyn ajan välistä suhdetta. Maksimikäytettävyysaikana pidetään työvuoron pituutta, yhdessä vuorossa 480 minuuttia, kahdessa vuorossa 960 minuuttia ja kolmessa vuorossa 1440 minuuttia. Todellinen tuotantoon jäänyt aika on esimerkiksi tuotevaihdosta johtuvan vaihtoajan jälkeen jäljelle jäänyt aika. Jos pullotusohjelmaan on asetettu tuotevaihdolle aikaa yhteen vuoroon 120 minuuttia, on silloin lopullinen laskennassa käytetty aika 360 minuuttia. Laiterikoista johtuvat aikamenetykset pienentävät luonnollisesti käytettävissä olevaa pullotusaikaa.

Käytettävyysprosentiksi saadaan tällöin  $(360 \text{ min} / 480 \text{ min}) * 100 \% = 75 \%$

## Nopeus

Jokaiselle pulloitusarjalla käytettävälle koneelle on määritetty nimelliskapasiteetti. Nimelliskapasiteetti kertoo, kuinka monta pulloa kyseinen kone pystyy käsittelemään tunnissa. Pulloitusarja R2:lla esimerkiksi pakkauskonen nimelliskapasiteetti on 18 000 pulloa tunnissa eli 300 pulloa minuutissa. Tätä käytetään nopeudenlaskemisen perustana. OEE-laskennassa nopeus lasketaan pienimmän kapasiteetin omaavaan koneen mukaan. Kapasiteetti vaihtelee myös pullotyypeittäin. Suurin mahdollinen pulloitettava määrä vuorossa edellä mainitulla kapasiteetilla olisi tällöin

$$300 \text{ plo/min} * 480 \text{ min} = 144\,000 \text{ pulloa.}$$

Pulloa kohden käytetään aikaa 0,0033 minuuttia. Vuorossa todellinen pulloitettu määrä on kuitenkin 51 000 pulloa ja näin ollen pulloitukseen käytetty aika on  $51\,000 \text{ plo} * 0,0033 \text{ min / plo} = 169 \text{ minuuttia}$ . Nopeusprosentiksi saadaan tällöin

$$(169 \text{ min} / 360 \text{ min}) * 100 \% = 47 \%$$

## Laatu

Muuttuja ottaa huomioon epäkurantit pulloit, joita pulloituksessa syntyy eli hävikin. Esimerkiksi, jos pulloitetaan 51 000 pulloa, josta 400 pulloa hylätään, on laatuprosentti tällöin  $(50\,600 \text{ plo} / 51\,000 \text{ plo}) * 100 \% = 99 \%$ .

Edellä esitettyjen hypoteettisten lukujen perusteella kokonais-OEE olisi siten

$$OEE = K * N * L = (0,75 * 0,47 * 0,99) * 100 \% = 35 \% \text{ (Huono) [10].}$$

Kuten mainittiin aiemmin, OEE-prosentin nostaminen on vuoden 2015 teema Rajamäen tehtaalla. Koko tehtaan OEE-prosentti on tällä hetkellä 42 % ja tavoite olisi saada se nostettua 45 prosenttiin vuoden 2015 aikana. Edellä esitettyä laskentaa voidaan käyttää, kun halutaan selvittää juurisyitä alhaiselle OEE-prosentille. Tuotenvaihtoajan pienentämiselle ja sen myötä OEE-prosentin nostamiselle sovellettiin tässä insinööriyössä SMED-tekniikkaa. Rajamäen tehtaalla on käytössä päivä- ja sarjakohtainen OEE-seuranta.

OEE:n määritelmän mukaisesti linjaston suunniteltu alhaalla oloaika, toisin sanoen tuotevaihto lasketaan kuuluvaksi käytettävyyden ryhmään [8]. Tuotevaihtoajan pienentämisellä on siis suora positiivinen vaikutus kokonais-OEE prosenttiin.

## 5 Rajamäen tehdas

Rajamäen alkoholijuomatehtaalla on keväällä 2015 käytössä kuusi pullotuslinjastoa, yksi Nubbar-lajiittelulinjasto, sekä kaksi hanaviinien pakkauslinjastoa. Tuotenimikkeitä on tuotannossa 600. Vuosittain juomia pullotetaan 70 miljoonaa litraa eli noin 100 miljoonaa pulloa. Käytössä oleva tehdasrakennus on valmistunut vuonna 1975. Kuvassa 3. etualalla vasemmalla näkyy alkuperäisen tehtaan rakennuksia sekä Hanko-Hyvinkää rautatie, joka oli toinen tehtaan perustamishdoista juuri Rajamäelle [3]. Vanhan tehtaan tiloissa toimii tällä hetkellä muita yrityksiä sekä alkoholimuseo. Museo on tosin yleisöltä suljettu alkoholilainsäädännön vuoksi. Rajamäen tehtaalle on myönnetty laatusertifikaatit ISO9001, ISO14001 sekä OHSAS18001.



Kuva 3. Valta-Akselin tehdasalue

Pullotussarjalla R2 pullotetaan yhteensä 149 eri tuotetta mukaan lukien kaikki yksittäisten tuotteiden eri pakkausmuodot. Tunnetuimpia pullotussarjan tuotteista ovat Koskenkorva Viina sekä Jaloviina. Eri pullotustyyppisiä sarjalla on keväällä 2015 käytössä 29, pie-



nestä 3 desilitran pullosta litran kokoiseen. Sarjan pulloituskapasiteetti ylittää parhaimmillaan 19 000 pulloon tunnissa. Jokaiselle pullotyypille on määritetty konekohtaiset vaihto-osat. Kun tuote vaihtuu pulloitusohjelman mukaisesti, vaihtuvat myös koneiden osat sen mukaan, mikä tuote on kyseessä. Tämän vuoksi pulloitusarja on varsin muuntautumiskykyinen. Pulloitusarjan operaattoreilla on käytössään niin sanottu vaihto-osa kartta, jonka perusteella valitaan jokaiselle pullotyypille oikeat osat. Tehtaalla työskentelee myös laitosmiehiä kunnossapidossa, jotka ovat erikoistuneet mekaanista korjausta vaativiin asioihin pulloitusarjoilla. Tämän työn alkuvaiheessa, kun tehtiin vaihto-aika kartoitusta, laitosmiehet tekivät käytännössä tuotevaihdon alusta loppuun.

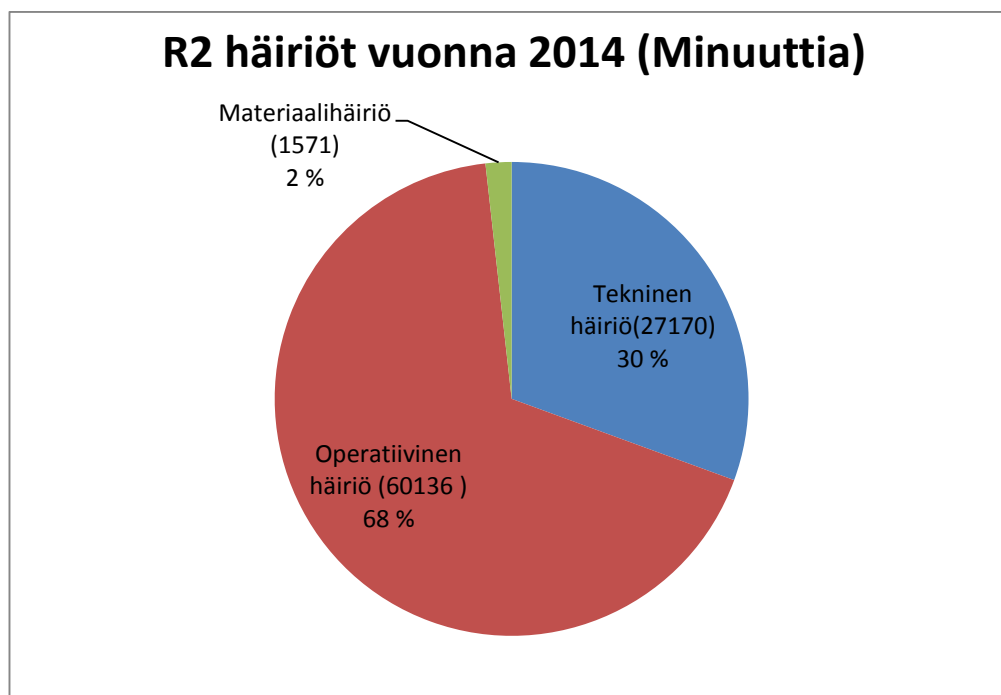
Sarjalla työskennellään keskeytyvässä kolmivuorotyössä ja joka vuorossa on seitsemän operaattoria.

Pulloitusarja koostuu seuraavista koneista:

- Pullojen syöttölavetti, Stork. Liite 3, kuva 18.
- Pullojen huuhtelukone, Sidel. Liite 3, kuva 19.
- Pullojen täyttökone, Sen. Liite 3, kuva 20.
- Pullojen kapselointi, Sen ja Zalkin. Liite 3, kuva 20.
- Pullojen etiketikone, tuotteesta riippuen joko tarraetiketikone tai märkäliimaetiketikone, Kronos. Liite 3, kuva 21.
- Pullojen pakkauskone, tuotteesta riippuen joko koripakkaajakone tai laatikkopakkauskone, KHS tai Ocme. Liite 3, kuva 22.
- Lavaus-robotti, Kawasaki

Pullotussarjan laajasta tuoteskaalasta johtuen tuotevaihtoja tulee keskimäärin enemmän kuin muilla pullotussarjoilla. Esimerkiksi Rajamäen tehtaan R7-pullotussarjalla pullon koko ei muutu minkään tuotteen kohdalla. Tuotevaihdon onnistuminen korostuu eritoten R2:lla suhteellisen tiuhan vaihtovälin takia.

Kuvassa 9 on esitetty vuonna 2014 kirjattujen häiriöaikojen jakauma sarjalla. Materiaalihäiriöihin lukeutuvat esimerkiksi heikkolaatuiset pakkauspahvit ja valuvirheelliset pulloet. Tekniset häiriöt koostuvat laitteiston tuotannonaikaisista rikkoutumisista tai häiriöistä esimerkiksi jonkin linjaston tunnistimen rikkoutumisesta. Ylivoimaisesti suurinta häiriökategoriaa edustaa operatiivinen häiriöaika. Se muodostuu tuotevaihtoista sekä niihin liittyvistä täyttölaitteiston sekä putkiston huuhtelusta. Tuotevaihtoista johtuva häiriöaika on huomattavan suuri, 60 136 minuuttia eli noin 42 vuorokautta.



