

Tiedon seurattavuus kokoonpanomallissa

Sakari Taskinen

Tampereen yliopisto
Luonnontieteiden tiedekunta
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma
Pro gradu -tutkielma
Ohjaaja: Marko Junkkari

Tampereen yliopisto
Luonnontieteiden tiedekunta
Tietojenkäsittelytieteiden tutkinto-ohjelma
Sakari Taskinen: Tiedon seurattavuus kokoonpanomallissa
Pro gradu -tutkielma, 62 sivua, 34 liitesivua
Marraskuu 2018

Tiedon seurattavuus on kasvava tutkimusala, ja seurattavuuden soveltaminen on yleistynyt huomattavasti eri tuotannonaloilla viimeisen vuosikymmenen aikana. Teollistuotannossa tiedon seurattavuutta on sovellettu esimerkiksi metsäteollisuuden tuotantoketjun elinkaaren ympäristövaikutusten määrittämisessä, elintarviketeollisuudessa raaka-aineiden laaduntarkkailussa ja ohjelmistotuotannossa vaatimusten jäljittämisessä ohjelmiston spesifikaatioihin. Yritysten toimitusketjuissa seurattavuusjärjestelmä toimii osana laadunvarmistus- ja logistiikkajärjestelmää, jolloin toimitusketjuun liittyviä tietoja voidaan tarkastella ja seurata riittävän yksityiskohtaisella tasolla.

Tässä tutkimuksessa sovelletaan tiedon seurattavuuden tutkimusta varten kehitettyä seurattavuusgraafia kokoonpanomalliin. Kokoonpanon seurattavuuden kautta saavutettuja hyötyjä ovat esimerkiksi käytettyjen materiaalien seuranta tuotantoketjun eri vaiheissa materiaalien kierrätettävyyden kannalta tai toistensa kanssa reagoivien materiaalien tunnistaminen tuotantovaiheessa. Lisäksi kokoonpanon yksittäisille osille määritettyjen kokoonpanoaikojen kumuloituessa, voidaan seurattavuusgraafin avulla selvittää kokoonpanon prosesseihin kuluva aika, ja prosessien kokoonpanoajat yhteen laskemalla saada selville valmiin kokoonpanon kokoamiseen kuluva aika.

Kokoonpanon mallintamisessa tiedon seurattavuuteen liittyvä erityispiirre on, että kokoonpanon osia kuvaavat oliot muodostavat uuden kokoonpanoa kuvaavan olion. Kokoonpanomallissa osat siirtyvät prosessista toiseen pääsääntöisesti kokonaisina, jolloin kokoonpanon osiin ja niitä kuvaaviin olioihin ei kohdistu muutoksia.

Avainsanat ja -sanonnat: tiedon seurattavuus, tiedon jäljitettävyyys, tiedon alkuperä, tietokeskeinen tietovuuo.

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
2. Tiedon seurattavuus	4
2.1. Tiedon seurattavuuden määritelmät ja standardointi	4
2.2. Tiedon alkuperän käsite	6
2.3. Tiedon mallinnus prosessien kuvaamisessa	7
2.4. Tietovuomallin rakenteet ja komponentit	8
2.5. Petri-verkko -tietovuomalli	10
2.6. Seurattavuusgraafi	12
3. Tiedon seurattavuuden soveltaminen eri tuotannonaloilla.....	14
3.1. Identifiointi ja merkintä	14
3.2. Seurattavuuden soveltamisen erot Euroopan ja Yhdysvaltojen välillä.....	16
3.3. Tiedon seurattavuus elintarviketeollisuudessa.....	18
3.4. Tiedon seurattavuus tekstiiliteollisuudessa.....	20
3.5. Tiedon seurattavuus ohjelmistotuotannossa.....	22
4. Seurattavuusgraafi.....	24
4.1. Tutkimuksessa mallinnettu tuotantoketju	25
4.2. Seurattavuusgraafin rakenne	26
5. Seurattavuusgraafin soveltaminen kokoonpanomalliin	30
5.1. Seurattavuusgraafin informaali esitys	30
5.1.1. Seurattavuusgraafin primitiivit	32
5.1.2. Seurattavuusgraafin notaatio	34
5.1.3. Tarkasteltava kokoonpano	34
5.2. Seurattavuusgraafin formaali esitys	37
5.3. Seurattavuusgraafin analysointi	52
6. Yhteenveto	56
Viiteluettelo	59
Liite 1: Lappset ”Clover Tower” –seurattavuusgraafi	
Liite 2: Lappset ”Clover Tower” –kokoonpano-ohje	