Kuva 4. Häiriöajat R2:lla vuonna 2014

## 6 SMED-tekniikka R2 sarjalla

Lean ajattelumallia tukevia tuotannon tehostamismalleja on monia, esimerkiksi SMED, 5s ja Poka-Yoke [13]. Tämän työn aloitusvaiheessa ei ollut varmaa, mikä menetelmä tukisi tehtaan toimintaa parhaiten tuotevaihtojen osalta. Tässä työssä tehtiin kartoitus

SMED tekniikan hyödyntämisestä R2-pullotussarjalla. Tutkittiin myös vaihtoajan pienentämisen vaikutusta OEE-prosenttiin.

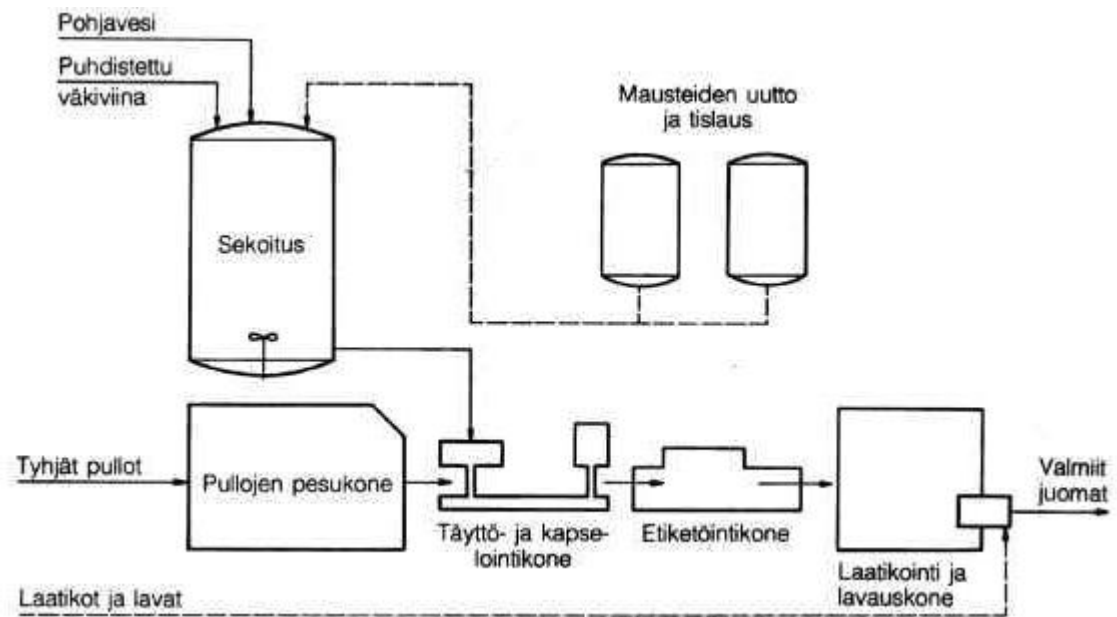
SMED menetelmän soveltuvuuden kartoitus aloitettiin tekemällä parin kuukauden mittainen toiminnantarkkailujakso pullotussarjalla. Tarkkailujakson aikana havainnoitiin, keskusteltiin sekä kirjattiin muistiinpanoja sarjan operaattoreiden kesken tuotevaihtoista sekä koneiden säädöistä vaihdon jälkeen. Yksi tuotevaihtoista kuvattiin myös videokameralla, jotta saatiin objektiivinen näkökulma tuotevaihdosta täyttöblokin osalta. Aikaseurantoja tehtiin useita ja niissä esiintyvä aikavaihtelu oli merkittävää. Tämä osaltaan oli syynä SMED-tekniikan kokeilulle sarjalla.

Toiminnan tarkkailujakson aikana tehtiin myös vaihtoaikamatriisi. Vaihtoaikamatriisi on eräänlainen aikakartta, johon on kirjattu ajat pullotyypin vaihdolta toiselle. Vaihtoaikamatriisin tarkoituksena on antaa sarjalla työskenteleville operaattoreille aikaikkuna, jonka puitteissa tuotevaihto tulisi suorittaa. Tämä matriisi ei ota kantaa kuitenkaan pesujen kestoon, joita joudutaan sarjalla tekemään. Tätä varten on olemassa pesumatriisi erikseen. Vaihtoaikamatriisissa annetun ajan ylityksestä sovittiin, että kirjataan aikaylitys sähköiseen häiriökirjausjärjestelmään teknisenä häiriönä. Näin voidaan tietää johtuiko aikaylitys teknisestä viasta vai esimerkiksi työkalujen hukkumisesta. Näin vaihdon aikaista toimintaa voidaan siten jatkossa kehittää. Vaihtoaikamatriisia ja sen hyödynnystä käsitellään tämän työn toisessa osiossa.

## 6.1 Pullotuksen kulku

Pullot lähtevät kuljetinradalle pullonpurkajalavetilta, johon pullolavat nostetaan trukilla. Pullot ovat pakattu useaan kerrokseen lavalle, josta automaattipurkaja työntää aina yhden kerroksen radalle kerrallaan. Pullot menevät kuljetinta pitkin huuhtelukoneelle, jossa ne huuhdellaan sisäpuolelta 20 %:n etanolin ja veden seoksella kovalla paineella. Täyttökoneella pullot kiertävät satapaikkaista kehää, jonka jokaisessa positiossa on pilli, josta tuote vakuumin avulla johdetaan pulloon. Täyttökoneen kehältä ulos tullessaan pullot kapseloidaan. Erillistä ränniä pitkin tulee korkit ja kapselointikone kiertää ne paikalleen. Kapselointipäitä koneessa on 15. Pullot jatkavat matkaansa täytön tarkastuslaitteen jälkeen etiketöintiin. Etikettikoneita sarjalla on kaksi: tarraetikettikone ja märkäliimaetikettikone. Eri tuotteita etiketöidään eri koneilla, esimerkiksi Jaloviina etiketöidään märkäliimalla ja viinit tarraetiketillä. Etiketin tarkastuslaitteen jälkeen pullot tulevat pakkausvaiheeseen. Vaihtoehtoja pakkauksessa ovat koripakkaus sekä pahvipakkaus. Kuljetinrata

on vaihdettavissa siten, että pullovirta voidaan ohjata halutulle koneelle. Lopuksi robotti lavaa pakkaukset lavalle ja lähettää valmiit lavat varastoon.



Kuva 5. Pullotuksen kaaviokuva

## 6.2 Vaihto-osat

Pullotussarjan koneet on suunniteltu siten, että niitä voidaan käyttää usean eri pullotyypin pullotuksessa. Tämän mahdollistavat koneisiin vaihdettavat muoto-osat sekä kapselikoneen päiden vaihtomahdollisuus, kun käytetään erilaisia korkkeja pulloissa. Etiketöinnissä käytetään etikettikohtaisia vaihto-osia erikokoisille etiketeille ja pakkauspää on käytettävissä joko pahvilaatikkopakkaamiseen tai koripakkaamiseen.



Kuva 6. Vaihto-osalavoja

### 6.3 Täysvaihdon kulku

Kun pullotettu määrä saavuttaa suunniteltua määrää, täyttökoneen hoitaja soittaa puhelimella valmistukseen ja pyytää sulkemaan pumpun. Tämän jälkeen pullotetaan putkitie tyhjäksi. Putkitien tyhjennyksen jälkeen, riippuen seuraavasta tuotteesta, täyttökone huuhdellaan sisäisesti vedellä. Joidenkin tuotteiden kohdalla kone pestään tuotekohtaisesti määritetyllä pesuohjelmalla, joka saattaa kestää jopa neljä tuntia. Tässä insinööri-työssä pesut on rajattu aihealueen ulkopuolelle.

Kunnossapidossa työskentelee niin sähkömiehiä kuin laitosmiehiäkin tukien tuotannon toimivuutta. Laitosmiesten vastuulla on yleensä ollut mekaaninen osien vaihto tuotevaihdossa. Kun putkitie on tyhjennetty, kutsuu täyttöblokin operaattori laitosmiehet vaihtamaan osat. Vasteaika riippuu kunnossapidon muiden työtehtävien määrästä. Laitosmiehet irrottavat täyttökoneesta osat ja vaihtavat kapseloinnin osat ensiksi. Vaihdettavia osia ovat kapselointipäät 15 kpl, kapseliränni sekä nk. Hopperi (uusi ja vanha), joka syöttää kapsелеita ränniin oikein päin. Tällä välin täyttökoneen operaattori on vaihtanut huuhtelukonetta. Tuotevaihdon toteutus tekee nykyisellään ennakkoinnin aika mahdottomaksi, kun sarjan ulkopuoliset toimijat tulevat vaihtamaan osat kutsusta. Etiketin operaattorit vaihtavat etiketin sekä pakkauspään operaattorit pakkauskoneen. Kun osat ovat paikallaan, täytön operaattori säätää täytön tilavuuden ja kapselikoneen korkeuden. Täytön tilavuuden säätöön käytetään paineilmoitusta mutteriväännintä. Täyttökoneen pillit 100 kappaletta, on jaettu neljään 25 pillin klusteriin. Jokaisen klusterin korkeudensäätöön on oma mutterinsa koneen kyljessä. Konetta pyöritetään käsiohjauksella kunnes mutteri on operaattorin kohdalla. Täytön tilavuus on ilmoitettu työn helpottamiseksi pillin näkyvässä olevan osan korkeutena millimetreinä. Korkeus tarkastetaan lopuksi käsin työntömitalla jokaisen klusterin osalta. Lopuksi otetaan ns. tippapullot eli täytetään 100 pulloa vajaaksi ja ajetaan ne hylkyradalle. Tällä menettelyllä varmistutaan mahdollisten vesijäämien poistumisesta täyttökoneen pilleistä. Pullotus voidaan aloittaa.

Täysvaihdon tehtiin aikaseuranta ennen SMED-tekniikoiden soveltamista. Täysvaihtoon meni aikaa 110 minuuttia ilman SMED-tekniikkaa. Vaihto oli Lord Calvert -viskiltä Jaloviinalle, pullotyypikoodina vaihto oli W70->A50.

#### 6.4 SMED toteutus sarjalla

Edellisissä osioissa käsiteltiin Shingon esiintuomia asioita erilaisten vaihdosten tekemisessä kokoonpanolinjoilla. Samantyyppisiä haasteita kohdattiin myös R2-sarjalla, koprässit olivat vain muuttuneet täyttökoneen muoto-osiksi sekä muiksi vaihdettaviksi elementeiksi. SMED-tekniikan hyötyä lähdettiin tavoittelemaan ensisijaisesti ilman uusia investointeja.

Tuotevaihto on monivaiheinen prosessi ja se koostuu monesta muuttujasta. Muuttujia ovat esimerkiksi vuorossa oleva operaattori, vaihdettava tuote ja oikeiden osien löytäminen. Teoriassa vaihto voidaan mieltää suoraviivaiseksi toiminnoksi, joka noudattaa aina samaa proseduuria. Tarkemmin analysoituna toimintatapoja on niin monta kuin on operaattoriakin. Tässä työssä pyrittiin löytämään sellaisia hyväksi ja tehokkaaksi havaittuja menettelytapoja, joiden perustana on SMED-tuotevaihtotekniikasta sovelletut kohdat. Taulukossa 2 on esitetty tuotevaihdon aikajakauma ennen SMED-tekniikkaa. Jakauma on seuraavanlainen:

Taulukko 2. Aikajakauma

| Toiminto                | Käytetyn ajan osuus |
|-------------------------|---------------------|
| Vaihdon valmistelu      | 5 %                 |
| Osien irrotus ja laitto | 40 %                |
| Asetusten teko          | 15 %                |
| Säätö ja koeajo         | 40 %                |

Tarkkailujakson jälkeen pidettiin SMED-tekniikan esittelypalaveri pulloitusarjan operaattoreille. Siinä esiteltiin SMED siten, miten Altia haluaa sitä sovellettavan tuotevaihdossa. Kerrottiin myös tehdyistä havainnoista. Tehtaalla oli jo aiemmin käsitelty yhteisissä kuukausi-info tilaisuuksissa kunnossapidon lanseeraamaa ”OEE-tapa toimia”- työskentelymallia. Malli sisältää työskentelyn avaimia OEE-prosentin nostoon, joka on yksi tehtaan tavoitteista vuonna 2015. Sen pääpaino on toiminnan riipeydessä ja häiriöiden nopeassa poistossa.

Palaverissa keskusteltiin tuotevaihdosta siten, että operaattorit kertoivat itse oman näkemyksensä vaihdosta. Samalla kartoitettiin toteuttamiskelpoisia vaihtoajoja operaattoreiden kokemusten pohjalta. Tällä hetkellä pulloitusohjelmassa käytetään täysvaihdolle oletuksena kahta tuntia. Palaverissa painotettiin viittä asiaa, joiden myötä uskottiin

päästä nopeampiin tuotevaihtoihin samalla parantaen työviihtyvyyttä pullotussarjalla. Pääkohdat olivat seuraavat:

- Tuotevaihdon ennakointi
- Operaattorien roolijako tuotevaihdon aikana, kuka tekee mitäkin
- Päällekkäistoimintojen tärkeys
- Tiimijattelu
- Tavoiteaikojen aktiivinen tavoittelu
- Kommunikointi
- Taukokäytäntö tuotevaihdon aikana.

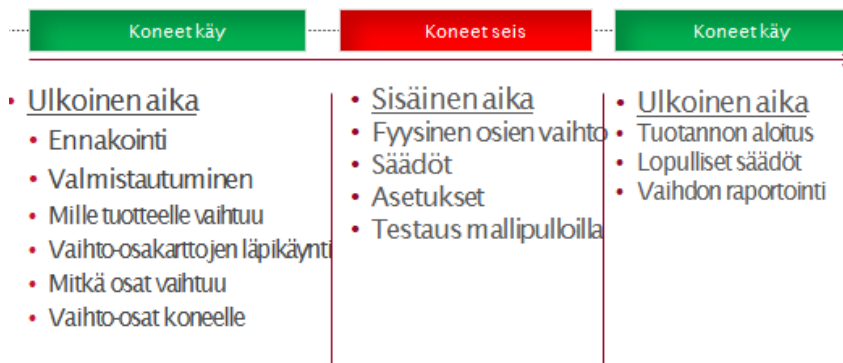
Kokouksen ilmapiiri oli positiivinen ja aktiivinen. Jokainen toi näkemyksiään aktiivisesti esille ja sovittiin roolijako tuotevaihtoihin joita tullaan kokeilemaan heti tilaisuuden tultua. Jokainen operaattori kertoi odotuksiaan työstään, enemmistö kertoi ykköstoiveenaan yhteistyön kehittämisen pullotussarjalla.

Edellä olevan kuvan 7 mukaisesti pääryhmät muodostavat vaihtoprosessin tavoitteelliseksi tapahtumaksi. Kuten mainittiin, tuotevaihdon ennakointi muodostaa suuren osan onnistuneesta vaihdosta. Aiemmissa vaihtoaikaseurannoissa huomattiinkin taulukon 2 mukaisesti ennakkoinnin olleen hyvin vähäistä aiemmin. Se osaltaan hidastaa vaihdon etenemistä huomattavissa määrin, siksi sen toteutus on ensiarvoisen tärkeää. Ennakoinnin voidaankin sanoa muodostavan kolmasosan tuotevaihdon nopeasta suorittamisesta. Kaikki toiminnot ennakoidaan siihen saakka, kunnes vaihto fyysisesti voidaan aloittaa.

Kuvan 7 keskellä oleva sisäisen asetusajan ryhmä tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Tämän ajan ympärille rakennetaan käytännössä kaikki muut tuotevaihdon toiminnot. Sisäinen aika on tuotevaihdon nopeutta rajoittava tekijä.

Viimeisessä klusterissa suoritetaan tuotannon aloitus ja laitteisto säädetään mahdollisuuksien mukaan tuotteen pullotuksen aikana kuitenkin katkoksia välttämällä. Vaihdosta

tehdään raportti sähköiseen järjestelmään. Jäljempänä on tarkempi kuvaus ulkoisen ja sisäisen asetusajan yksittäisistä toiminnoista sarjalla.



Kuva 7. SMED palaverissa esitelty vaihtomalli operaattoreille

Vaihtoaikapalaverissa sovittiin seuraavanlainen roolijako kokeiltavaksi tuotevaihdossa:

- Etiketin tarkastaja vaihtaa huuhtelukoneen vaihto-osat.
- Pullonsyöttäjä ja täyttökoneen operaattori vaihtavat täyttökoneen osat sekä säättävät radan kaiteet.
- Etikettien hoitajat 2 henkilöä vaihtavat etiketin.
- Pakkauspään operaattorit vaihtavat pakkauskoneen.

Kaikki mahdolliset etäisyyksien ja korkeuksien säädot koneilla suoritetaan saatavilla olevilla mallipulloilla siten, että se ei kasvata vaihdon sisäistä asetusajaa. Laitosmiesten osuutta tuotevaihdossa pohdittiin vaihdon nopeuden kannalta. Päätettiin, että he osallistuvat vain kapselipäiden, hopperin sekä kapselirännin vaihtoon. Täytön operaattori ja syötön operaattori purkavat kaikki muoto-osat koneesta pois ennen laitosmiesten tuloa paikalle. Tällä menettelyllä voidaan minimoida haitallinen odotusaika. Edellä esitetty lisätausta pohjautuu SMED-tekniikassa painotettuun päällekkäistoimintojen tärkeyteen.





Kuva 8. Kapselipäitä

Ennen tuotevaihtoa käytiin erillisessä palaverissa vielä läpi sovitut asiat operaattoreiden kesken, jonka jälkeen aloitettiin tuotevaihto. Täysvaihtoon edellä mainittujen työjärjestelyiden myötä kului 70 minuuttia eli 40 minuuttia vähemmän kuin lähtötilanteessa.

Paria päivää myöhemmin tehtiin uusi vaihdon harjoitus, jossa ennakoitiin tulevien osien vaihto. Kun edellisen tuotteen pullotus oli vielä käynnissä, täyttökoneen operaattori haki huuhtelukoneen sekä täyttökoneen vaihto-osalavat koneiden läheisyyteen. Samalla haettiin kapselipäiden laatikot koneelle. Kun vaihto alkoi, laitosmiesten ei tarvinnut kuluttaa enää aikaa vaihto-osakansion tutkimiseen ja kyselemiseen mitä vaihdetaan ja mihin. Operaattorit irrottivat kaikki muoto-osat täyttökoneesta pois ja näin laitosmiehille jäi siis vain kapseloinnin vaihto. Vaihdon aikana oli kuitenkin epäselvää kapseloinnin muoto-osien oikeellisuudesta, sikäli niitä ei oltu merkattu mitenkään. Vaihto kesti 90 minuuttia tällöin, johtuen epäselvyyksistä osien merkkäamisessä.

Aiemmin esitetyn kuvan 2 mukaisesti tuotevaihdon lohkotus tuotti seuraavan taulukoinnin, jota tullaan käyttämään jatkossa vaihdon runkona.