1. Johdanto

Teollisuusyritysten toimitusketjujen hajautuessa maantieteellisesti eri tuotantopaikoille tiedon seurattavuuden merkitys ja tutkimus on kasvanut merkittävästi viimeisen vuosikymmenen aikana. Kuluttajien ostopäätöksissä on alkanut korostua esimerkiksi valmistusmenetelmien eettisyys tuotantoprosessien aikana, sekä raaka-aineiden laatu ja raaka-aineiden aitous. Kuluttajat asettavat ostamilleen tuotteille yhä enemmän vaatimuksia esimerkiksi näiden luonnonmukaisuuden tai tuotantoyritysten työolojen ja tuotannon aiheuttamien ympäristövaikutusten suhteen. Lisäksi yritysten organisaatorakenne on nykyisin varsin laajalle hajautunut ja niiden toimitusketjut saattavat sisältää useita alihankkijaorganisaatioita.

Termille *toimitusketju* (supply chain) löytyy useita eri määritelmiä alan kirjallisuudesta. Suomalainen logistiikka-alan verkkosivusto ”Logistiikan Maailma” [2018] määrittää toimitusketjun verkostoksi ”jossa eri organisaatiot yhteistyössä ohjaavat ja kehittävät materiaali- ja palveluvirtoja sekä niihin liittyviä raha- ja tietovirtoja.”. Myös Christopherin [2011] määritelmässä toimitusketju nähdään ketjun sijaan verkostona, joka laajenee ketjun ylävirrassa (upstream) jakeluyritysten kautta lopputuotteiden toimittamiseen kuluttajille, ja ketjun alavirrassa (downstream) valmistusmateriaalin jalostuksesta raaka-aineiden toimittajiin. Toimitusketju määrittää kaikki ne toimijat, jotka ovat mukana tuotteen eri prosesseissa raaka-aineiden toimituksesta tuotteen jalostukseen tuotantoyrityksille, tuotantoyritysten toimittamisesta valmiin tuotteen tukkuliikkeiden varastoihin ja tukkuliikkeiden tuotteen toimittamisesta vähittäismyyntiliikkeisiin. Laajalle hajautetut toimitusketjut aiheuttavat haasteita tiedon seurattavuudelle toimitusketjuun liittyvän tiedon sirpaloituessa ja hajautuessa. Toimitusketjut ovat luonteeltaan dynaamisia, mikä tarkoittaa samanlaisten tuotteiden päätymistä kuluttajien saataville hyvin erilaisten ja eri pituisten prosessien kautta. Tietyn toimitusketjut sijoittuvat vain yhteen maahan ja toiset toimitusketjut taas levittyvät useisiin eri maihin. Toimitusketjujen dynaamisuus lisää tiedon seurattavuuden merkitystä tuotteen elinkaareen liittyen. [Sirkka 2012]

Tuotteen valmistus (manufacturing) on määritelty National Research Council:in artikkelissa [2000] toiminnaksi, joka erilaisia menetelmiä hyödyntämällä lisää arvoa raakamateriaaliin, antaen tälle jalostetulle materiaalille erilaisia käyttötapoja. Jokainen vaihe tuotantoprosessissa lisää siten arvoa valmistettavalle tuotteelle. *Tuotantoketju* (production chain, supply chain) määritellään Strategy Train – verkkosivuston [2018] sanastossa seuraavasti: ”Toistuva joukko liiketoimintojen ja niihin liittyvän tietojenkäsittelyn toimintoja, jotka koskevat tuotteen valmistusta.” Tuotantoketju voidaan määritellä osaksi toimitusketjua, jossa suoritettavat toimenpiteet

liittyvät suoraan tuotteen valmistukseen. Tuotantoketjuun ei siis lasketa kuuluvaksi esimerkiksi valmiin tuotteen toimittamista tukkuliikkeen varaston kautta jälleenmyyntiin toimitusketjun ylävirrassa, eikä raaka-aineen toimittamista tuotantolaitokseen toimitusketjun alavirrassa [Logistiikan Maailma 2018]. Tuotantoketju saa alkunsa prosessista, jossa raaka-aineen jalostuksen kautta seuraavaan prosessiin edetessä jatkojalostettu tuotteen osa toimii syötteenä ja raaka-aineena seuraavalle prosessille, ja näistä prosessista toiseen siirtyvistä syötteistä syntyy lopulta valmis lopputuote tuotantoketjun viimeisessä prosessissa [Sirkka 2012]. Koska englanninkielisessä kirjallisuudessa sekä toimitus- että tuotantoketjuun viitataan yleisesti termillä ”supply chain”, käytetään tässä tutkimuksessa termiä tuotantoketju teollisen tuotteen valmistusketjusta, ja termiä toimitusketju kuluttajalle toimitetun tuotteen prosessit sisältävästä ketjusta.

Eri tuotannonalojen tuotantoketjut eroavat toisistaan. Elintarviketuotannossa, esimerkiksi maitotuotteiden jalostuksessa, tuotantoketju etenee meijerin toimittaman maidon jalostuksesta tuotteeseen liittyvien tuotantoprosessien jälkeen valmiin tuotteen pakkausprosessiin. Metsäteollisuuden tuotantoketjussa taas alkuprosessissa kaadetut puut sahataan tukeiksi, jota seuraa erilaisia muotoilu- ja liitosprosesseja. Kokoonpanon kohdalla tuotantoketju koostuu peräkkäisistä prosesseista, joissa edeltävän prosessin osakokoonpano toimii tätä seuraavan prosessin alustana, johon lisätään komponentteja, ja näin edeten kokoonpanon prosesseista koostuu lopulta valmis tuote.

Kokoonpano on määrämittaisista osista koostuva koottava tuote, jonka osia ei pääsääntöisesti ole tarvetta muokata, eli ne liitetään kokoonpanoon sellaisinaan. Kokoonpanon prosesseihin liittyy toistuvuus, eli keskenään identtisiä osia liitetään toisiin osiin identtisillä menetelmillä. Kokoonpano jakautuu erillisiin prosesseihin, joissa kootaan lopullisen kokoonpanon osakokoonpanoja, ja kussakin prosessissa syntyvään osakokoonpanoon liitetään seuraavassa prosessissa uudet osat, kunnes kokoonpanosta syntyy valmiiksi koottu tuote kokoonpanon viimeisessä prosessissa. Prosessien tulosdata toimii siis syötedatana seuraavalle prosessille, joten kokoonpanoon liittyvät tiedot kumuloituvat kokoonpanon kasvaessa kohti lopullista muotoaan. Kokoonpanomallissa seurattavia tietoja ovat esimerkiksi kokoonpanossa käytetyt materiaalit ja niiden massojen ja mittojen kumuloituminen, kokoonpanon osien liittämiseen kuluva aika ja kokoonpanoon liittyvän ohjeistuksen tiedot.

Tiedon seurattavuuden tutkimus on kohdistunut moniin eri tuotannonaloihin ja teollisuustuotteisiin. Seurattavuutta on sovellettu muun muassa italialaisen salamimakkaran valmistusprosessissa [Dupuy *et al.* 2004], tekstiiliteollisuuden toimitusketjussa [Kumar *et al.* 2017] ja ohjelmistotuotannossa vaatimusten jäljittämisessä sovelluksen käyttöliittymä- ja testispesifikaatioihin [Gotel and

Finkelstein 1994]. Tutkimuksessani sovellan Junkkarin ja Sirkan [2011] metsäteollisuuden tarpeisiin ja erityisesti puunjalostusteollisuuden ympäristövaikutusten määrittämistä varten kehittämää tietovuomallia, seurattavuusgraafia, Lappset ”Clover Tower” -kiipeilytelineen [Lappset Oy 2013] kokoonpanomallissa.

Tutkimuskysymyksenä tutkimuksessani on, miten seurattavuusgraafi soveltuu kokoonpanoprosessin mallintamiseen, ja onko seurattavuusgraafista apua kokoonpanojen ja kokoonpanoprosessin analysoimisessa. Tutkielmani alussa esittelen tiedon seurattavuuteen liittyvät käsitteet ja esittelen yleisellä tasolla tietovuomallinnuksen tiedonhallinnan ja seurattavuuden työkaluna sekä tietovuon mallinnuksessa yleisesti käytetyn Petri-verkko -mallin [van der Aalst 1998]. Luvussa 3 esittelen tiedon seurattavuuteen liittyviä tutkimuksia eri tuotanto- ja sovellusaloilla. Luvussa 4 esittelen Junkkarin ja Sirkan [2011] kehittämän seurattavuusgraafimallin, ja sovellan seurattavuusgraafia kokoonpanomalliin, joka esitellään luvussa 5. Luvussa 6 esittelen tutkimuksen tulokset ja johtopäätökset seurattavuusgraafin soveltuvuudesta kokoonpanomalliin.