Taulukko 3. SMED työjärjestely

| <i>Alkutilanne</i>                                    | <i>Muunnos S-&gt;U</i> |   |  |  |
|---|------------------------|---|--|--|
| Pullojen laskenta, riittävyys(S)                      |                        | → | Pullojen laskenta, riittävyys(U)               |  |
| Viinan sulku (U)                                      |                        |   | Viinan sulku (U)                               |  |
| Koneen tyhjennys ja vesihuuhtelu(S)                   |                        | → | Koneen tyhjennys ja vesihuuhtelu(U)            |  |
| Kapselihopperin tyhjennys(S)                          |                        | → | Kapselihopperin tyhjennys(U)                   |  |
| Hopperin vaihto(S)                                    |                        |   | Hopperin vaihto(S)                             |  |
| Kapselirännin vaihto(S)                               |                        |   | Kapselirännin vaihto(S)                        |  |
| Vaihto-osien tarkistus(S)                             |                        | → | Vaihto-osien tarkistus(U)                      |  |
| Vaihto-osalavojen tuonti ja vientikoneelle(S)         |                        | → | Vaihto-osalavojen tuonti ja vienti koneelle(U) |  |
| ottaminen lavalta lattialle asennusjärjestykseen(S)   |                        | → | Vaihto-osien ottaminen lavalta pois(U)         |  |
| Huuhdelukoneen muoto-osien irrotus(S)                 |                        |   | Huuhdelukoneen muoto-osien irrotus(S)          |  |
| Tarttujien irrotus(S)                                 |                        |   | Tarttujien irrotus(S)                          |  |
| Tarttujien laitto(S)                                  |                        |   | Tarttujien laitto(S)                           |  |
| Huuhdelukoneen muoto-osien laitto(S)                  |                        |   | Huuhdelukoneen muoto-osien laitto(S)           |  |
| TK muoto-osien poisto(S)                              |                        |   | TK muoto-osien poisto(S)                       |  |
| Uusien kapselipäiden tuonti koneelle(S)               |                        | → | Uusien kapselipäiden tuonti koneelle(U)        |  |
| Vanhojen kapselipäiden poisvienti (S)                 |                        | → | Vanhojen kapselipäiden poisvienti (U)          |  |
| Työkalujen hakeminen koneelle kaapista(S)             |                        | → | Työkalujen hakeminen koneelle kaapista(U)      |  |
| Kapselipäiden vaihto(S)                               |                        |   | Kapselipäiden vaihto(S)                        |  |
| Kapselikoneen korkeus(S)                              |                        |   | Kapselikoneen korkeus(S)                       |  |
| Muoto-osien tarkistus(S)                              |                        | → | Muoto-osien tarkistus(U)                       |  |
| TK Muoto-osien laitto(S)                              |                        |   | TK Muoto-osien laitto(S)                       |  |
| Täytön korkeus(S)                                     |                        |   | Täytön korkeus(S)                              |  |
| Radan kaiteiden säätö(U)                              |                        |   | Radan kaiteiden säätö(U)                       |  |
| Rataohjelmien vaihto(U)                               |                        |   | Rataohjelmien vaihto(U)                        |  |
| Tippapullot(S)  |                        |   | Tippapullot(S)                                 |  |
|   |                        |   |  |  |
|   |                        |   |  |  |
|   |                        |   |  |  |
| <i>Uusi suoritusjärjestys ml.päällekkäistoiminnot</i> |                        |   |  |  |
| <b>Vaihto-osalavojen tuonti koneelle(U)</b>           |                        |   |  |  |
| <b>Vaihto-osien tarkistus(U)</b>                      |                        |   |  |  |
| <b>Muoto-osien tarkistus(U)</b>                       |                        |   |  |  |
| <b>Uusien kapselipäiden tuonti koneelle(U)</b>        |                        |   |  |  |
| <b>Työkalujen hakeminen koneelle kaapista(U)</b>      |                        |   |  |  |
| <b>Vaihto-osien ottaminen lavalta pois(U)</b>         |                        |   |  |  |
| <b>Pullojen laskenta, riittävyys(U)</b>               |                        |   |  |  |
| Viinan sulku (U)                                      |                        |   |  |  |
| Koneen tyhjennys ja vesihuuhtelu(U)                   |                        |   |  |  |
| Kapselihopperin tyhjennys(U)                          |                        |   |  |  |
| Hopperin vaihto(S)                                    |                        |   | Kapselirännin vaihto(S)                        |  |
| Kapselipäiden vaihto(S)                               |                        |   | Huuhdelukoneen muoto-osien irrotus(S)          |  |
| TK Muoto-osien laitto(S)                              |                        |   | TK muoto-osien poisto(S)                       |  |
| Kapselikoneen korkeus(S)                              |                        |   | Huuhdelukoneen muoto-osien laitto(S)           |  |
| Radan kaiteiden säätö(U)                              |                        |   | Tarttujien vaihto(S)                           |  |
| Täytön korkeus(S)                                     |                        |   |  |  |
| Tippapullot(S)  |                        |   |  |  |
| Vanhojen kapselipäiden poisvienti (U)                 |                        |   | Vaihto-osalavojen poisvienti koneelta(U)       |  |

Edellä oleva taulukko kuvaa uuden toimintajärjestyksen luontia tuotevaihdossa. Ensimmäisessä klusterissa on kuvattu alkutilanne, toinen klusteri esittää tilanteen kun sisäisen asetusajan toimintoja on muutettu ulkoisiksi ja alin klusteri esittää pystyvirillä toimintojen järjestyksen. Vaakariveillä ovat vaihdon onnistumisen kannalta tärkeät päällekkäistoiminnot. Lihavoidut rivit ovat tuotevaihdon onnistumisessa annetussa aikaikkunassa hyvin tärkeässä roolissa. Taulukossa 2 kuvattiin aikajakaumaa prosentuaalisesti ennen

SMED-tekniikkaa ja huomattiin ennakoivien toimenpiteiden osuuden olleen hyvin pieni, vain 5 %. Tuotevaihdon riipeyden kannalta huomattiin kuitenkin ennakkoinnin olevan hyvin tärkeässä asemassa. Kun muistetaan, että edellä oleva esitys ottaa kantaa ainoastaan työn sisäiseen uudelleenjärjestelyyn, on siitä saatu hyöty investointeihin nähden huomattava.

Työn yhtenä painoalueena oli SMED-tuotevaihdon pohjalta vaihtoaikamatriisin luonti sarjan kaikille pullotyypeille. Matriisi esittää aikaikkunan jokaiselle pullotyypivaihdolle. Matriisin pohjana käytettiin parhaita todennettua vaihtoaikaa aikaseurannoissa, 70 minuuttia täysvaihdon osalta nykyisen 120 minuutin sijaan. Matriisin teon apuna käytössä oli eräänlainen vaihto-osahakemisto, mikä käytiin systemaattisesti läpi jokaisen pullotyypin osalta. Jos täysvaihdon sijaan vaihtui esimerkiksi kaikki muut paitsi täyttökorkeus, voitiin täydestä ajasta vähentää 10 minuuttia mikä kuluisi täyttökoneen klusterien korkeudensäätöön. Matriisin tarkoitus on antaa sarjan operaattorille aikamääre, jossa kyseinen pullotyypin vaihto tulee suorittaa tehokkaan tuotevaihdon näkökulmasta. Vaihtoaikamatriisissa oleviin aikoihin on mahdollista päästä noudattamalla edellä esitettyä työjärjestystä.

SMED toteutusta tullaan jatkamaan sarjalla kevään 2015 aikana. Vaihto-osien kiinnitysten toteutustapoja tullaan uudistamaan siten, että työkalujen käyttö olisi mahdollisimman vähäistä. Tähän mennessä tarraetikettikoneen etiketin painajien etäisyydensäädöt korvattiin kuusiokoloruuvikiinnityksestä käsin käännettävään Kipp -malliin. Työkalukartat tarvittavista työkaluista vaihdon aikana toteutetaan huhtikuussa 2015 ja työkalut tullaan sijoittamaan koneeseen joko niiden sisälle tai välittömään läheisyyteen. Vaihdon aikaseurantojen tekoa jatketaan sekä yhteistoiminnan ja tavoitteiden saavuttamisen tärkeyttä painotetaan.

Vaihtoaikamatriisissa olevia aikoja täsmennetään sitä mukaa kun ne tarkentuvat. Vaihtoaikamatriisi on työn liitteenä.

## 6.5 Teknisiä kehitysehdotuksia

Pullotussarjalla uusitaan pakkauspäänkone kuluvana vuonna 2015 uudempaan malliin, joten tässä työssä ei otettu juurikaan kantaa pakkauspään kehitysehdotelmiin. Juomakoreihin pakkaaminen loppuu myös tänä vuonna. Pakkauspään työskentely virtaviivaistuu näinollen huomattavasti.

Aikaa vievin sisäisen asetusajantoiminto on tällä hetkellä kapselointipäiden vaihto. Nykyisissä systeemissä kaikki 15 päätä kierretään avaimella auki ja kiinni. Kapselointipäiden vaihto kestää 30 minuuttia, jona aikana ei voida tehdä täyttökoneelle juurikaan mitään koska kapselointikone sekä täyttökone ovat kytketty samaan käsiohjaimeen. Kapselikonetta pyöritettäessä käsiajolla vaihdon aikana, pyörii myös täyttökone. Molemmilla koneilla on kuitenkin omat moottorinsa, joten käsiajokytkeä erilleen voisi ainakin periaatteessa olla mahdollista.

Kapselikonevalmistaja Zalkin valmistaa ns. Retro-Fit osia kapselipäihin [14]. Ne ovat eräänlaisia adaptoreita, joiden avulla voitaisiin päästä työkalulla työskentelystä eroon. Kiinnitys tapahtuu vain nostamalla ja kiertämällä. Tämänkaltaista vaihtoehtoa tulisi miettiä tulevaisuuden investoinneissa 2-sarjalle. Tuotevaihtoajan kannalta tämä voisi tarkoittaa jopa 20 minuutin aikasäästöä täysvaihdossa.



Kuva 9. Kapselipään pikakiinnitys

Tuotevaihdon tehokkuuden kannalta olennaista on ennakointikyky ja kyky toimia paineenkin alla ripeästi. Ennakoinnin tärkeyttä tullaan jatkossa painottamaan, vain siten voidaan päästä vaihtoaikamatriisin aikaikkunaan käsiksi. Mielikuvaharjoitukset ovat myös tehokas keino selventää itselleen tehtävien kulku.

Vaihto-osien varastoinnin logiikkaa sekä selkeyttä tullaan jatkossa kehittämään. Kun osat ovat merkattu selvästi ja tietyt säätöherkät osat ovat varastoituna asianmukaisesti, helpottuu niiden asennus sekä voidaan päästä eroon turhasta etsimisestä. Kuvassa 11 on esitetty tarraetiketin painajien uusi varastointitapa.



Kuva 10. Vaihto-osat ennen



Kuva 11. Vaihto-osien nykyinen varastointitapa

## 6.6 SMED-tekniikan vaikutus OEE-prosenttiin

Täyteen tuotevaihtoon on varattu pullotusohjelman mukaan 120 minuuttia. Seuraavassa tarkastellaan vielä vaikutuksia OEE-prosenttiin kun vaihtoaika on 120 minuuttia, 70 mi-

nuuttia ja 50 minuuttia. 50 minuuttiin voisi olla mahdollista päästä pikalukollisten kapse-  
lipäiden myötä. Realistisen kuvan saamme, kun sovellamme aiemmin sivulla 8 lasket-  
tuun OEE-malliin uudet käytettävyyden luvut:

Käytettävyys, 120 min:  $(360 \text{ min} / 480 \text{ min}) * 100 \% = 75 \%$

**Kokonais-OEE %:  $(0,75*0,47*0,99)* 100 \% = 35 \%$**

Käytettävyys, 70 min:  $(410 \text{ min} / 480 \text{ min}) * 100 \% = 85 \%$

**Kokonais-OEE %:  $(0,85*0,47*0,99) * 100 \% = 40 \%$**

Käytettävyys, 50 min:  $(430 \text{ min} / 480 \text{ min}) * 100 \% = 90 \%$

**Kokonais-OEE %:  $(0,90*0,47*0,99) * 100 \% = 42 \%$**

OEE-prosentin parannus olisi näin ollen 7 prosenttiyksikköä.