2. Tiedon seurattavuus

2.1. Tiedon seurattavuuden määritelmät ja standardointi

Tiedon seurattavuutta sovellettiin teollisuudessa ensimmäisen kerran 1930-luvulla, kun ranskalaisen kuohuviinin valmistusmenetelmä haluttiin todentaa sertifiointia varten [Setboonsargn *et al.* 2009]. Tällä tavoin samppanjan laatukriteerit saatiin määriteltyä koskemaan vain tiettyä valmistustapaa noudattavaa ja tietyllä alueella valmistettua kuohuviiniä. Tiedon seurattavuuden tutkimus alkoi kuitenkin yleistyä vasta 1990-luvulla. Tiedon seurattavuuden käyttö on muodostunut kahden viimeisen vuosikymmenen aikana yleiseksi käytännöksi yritysten toimitusketjuissa. Euroopassa vaatimus tiedon seurattavuudesta elintarviketeollisuudessa on kirjattu lakimuotoon EU:ssa sovellettavaan yleiseen elintarvikeasetukseen 178/2002, kun taas Yhdysvalloissa ja Japanissa elintarviketeollisuuden piirissä seurattavuuden käyttöönotto perustuu vapaaehtoisuuteen [Golan *et al.* 2004, Setboonsargn *et al.* 2009].

Tiedon seurattavuutta on vaikea määritellä yksiselitteisesti, sillä sen soveltaminen vaihtelee teollisuusalaista ja sovelluskohteesta riippuen. Seurattavuuden käsitteen määrittäminen suomeksi on lisäksi ongelmallista, sillä seurattavuustutkimuksissa toisinaan eritellään englanninkieliset termit *tracing* ja *tracking*, joille on vaikea löytää yksiselitteisiä suomenkielisiä vastineita. Pääsääntöisesti *tracing*-termillä viitataan toimitusketjussa taaksepäin suuntautuneeseen seurattavuuteen ja *tracking*-termillä taas eteenpäin suuntautuneeseen seurattavuuteen [Bechini *et al.* 2007].

Suomessa termi *jäljitettävyys* on yleisesti käytössä etenkin elintarvikealalla. Esimerkiksi Evira käyttää termiä jäljitettävyys johdonmukaisesti verkkosivuillaan, joista löytää myös tietoa yritysten *poisvedettävistä tuotteista* (recalled products). [Evira 2018] Elintarviketeollisuuden tutkimukseen liittyvissä tieteellisissä artikkeleissa termi jäljitettävyys on yleisesti käytössä ja seurattavuus-termiä taas käytetään tyypillisesti toiminnanohjaus- ja logistiikkajärjestelmien tutkimusta käsittelevissä artikkeleissa. Termien käytöstä ei voida tehdä johtopäätöstä olettaen, että seurattavuus vastaisi johdonmukaisesti termiä ”trackability” ja jäljitettävyys taas termiä ”traceability”.

Toisinaan eteen- ja taaksepäin suuntautuneeseen seurattavuuteen viitataan myös muodossa *downstream/upstream traceability*, jossa vastavirtaisella seurattavuudella viitataan taaksepäin suuntautuneeseen seurattavuuteen ja myötävirtaisella eteenpäin suuntautuneeseen seurattavuuteen [Dupuy *et al.* 2004]. Selvytyksen vuoksi tässä tutkimuksessa käytetään termejä eteen- ja taaksepäin suuntautuneesta seurattavuudesta.