## 7 Johtopäätökset

OEE-prosentin nostaminen ei ole yksiselitteinen tapahtuma. Kun tiedossa on sen alhai-  
suus, on tärkeää löytää mataluuden juurisyyt. Laskentamalli paljasti tässä työssä tuote-  
vaihtojen keston madaltavan prosenttia eniten. Se oli tosin tiedossa jo aiemmin ja toimi-  
kin koko insinööriyön lähtökohtana. Pullotuksen laatu oli hyvää ja nopeus tyydyttävää  
tarkkailujakson aikana. Joidenkin tuotteiden pullotuksen kohdalla oli tosin haasteita pul-  
lotusnopeuden toteutumisessa. Syyksi arveltiin nesteen alaslaskuun käytetyn letkun  
vaihtoa isommasta pienempään, jolloin ilmeni rajua kuplimista alaslaskuputken näköla-  
sissa täyttökoneella. SMED-tuotevaihto, jossa operaattorit ovat päätoimijoina vapauttaa  
kunnossapidon resursseja jatkossa ennaltaehkäisevään kunnossapitoon. Tällöin laittei-  
den ja koneiden toimintavarmuus parantuisi entisestään ja mahdolliset osien rikkoontu-  
miset korjattaisiin tuotevaihdon ulkopuolisena aikana.

Vaihtoaikamallia työstettiin parin kuukauden ajan ja sen toteuttaminen jatkuu pullotus-  
sarjalla. Tuotevaihtoaikojen lyhentäminen vaatii lukuisia suorituskerroja mutta huomatta-  
vaa oli että suuri aikasäästö saatiin tässä nollan euron investoinneilla. Operaattorien

sekä tuotevaihtoon osallistuvien henkilöiden työnohjauksella voidaan saavuttaa hyviä tuloksia muillakin pullotussarjoilla.

Toimintatapana SMED on varsin soveltuva pullottamossa tapahtuvaan tuotevaihtoon. Tuotevaihdon prosessista voidaan selvästi erottaa ulkoisen ja sisäisen asetusajan tekijät toisistaan. Vielä tärkeämpää kuin vain niiden erottaminen toisistaan, on niiden soveltamisen käytäntöön. Nopealla tuotevaihdolla vaikutetaan linjaston joustavuuteen ja kykyyn mukailla asiakkaiden vaatimuksia. Täysin oikeaa vastausta SMED tuskin kuitenkaan heti antaa, joten tuotevaihtoa joudutaan iteroimaan mahdollisesti useitakin kertoja. Tässä työssä saavutettiin hyvä lähtökohta, mistä on helppo jatkaa tuotevaihtoajan optimointia sarjalla. Pienillä muutoksilla voidaan saada tehokkaita tuloksia aikaan, ei saa vain hämäntyä muutokseen koosta etukäteen.

Aktiivinen tavoitteisiin pyrkiminen on tärkeää. Tämän työn myötä asetettuihin aikamääreisiin yltäminen on yksi tärkeistä askeleista Altian Rajamäen tehtaan matkalla kohti tehokkuudeltaan kilpailukykyistä tuotantolaitosta.

## 8 Lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen vaihtoaikamatriisista

Työn ensimmäisessä osiossa käsiteltiin vaihtoaikamatriisin tekoa. Kuten mainittiin, vaihtoaikamatriisin ensisijainen merkitys on antaa sarjan operaattoreille järkevä aikaikkuna, jonka puitteessa tuotevaihto suoritetaan. Vaihtoaikamatriisia voidaan myös soveltaa tuotannonsuunnittelussa. Tuotannonsuunnittelun yksi suurimmista haasteista on löytää so-piva pullotusjärjestys tietylle aikavälille. Ei ole samantekevää missä järjestyksessä tuotteet pullotetaan, sillä tuotteiden väliset vaihtoajat eivät ole samoja. Hajonnan aiheuttaa vaihdettavien osien lukumäärä sekä laitteiston pesu. Eri tuotteiden jälkeen käytetään myös eripituisia pesuohjelmia.

Laajasta tuoteskaalasta johtuen, optimi pullotusjärjestyksen etsiminen käsin vaihtoaikamatriisin pohjalta olisi hyvin työlästä eikä se välttämättä antaisi minkäänlaista käyttökelpoista ehdotelmaakaan. Suuresta kombinaatioiden määrästä johtuen on mielekkäämpää käyttää tietokonelaskentaa hyväksi tässä tapauksessa. Matriisin ollessa mallia  $29 \times 29$ , kombinaatioiden lukumääräksi tulisi tällöin  $29! = 8.841762 \times 10^{30}$  kappaletta. Kyseessä oli siis kombinatorinen optimointi ongelma, joka perustuu verkkoteoriassa esitettyyn malliin. Ongelma oli epäsymmetrisen kauppamatkustajan ongelman (ATSP) yksi erikoistapaus, lyhimmän Hamiltonin polun löytäminen. Polun etsintään käytettiin R-Studio tietokoneohjelman laskentaa. Laskennan vaatavuusteorian mukaan kyseessä oli NP-täydellinen ongelma.

Erityiskiitos Metropolian yliopettaja Veli-Matti Taavitsaiselle uuden ohjelmointikielen esittelystä.

## 9 Kombinatorinen optimointi

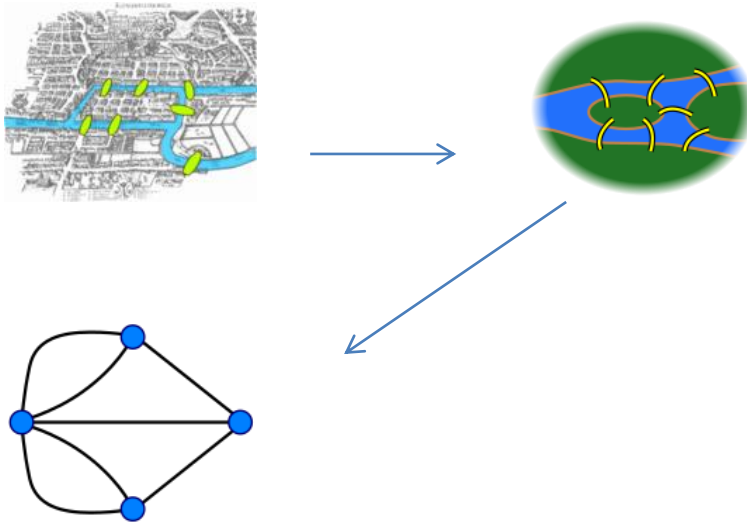
Sovelletussa matematiikassa sekä tietojenkäsittelytieteessä kombinatorisella optimoinnilla tarkoitetaan riittävän tyydyttävän polun löytämistä rajallisesta kohteiden määrästä [16], tässä tapauksessa vaihtoaikamatriisista. Tulos ei välttämättä ole paras, mutta ainakin yksi kohtuullisista. Tämän mielessä pitäminen on tärkeää, kun tehdään tämän kaltaisia optimointeja.

Kombinatoristen ongelmien todennäköisten ratkaisujen pohjalla on vaatavuusteorian lauseke  $P=NP$ . Lauseke sisältyy kompleksisuusteoriaan ja kombinatoriikka on eräs keskeinen osa verkkoteoriaa [17].



## 9.1 Verkkoteoriaa

Verkkoteorian kehityksen alku voidaan katsoa alkaneeksi Leonhardt Eulerin yrittäessään ratkaista ns. Königsbergin siltaongelmaa 1700-luvulla. Königsbergin kaupungin (nykyisen Kaliningradin) läpi virtasi Pregolja- joki. Se jakoi kaupungin kahdeksi erilliseksi saareksi. Saaret oli yhdistetty toisiinsa ja mantereeseen seitsemän sillan avulla. Probleema johon haettiin ratkaisua, oli löytää sellainen reitti jota pitkin kulkemalla jokainen silta yllettiin tasan kerran ja päädytään lopulta aina lähtöpisteeseen. Euler todisti, ettei sellaista reittiä ole olemassakaan. Ratkaisuun hän päätyi poistamalla kartasta kaiken ylimääräisen, jättäen vain maa-alueet, joen sekä sillat jäljelle. Maamassat hän korvasi seuraavaksi pisteillä ja sillat viivoilla. Pisteet ovat solmuja ja viivoista käytetään nimitystä kaari. Solmun asteluku on siihen ulottuvien kaarien määrä [18]. Kuvassa 12. on havainnollistettu kehitystä.



Kuva 12. Verkkoteorian kehitys

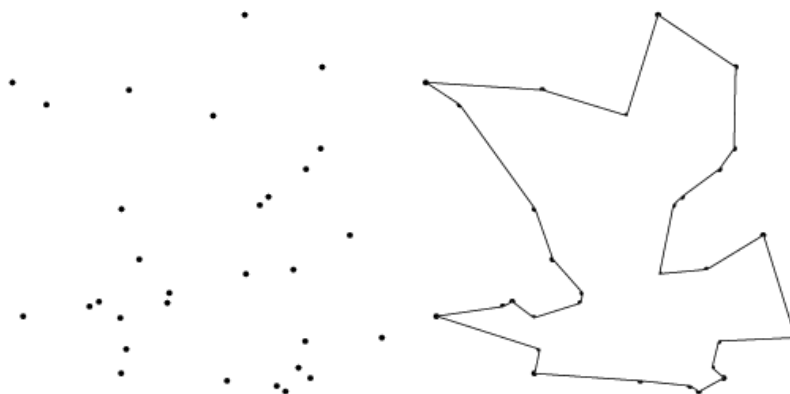
Eulerin todistuksen mukaan graafiin on mahdollista piirtää polku, joka kulkisi jokaisen kaaren kautta vain kerran palaten alkusolmuun vain jos graafissa ei ole yhtään asteluvultaan paritonta solmua. Graafin kaikkien solmujen asteluvut ovat kuitenkin parittomia, joten polun piirtäminen on näin ollen mahdotonta. Polku tunnetaan nimellä Eulerin kehä [18].

Jos etsittäisiin polkua, jonka alku- ja loppupisteet eivät ole samat, ylittäen yksi silta aina kuitenkin kerran, olisi kyseessä Eulerin polku. Polku on olemassa vain, jos graafissa on

täsmälleen kaksi tai nolla solmua, joiden asteluku on pariton. Näiden kahden solmun pitäisi olla alku- ja loppusolmut. Siltaongelmassa tämäkään ehto ei toteudu [18].

Eulerin ratkaisumallia probleemalle voidaan pitää matemaattisen verkkoteorian alan syntynä. Kombinatoriikka kuuluu vahvasti osana verkkoteoriaan.

## 9.2 Kauppatkustajan ongelma, TSP



Kuva 13. TSP-ongelma piirroksena

Travelling Salesman Problema (TSP) eli kauppatkustajan ongelmaa ratkaistaessa pyritään vastaamaan kysymykseen: Mikä on lyhin mahdollinen reitti, jossa käydään tasan kerran kaikissa kaupungeissa ja palataan takaisin aloituskaupunkiin, kun tiedetään kaupunkien väliset etäisyydet toisistaan? Probleeman ratkaisumallia esitettiin ensi kertaa Karl Mengerin toimesta vuonna 1930, jolloin kiertävä kaupustelutyö oli enemmän harjoitettu kuin nykyään ja siten tämänkaltaisen kysymyksen asettaminen oli varsin aiheellista. Tänä päivänä voitaisiin ajatella problemaa seuraavanlaisesti: Mikä on edullisin mahdollinen reitti kaupunkien väleillä kun etäisyyden tilalla muuttujana on lentolipun hinta?

Ongelma on käsittelytavaltaan asymmetrinen (ATSP), sillä kaupunkien tai yleisesti solmukohtien väliset etäisyydet eivät ole keskenään identtisiä.

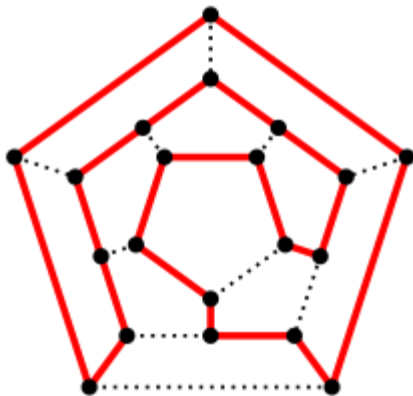
Matemaattisesti tarkasteltuna ongelman tavoitteena on löytää algoritmi seuraavan laskennallisen probleeman ratkaisemiseen: syötteen eli matriisimuodossa annetun  $n \times n$  taulukon  $D \in \mathbb{N}^{n \times n}$  pohjalta on määritettävä sellainen indeksien  $1-n$  permutaatio  $\pi(1), \dots, \pi(n)$ , joka minimoi permutaatioiden kokonaispituutta TSP:ssä kuvaavan summan [17]

$$\sum_{i=1}^{n-1} D[\pi(i), \pi(i+1)] + D[\pi(n), \pi(1)]$$

TSP-ongelman ratkaisumallia voidaan käyttää monissa eri ongelmissa, joissa kyse on jonkin kombinatorisen probleeman ratkaisusta. Ongelmia voivat olla esimerkiksi jakeluauton reitin suunnittelu, annettujen tehtävien suoritusjärjestys tai optimi pullotusjärjestyksen löytäminen [17].

### 9.3 Hamiltonin polku

Hamiltonin polku on verkkoteoriassa selitetty polku, joka käy graafiesityksessä piirrettyjen solmukohtien kautta vain kerran. Polulla on olemassa alku- ja loppupiste. Ongelma oli tiedossa jo 1800-luvulla. Matemaattisen mallin ongelmalle loi irlantilainen matemaatikko W.R. Hamilton, joka kehitti polkuteorian. Ongelma nimettiin lyhimmän Hamiltonin polun löytämiseksi. Polun löytäminen on eräs TSP-ongelman erikoistapaus [19]. Hamiltonin polku graafissa on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Hamiltonin polku dodekaedrissa

Määritelmä:

Hamiltonin polku, tai jäljitettävä polku on yksinkertainen polku  $P$ , joka sisältää suuntaamattoman graafin  $G = (V, E)$  jokaisen solmun  $V$  täsmälleen kerran [20].

Vuonna 1972 todettiin epäsymmetrisen kauppamatkustajan ongelman ja myös sitämyötä Hamiltonin polun kuuluvaan matemaattisen ratkaisun osalta NP-COMPLETE vaativuusluokkaan, sisältäen myös NP-HARD vaikeustason ratkaisumallissa [20].

## 10 Ongelmien vaativuusluokat vaativuusteorian mukaan

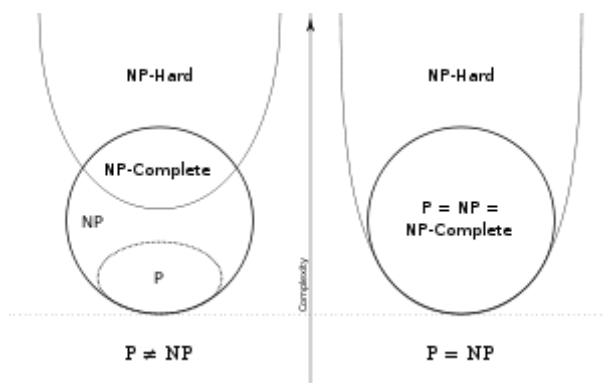
$P=NP$  on vaativuusteorian kenties kuuluisin ratkaisematon ongelma. Ongelma esittää  $P$  ja  $NP$  vaativuusluokkien välistä suhdetta. Eräs määritelmä ongelmalle on: ”Jos jonkin ongelman ratkaisu voidaan tarkastaa tehokkaasti, niin voidaanko ongelma myös ratkaista tehokkaasti?” [21].

Polynomiseen luokkaan  $P$  kuuluvat kaikki ongelmat jotka voidaan mieltää tehokkaasti ratkaistaviksi oleviksi, eli polynomisessa ajassa ratkeaviksi.

$NP$ -luokkaan (non-deterministic polynomial) kuuluvat kaikki ongelmat, joiden ratkaisun oikeellisuus voitaisiin tarkastaa tehokkaasti eli polynomisessa ajassa. Tällöin on voimassa  $P \neq NP$  ja edellä esitetty ehto on epätosi.

$NP$ -täydellisen luokkaan kuuluville ongelmille on yhteistä se, että sikäli ratkaisu löytyisi polynomisessa ajassa jollekin ko. luokan ongelmalle, löytyisi myös kaikille muille  $NP$ -täydellisille ongelmille polynomisessa ajassa löytyvä ratkaisu.  $NP$ -täydellisyys luokan ongelmalle on tunnusomaista ratkaisuajan kasvu eksponentiaalisesti muuttujien lisäyksen mukaan. Tällöin ratkaisun löytyminen polynomisessa ajassa ei ole millään muotoa mahdollista ja  $P \neq NP$  on voimassa.

Edellä esitettyjen ongelmien ratkaisun haasteellisuutta kuvaa hyvin se, että Yhdysvaltalainen matematiikan tutkimukseen keskittynyt Clay-instituutti on luvannut miljoona dollaria sille joka pystyy todistamaan lausekkeen  $P=NP$  todeksi. Kaikki tunnetut  $NP$ -täydellisyys luokan ongelmat ovat yli-polynomisia keväällä 2015 [21]. Kuvassa 15 on esitetty keskinäiset suhteet tosi ja epätosi tapauksissa.



Kuva 15. Vaativuusluokkien keskinäiset suhteet

Polynomisen ajan algoritmit mielletään yleensä nopeiksi ratkaistaviksi. Yleisimmät matemaattiset operaatiot kuten yhteen-, vähennys-, kerto- ja jakolaskut ovat ratkaistavissa polynomisessa ajassa. Myös Neperin luvun sekä piin desimaalien laskenta on polynomisessa ajassa ratkeava operaatio [22].

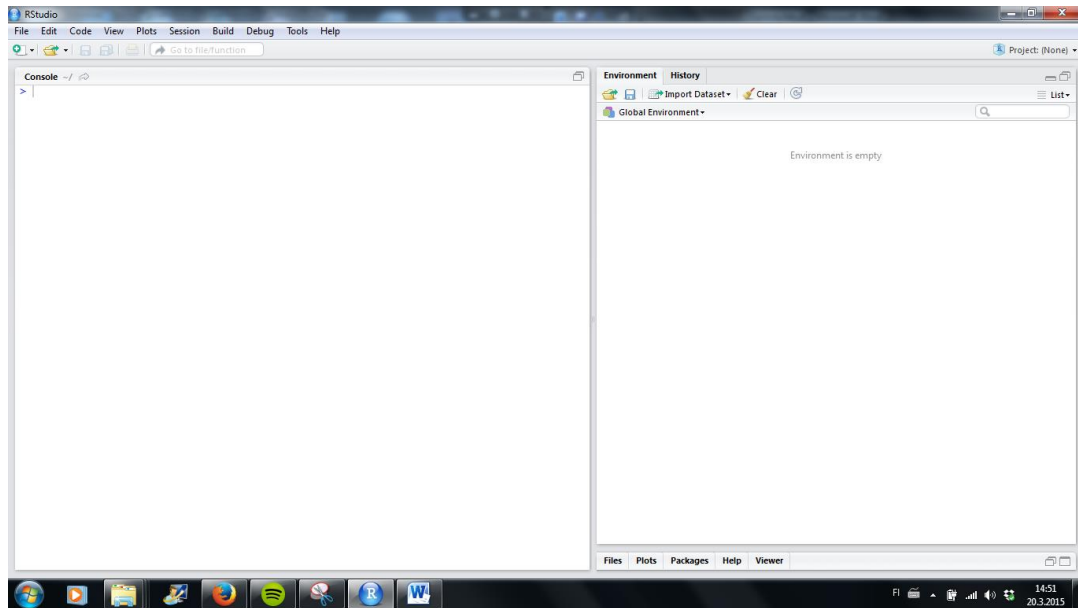
## 11 Ongelman ratkaisu Altialla

Vuonna 2015 Rajamäen tehtaalla on tavoite nostaa koko tehtaan OEE-prosenttia 45:een nykyisestä 42:sta. Tätä silmälläpitäen työstettiin vaihtoaikamatriisi ensisijaisesti pullotusarja R2:n operaattorien käyttöön. Samalla kuitenkin tuotannosuunnittelu voisi hyödyntää sitä toimissaan tuotevaihtojen minimoinnin näkökulmasta. Seuraavassa esiteltävä ratkaisumallia kokonaisvaihtoajan minimoimiseksi voitaisiin hyödyntää käytännössä pienin vaivoin Altialla.