Tiedon seurattavuuden määritelmä muotoiltiin ensimmäistä ISO-standardia 8402 (1994) varten seuraavasti: ”The ability to trace history, application or location of an entity by recorded identifications” eli vapaasti käännettynä *menetelmä, jonka avulla voidaan jäljittää entiteetin historia, sovellustapa tai sijainti talletettujen tunnusten perusteella* [Olsen and Borit 2013]. Kyseinen ISO-standardi syrjäytettiin sittemmin laadunvarmistusstandardilla ISO 1900 (2000), jossa seurattavuus määriteltiin ominaisuudeksi jäljittää tarkasteltavan kohteen historiaa, sovellusta tai sijaintia, alkuperäisessä muodossaan, ”The ability to trace the history, application or location of that which is under consideration” eli *menetelmä, jonka avulla voidaan jäljittää tarkastellun kohteen historia, käytötapa tai sijainti*. Golan *et al.* [2004] mainitsevat tutkimuksessaan tämän määritelmän puutteeksi, että siinä ei määritellä tarkasteltavan kohteen kokoa tai mittayksikköä (engl. granularity), eli määritelmässä ei tarkemmin eritellä kohdistuuko seurattavuus viljasiiloon vai viljasäkkiin. Golan *et al.* [2004] lisäävät kuitenkin, että seurattavuuden määritelmän on oltava riittävän väljä, koska seurattavuudella on hyvin erilaisia tutkimuskohteita, eikä mikään tarkka määritelmä ole kattava jokaista eri kohdetta varten.

Kutakuinkin vastaavasti on myös määritelty elintarviketeollisuuden standardi ISO 22005 (2005), johon on lisätty edellisen määritelmän lisäksi maininta materiaalien ja osien alkuperästä, sekä käsittelyn historiasta ja tuotteen jakelusta ja sijainnista: ”The origin of materials and parts, the processing history and the distribution and the location of the product after delivery.” [Olsen and Borit 2013]

ISO-standardien lisäksi seurattavuus on määritelty FAO/WHO-organisaation Codex Alimentarius -manuaalissa *menetelmäksi, jonka avulla voidaan seurata raaka-aineen liikettä määriteltyjen tuotanto-, käsittely ja jakeluvaiheiden kautta* ”the ability to follow the movement of food through specified stage(s) of production, processing, and distribution”. Olsen ja Borit [2013] huomioivat tämän määrittelyn puutteeksi seurattavuuden vertautuvan pelkästään tuotannon osan liikkeeksi toimitusketjussa, sillä seurattavuus, kuten muut määritelmät osoittavat, on käsitteenä paljon tätä määritelmää laaja-alaisempi.

Aiemmin mainitussa EY-elintarvikeasetuksessa 178/2002, seurattavuus määritellään seuraavasti: ”The ability to trace and follow a food, feed, food product, animal or substance intended to be, or expected to be incorporated into a food or feed, through all stages of production, processing and distribution.” [Olsen and Borit 2013] Ruoantuotantoa koskeva yleinen elintarvikeasetus esitellään sen jäljitettävyyteen liittyvien vaatimusten osalta tarkemmin luvussa 3.

Tieteellisen tutkimuksen kontekstissa Moe [1998] määritteli tiedon seurattavuuden *menetelmäksi seurata tuote-erää ja sen historiaa läpi koko toimitusketjun*,

sadonkorjuun ja kuljetuksen kautta varastointiin, prosessointiin, jakeluun ja myyntiin: ”Traceability is the ability to track a product batch and its history through the whole or part of a production chain from harvest through transport, storage, processing, distribution and sales (hereafter called chain traceability) or internally in one of the steps in the chain for example the production step (hereafter called internal traceability)”. Dupuy *et al.* [2004] näkevät tämän seurattavuuden määritelmän merkittävänä, sillä määritelmän perusteella voidaan selvittää toimitusketjun aikana mahdollisesti aiheutuneet lopputuotteiden laatuvirheet taaksepäin suuntautuvan seurattavuuden kautta, ja vastaavasti eteenpäin suuntautuvan seurattavuuden kautta voidaan löytää markkinoilta poisvedettävät tuotteet lopputuotteiden joukosta.

Stranieri *et al.* [2017] ovat päättelleet seurattavuudelle kaksi pääominaisuutta edellä mainittujen, toimialasta riippuvien määrittelyjen pohjalta siten, että ensinnäkin seurattavuuden tavoitteena on tallettaa toimitusketjujen informaatiovirtoja ja toiseksi seurattavuudella viitataan järjestelmiin, joiden avulla yritysten on mahdollista tallettaa tietoa rekonstruoidakseen tuotteidensa historia, mihin viitataan usein termillä tiedon alkuperä.