Vaihtoaikamatriisi, kuten alussa mainittiin, on eräänlainen sovellus ATSP-ongelmasta, johon pätee samat käsittelyn muodot kuin muillekin matriisityyppisille ongelmille. Kun alkuperäisessä ongelmassa matriisin muuttujina olivat kaupunkien väliset etäisyydet, Altialla käytettiin muuttujina vaihtoaikaa pullotyyppiltä toiseen. Käsien laskentaa voitaisiin toki harjoittaa, mutta se vie isolla tarkastelujoukolla kohtuuttoman paljon aikaa, kun kaikkien mahdollisten kombinaatioiden väliset aikasuhteet pitäisi laskea. Vaihtoaikamatriisista etsittiin R-tietokoneohjelmalla lyhin Hamiltonin polku, joka edustaa tässä tapauksessa optimi pullotusjärjestystä.

### 11.1 R-Studio

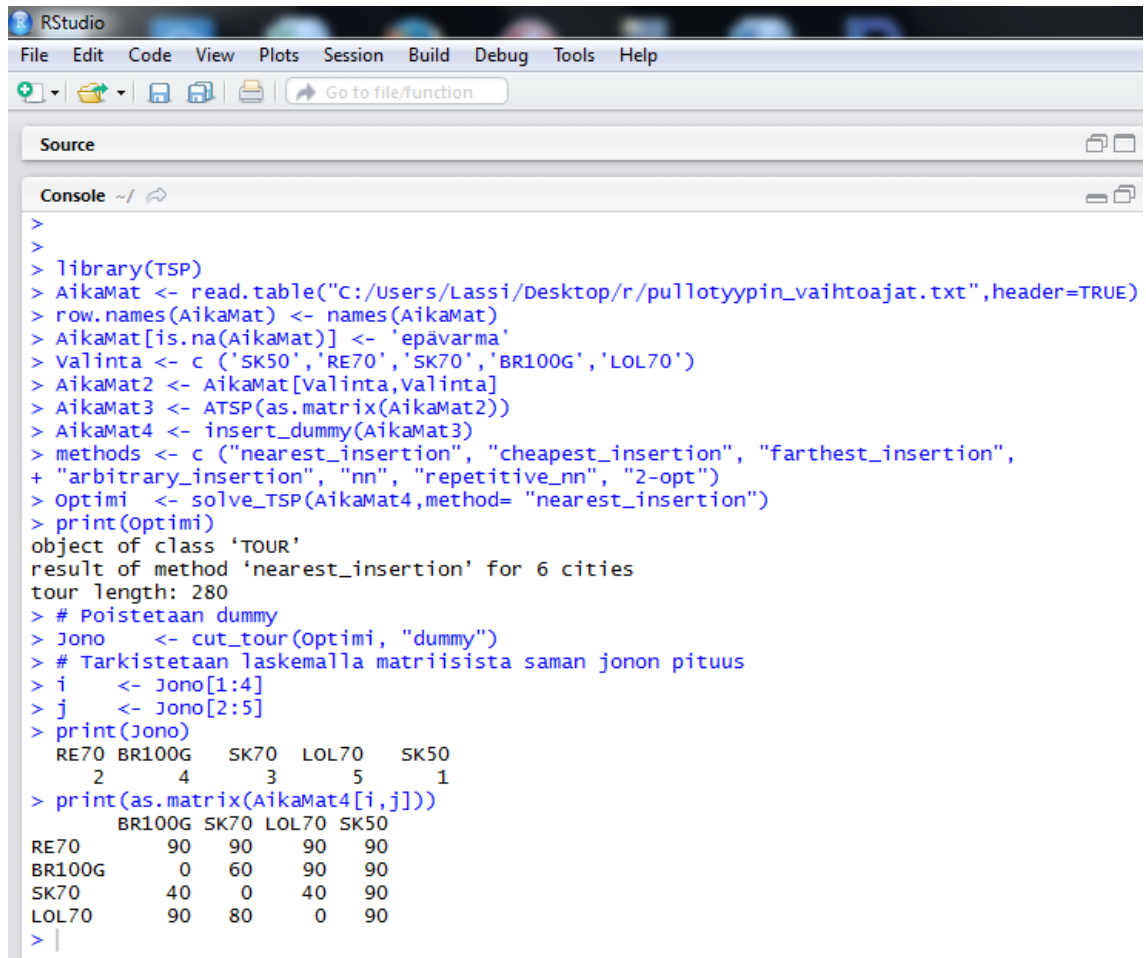
R-Studio on visuaalisempi käyttöliittymä alkuperäisestä R-ohjelmasta. Se on vapaasti internetistä ladattava tilastollisen laskennan ja grafiikan tuottamiseen tehty komentopohjainen ohjelma. Ohjelman monipuolisuus perustuu sen vapaasti ladattavissa oleviin laajennuspaketteihin, jotka on spesifioitu erilaisille matemaattisille ja tilastollisille ongelmille. Tässä ongelmassa käytettiin ohjelman TSP-Solver pakettia.



Kuva 16. R-Studion perusnäky

## 11.2 Lyhin Hamiltonin polku vaihtoaikamatriisissa

Vaihtoaikamatriisista tehtiin tekstitiedosto, joka ladattiin R-Studion taustalle eräänlaiseksi lähdetiedostoksi. Sen pohjalta voidaan valita mikä tahansa pullosekvenssi sarjan pullotyypeistä ja ohjelma laskee halutulla metodilla ratkaisuehdotuksen.



```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Tools Help
Go to file/function

Source
Console ~/
>
>
> library(TSP)
> AikaMat <- read.table("C:/Users/Lassi/Desktop/r/pullotyypin_vaihtoajat.txt",header=TRUE)
> row.names(AikaMat) <- names(AikaMat)
> AikaMat[is.na(AikaMat)] <- 'epavarma'
> Valinta <- c('SK50','RE70','SK70','BR100G','LOL70')
> AikaMat2 <- AikaMat[Valinta,Valinta]
> AikaMat3 <- ATSP(as.matrix(AikaMat2))
> AikaMat4 <- insert_dummy(AikaMat3)
> methods <- c("nearest_insertion", "cheapest_insertion", "farthest_insertion",
+ "arbitrary_insertion", "nn", "repetitive_nn", "2-opt")
> Optimi <- solve_TSP(AikaMat4,method= "nearest_insertion")
> print(Optimi)
object of class 'TOUR'
result of method 'nearest_insertion' for 6 cities
tour length: 280
> # Poistetaan dummy
> Jono <- cut_tour(Optimi, "dummy")
> # Tarkistetaan laskemalla matriisista saman jonon pituus
> i <- Jono[1:4]
> j <- Jono[2:5]
> print(Jono)
  RE70 BR100G  SK70  LOL70  SK50
    2     4     3     5     1
> print(as.matrix(AikaMat4[i,j]))
      BR100G SK70 LOL70 SK50
RE70     90   90   90   90
BR100G    0   60   90   90
SK70     40   0   40   90
LOL70     90   80   0   90
>

```

Kuva 17. Komentonäkymä valituille pullotyypeille

Aluksi tehtiin komento käytetystä ongelmanratkaisumallista. TSP ratkaisin- paketti asennettiin ohjelmistoon ja se otettiin käyttöön ”library” -komennolla. Data, eli tässä tapauksessa vaihtoaikamatriisi, jonka pohjalta lasketaan lyhin Hamiltonin polku, otettiin käyttöön ”read.table”-komennolla. ”Valinta” -rivillä valittiin halutut pullotyypit, joiden välistä kokonaisvaihtoaikaa ja optimijärjestystä halutaan tarkastella. Ei ole merkitystä missä järjestyksessä ne tähän syöttää ja niitä voi olla enemmänkin kuin tässä esimerkissä. Ainoa ehto on, että ne kirjoitetaan riville juuri siten niin kuin ne ovat nimetty matriisissa. Alkuperäisessä lyhimmän Hamiltonin polun etsimisessä palataan aina lähtöpisteeseen. Tässä etenemä halutaan kuitenkin progressiiviseksi, kuten se olisi oikeassakin tuotannon suunnittelu tilanteessa. Kun on pullotettu polussa oleva viimeinen pullotyyppi, niin tuskin palattaisiin takaisin pullottamaan ensimmäistä pullotettua pullotyyppiä. Tämän vuoksi lisättiin komentoriviin ”dummy” -objekti loppupisteeseen. Sen ”etäisyys” eli tässä sovelluksessa siirtymäaika on nolla kaikkiin muihin valinnassa oleviin pullotyyppihin.

Tämän jälkeen valitaan käytettävissä olevista ratkaisumetodeista tyydyttävin, esimerkiksiämme valittiin "nearest\_insertion", joka edustaa lyhintä polkua ts. lyhintä kokonaisvaihtoaikaa valituilla pullotyypeillä. Muitakin vaihtoehtoja voidaan käyttää mutta tässä yhteydessä tämä oli lähinnä mahdollista totuutta. Ratkaisulogiikka valitaan siis tilanteen vaativan tavan mukaisesti. Aiemmin syötetty "dummy" -objekti pitää poistaa vielä, jotta ohjelma ymmärtää polun loppuvan siihen. Tällöin saadaan etenevä tuloste mahdollisesta optimista ilman, että palataan takaisin aloituspisteeseen, muutoin olisi kyseessä Hamiltonin kehä. Esimerkissä valituille pullotyypeille kokonaisvaihtoaika valitulla laskentaperiaatteella olisi 280 minuuttia ja optimi järjestys pullotyypeille olisi RE70, BR100G, SK70, LOL70 ja SK50.

## 12 Johtopäätökset

Edellä esitettyä ongelmanratkaisua lähdettiin ratkaisemaan täysin kokeellisesti. Huomattiin kuitenkin sen tarjoavan ratkaisumallin olevan ainakin hyödyllinen apuväline tuotannosuunnitteluun. Tämän tyyppisen ongelmanratkaisun luotettavuuden määrää käytettävän taustadatan, tässä tapauksessa vaihtoaikamatriisin, tietojen paikkansapitävyys. Jos haluttaisiin ulkoistaa tuotannosuunnittelu tietokoneelle kokonaan, pitäisi pullotyyppimatriisi laajentaa vielä tuotekohtaiseen vaihtoaikamatriisiin. Tällä hetkellä tuotekohtainen pesumatriisi on jo olemassa, joten pienellä vaivalla matriisit voitaisiin yhdistää. Pitää kuitenkin ottaa huomioon, että optimi tulosta tuskin saadaan yhdellä laskenta kerralla. Koetta tulee toistaa riittävästi, jotta voidaan pitää ohjelman laskemaa tulosta luotettavana.

Pienellä valitulla joukolla ohjelman laskentateho on varsin hyvä, huolimatta ongelman NP-täydellisestä luonteesta. Isollakin optimointijoukolla ohjelman antama ratkaisuehdotelma on joka tapauksessa parempi kuin täysin satunnainen järjestys.