2.2. Tiedon alkuperän käsite

Tiedon seurattavuuteen liittyy myös käsite *tiedon alkuperä* (provenance). Alkuperäkäsite on yleisesti käytössä taidehistorian tutkimuksessa, jossa sillä viitataan taide-esineen dokumentoituun historiaan. Esineen historiallinen merkitys saadaan todistetuksi siihen liittyvällä todistusaineistolla, jonka perusteella asiantuntijat voivat ymmärtää ja arvioida taide-esineen merkittävyyttä ja arvoa sen viitekehyksessä suhteessa muihin vastaaviin esineisiin ja teoksiin, esimerkiksi sen aikaisempien omistajien perusteella. Vastaavasti alkuperän puuttuessa tai ollessa puutteellinen asiantuntijoiden on suhtauduttava skeptisesti taide-esineen historialliseen merkitykseen ja arvoon. Tiedon alkuperän selvittämistä voidaan soveltaa myös tietojärjestelmiin, jolloin tulosdatan alkuperän määrittämisen kautta järjestelmän käyttäjät voivat selvittää ja ymmärtää mitkä vaiheet johtivat tutkittavan tulosdatan, kuten esimerkiksi asiakirjojen tai analyysitulosten muodostumiseen. [Moreau and Foster 2006]

Tiedon seurattavuuden ja tiedonhallinnan viitekehyksessä tiedon alkuperällä tarkoitetaan ”tietoyksikön syntymiseen johtanutta prosessia” [Wootten *et al.* 2006]. Tiedon alkuperän selvityksessä pyritään selvittämään, miten tietyn tietoyksikön syntyyn päädyttiin. Tiedon alkuperän selvittämiseksi tietoyksikön syntyvaiheeseen johtaneet syötedatan muutokset on dokumentoitava. Tiedon alkuperän selvittämisen kautta voidaan myös määrittää tiedot, jotka liittyvät toimitusketjun välivaiheisiin, joihin tässä

tutkimuksessa viitataan termillä *prosessi*. Teollisiin tuotantoihin liittyvät säännöstelyt ja säätelyt ovatkin tehneet tiedon alkuperän selvittämisestä lakitekniikan vaatimuksen, lopputuotteisiin liittyvien vaatimusten täyttämisen varmentamiseksi. Varmentaminen edellyttää huolellista dokumentaatiota tuotteen elinkaaren eri tuotantovaiheista.

Tiedon alkuperän ja siihen liittyvän tiedon tallentaminen on myös erittäin olennaista tieteellisen kokeen suorittamisen kohdalla. Mikäli tutkimuksen aikana jätetään dokumentoimatta tietoa liittyen tutkimustulokseen johtaneista vaiheista, tutkimusta toistettaessa lopputulos saattaa erota alkuperäisen tutkimuksen tuloksesta. Tämän vuoksi tiedon alkuperän määrittäminen asettaa haasteita käyttäjälle, sillä monet tietovuojärjestelmät eivät tue kaiken tarvittavan tiedon alkuperään liittyvän tiedon tallentamista. [Barga *et al.* 2006] Tiedon alkuperää selvitettäessä tulisi määrittää ainakin tietoyksikön syntymäaika ja syntymäpaikka, tietoyksikön konteksti, tietoyksikön lähteet sekä tietoyksikön muutokset datahistoriassa. Tiedon alkuperään liittyvän informaation avulla voidaan myös havaita mahdolliset duplikaatit ja redundanssit. [Buneman *et al.* 2006]

Buneman *et al.* [2001] ovat jakaneet tiedon alkuperän *miksi-alkuperään* (Why-provenance), jolla viitataan joukkoon tupleja, jotka vaikuttivat tietoyksikön muodostumiseen, ja *missä-alkuperään* (Where-provenance) joka määrittää kuinka tietoyksikkö yksilöidään lähdedatassa. Clifford *et al.* [2007] ovat tehneet jaon *prospektiivisen* ja *retrospektiivisen* alkuperän välillä. Tässä määritelmässä prospektiivinen alkuperä koostuu toimenpideaskelista, joiden suorittaminen johtaa lopputulokseen ja retrospektiivinen alkuperä taas sisältää informaation toimenpiteen suoritusympäristöstä ja siihen liittyvistä muuttujista. Tiedon alkuperään sisältyy siis tietovuon syöte- ja tulosdata sekä johdettujen attribuuttien laskentaan käytetyt määritelmät ja laskennan vaiheissa käytetyt *panokset* (token).