R ja R-Studio ohjelmien viralliset viittaukset ovat lähdeluettelon lopussa.



## Lähteet

[1] Rajamäen tehtaas. Verkkodokumentti.

<[http://fi.wikipedia.org/wiki/Rajam%C3%A4en\\_tehtaas](http://fi.wikipedia.org/wiki/Rajam%C3%A4en_tehtaas)>. Luettu 30.1.2015

[2] Altian yritysesittely. Verkkodokumentti.

<<http://www.altiacorporation.com/fi/yritys/>>. Luettu 30.1.2015

[3]Pulkkinen, Jonna 2014. Kossu , koskenkorvan ja suomalaisen vodkan historia. Minerva kustannus.

[4] Kielto laki Suomessa. Verkkodokumentti.

<[http://fi.wikipedia.org/wiki/Kielto\\_laki](http://fi.wikipedia.org/wiki/Kielto_laki)>. Luettu 2.2.2015

[5] Altia rajamäen yritysesittelytaulu tehtaalla

[6] Altia Oyj historia. Verkkodokumentti. <<http://www.altiacorporation.com/fi/yritys/historia/>>. Luettu 5.2.2015

[7] Altia Oyj historia. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Altia>>. Luettu 5.2.2015

[8] OEE-laskenta. Verkkodokumentti.< <http://www.oeo.com/calculating-oeo.html>>. Luettu 5.2.2015

[9] OEE-laskenta. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Overall\\_equipment\\_effectiveness](http://en.wikipedia.org/wiki/Overall_equipment_effectiveness)>. Luettu 7.2.2015

[10] KNL- määritelmä. PSK- Standardi 7501. Luettu 23.3.2015

[11] SMED esittely. Verkkodokumentti. < [http://en.wikipedia.org/wiki/Single-Minute\\_Exchange\\_of\\_Die](http://en.wikipedia.org/wiki/Single-Minute_Exchange_of_Die)>. Luettu 6.2.2015

[12] Shingo, Shigeo 1983. A Revolution in Manufacturing: The SMED System. Japan Management association.

[13] Lean-sanastoa. Verkkodokumentti. <<http://leaniksi.fi/lean-sanasto/>>. Luettu 6.2.2015

[14] Pikalukitukselliset kapselipäät. Verkkodokumentti. <<http://www.fowlerproducts.com/news/new-fowler-quick-release-capping-head-ensures-faster-and-easier-changeovers/>>. Luettu 14.3.2015

[15] Kiertävän kauppamatkustajan ongelma. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling\\_salesman\\_problem](http://en.wikipedia.org/wiki/Travelling_salesman_problem)>. Luettu 18.3.2015

[16] Kombinatorinen optimointi. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial\\_optimization](http://en.wikipedia.org/wiki/Combinatorial_optimization)>. Luettu 18.3.2015

[17] P = NP-ongelma ja laskennan vaativuusteoria. Verkkodokumentti. <<http://www.cse.tkk.fi/fi/tkt-lehti/a26/orponen.pdf>>. Luettu 19.3.2015

[18] Königsbergin siltaongelma. Verkkodokumentti. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6nigsbergin\\_siltaongelma](http://fi.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6nigsbergin_siltaongelma)>. Luettu 18.3.2015

[19] Hamiltonin polku. Verkkodokumentti. <[http://fi.wikipedia.org/wiki/Hamiltonin\\_polku](http://fi.wikipedia.org/wiki/Hamiltonin_polku)>. Luettu 18.3.2015

[21] P=NP. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/P%3DNP>>. Luettu 20.3.2015

[22] Polynomisen ajan määrittely. Verkkodokumentti. <<http://mathworld.wolfram.com/PolynomialTime.html>>. Luettu 20.3.2015

[23] Total productive maintenance. Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Total\\_productive\\_maintenance](http://en.wikipedia.org/wiki/Total_productive_maintenance)>. Luettu 2.4.2015

R-ohjelman viittaus: R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

R-Studio viittaus: RStudio (2014). RStudio: Integrated development environment for R (Version 3.1.2) [Computer software]. Boston, MA. Retrieved March 6, 2015.  
Available from <http://www.rstudio.org/>

Kuva- ja grafiikkalähteet:

Kuva 1. Altian kuvapankki

Kuva 2. [http://en.wikipedia.org/wiki/Single-Minute\\_Exchange\\_of\\_Die](http://en.wikipedia.org/wiki/Single-Minute_Exchange_of_Die)

Kuva 3. Altian kuvapankki, Lauri Liehu

Kuva 9. <http://www.fowlerproducts.com/news/new-fowler-quick-release-capping-head-ensures-faster-and-easier-changeovers/>

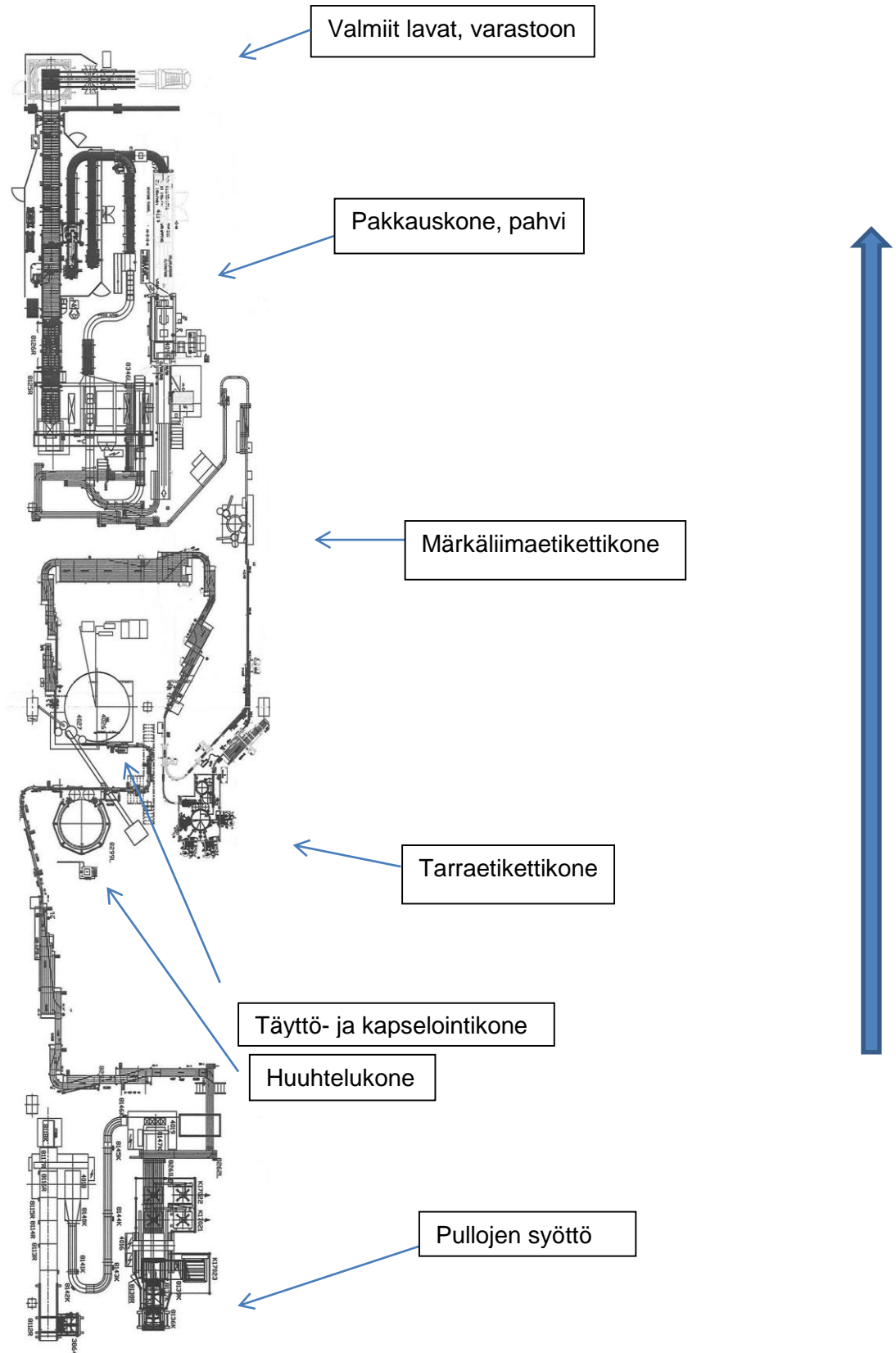
Kuva 12. [http://fi.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6nigsbergin\\_siltaongelma](http://fi.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6nigsbergin_siltaongelma)

Kuva 14. [http://fi.wikipedia.org/wiki/Hamiltonin\\_polku](http://fi.wikipedia.org/wiki/Hamiltonin_polku)

Kuva 15. <http://en.wikipedia.org/wiki/NP-complete>



### CAD- piirros pullotussarjasta



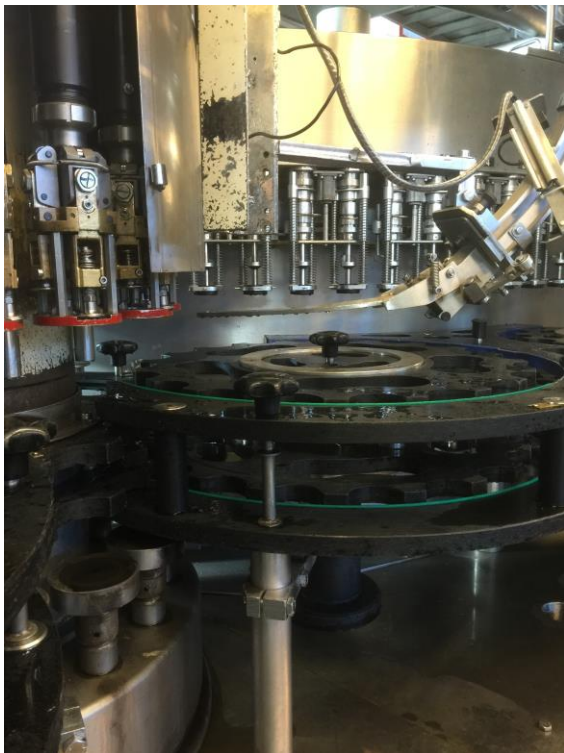
## R2-sarjan laitteet



Kuva 18. Pullonpurkaja, Stork



Kuva 19. Huuhtelukone, Sidel



Kuva 20. Täyttökone, kapseliränni sekä kapselointi, Sen



Kuva 21. Tarraetikettikone, Krones



Kuva 22. Pahvipakkaus kone, Ocme