2.3. Tiedon mallinnus prosessien kuvaamisessa

Tietojenkäsittelyn rooli organisaatioiden prosessien hallinnassa on muuttunut vuosikymmenien aikana. Aluksi tiedonhallinta noudatti kaavaa ”*Organisoi ensin, ohjelmoi seuraavaksi*” (”First organize, then computerize”). Tämä ajatus perustuu ideologiaan, jossa organisaation prosessit ovat pääosin työntekijöiden hallitsevia. Työtehtävien organisoinnin muuttuminen entistä monimutkaisemmaksi, sekä organisaatioiden sisällä, että organisaatioiden välillä, on aiheuttanut muutoksen tämän ajatus- ja toteutusmallin osalta vuosien saatossa ja saanut aikaan uuden osa-alueen organisaatioiden tiedonhallinnassa: *tietovuon hallintajärjestelmän* (workflow management system). [van der Aalst and van Hee 2002]

Tiedon siirtymistä järjestelmän sisällä sen alkupisteestä loppupisteeseen kuvataan tyypillisesti tilakaavion muodossa. Kaavio jakautuu olion tilaa kuvaaviin solmuihin ja niitä yhdistäviin kaariin, joissa kuvataan solmujen välillä tapahtunut muutos. Solmut ja niissä esitetyt olion eri tilat vastaavat olion eri tilanteita sen elinkaaren aikana. Alkupiste kaaviossa vastaa olion lähtökohtaista tilaa ja loppupiste sen lopullista tilaa. Tilakaaviossa *tapahtumalla* (event) tarkoitetaan toimenpidettä joka vaikuttaa oloon ja *toiminnalla* (action) olion tekemää toimenpidettä. [Elmasri and Navathe 2011]

Prosessiin liittyviä tietoja voidaan kuvata tietovuokaavion avulla. Tietovuokaavion avulla voidaan kuvata prosessin vaiheita ja sen vaiheiden suhteita toisiinsa. Niin sanotussa tietokeskeisessä vuokaaviossa tieto esitetään perustuen tiedon välitykseen prosessin vaiheiden välillä; miten tieto siirtyy prosessista toiseen ja miten tieto talletetaan. [Junkkari and Sirkka 2011]

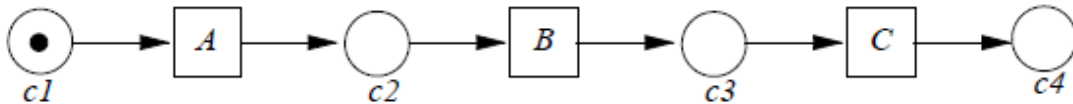
Tietovuomallit jakautuvat kahteen eri tyyppiin, prosessikeskeisiin ja tietokeskeisiin malleihin. Perinteiset tietovuomallit ovat tyypillisesti prosessikeskeisiä tietovuomalleja. Prosessikeskeisessä tietovuohallinnassa tavoitteena on luoda tukijärjestelmä prosessien määrittelylle, suorittamiselle, rekisteröinnille ja kontrolloinnille [van der Aalst 1998]. Tietokeskeisessä tietovuomallissa tavoitteena taas on muodostaa datajoukkoja prosessin alkuvaiheesta, keskivaiheesta ja lopullisesta vaiheesta, niissä esiintyvien datajoukkojen muutoksen perusteella. [Sirkka 2012]

2.4. Tietovuomallin rakenteet ja komponentit

Tietovuomallissa kuvattavaa kokonaisuutta kutsutaan tapaukseksi. Tämän tutkimuksen yhteydessä tapaus viittaa siten Lappset ”Clover Tower” –kiipeilytelineeseen [Lappset Oy 2013]. Mallinnettava tapaus voi olla myös esimerkiksi vakuutuskirja tai lipputilausjärjestelmä. Tapauksen olennaisena ominaisuutena on diskreettisyys; jokaisella tapauksella on alku ja loppu, ja nämä ovat määriteltävissä täysin irrallisesti muista prosesseista. Jokaisella tapauksella on myös uniikki tunnuksensa, jonka perusteella se voidaan yksilöidä. Tapauksella on lisäksi tietty, rajoitettu elinaika. [van der Aalst and van Hee 2002] Esimerkiksi kokoonpanoprosessissa tapauksen elinaika päättyy, kun kokoonpano on saatu koottua valmiiksi.

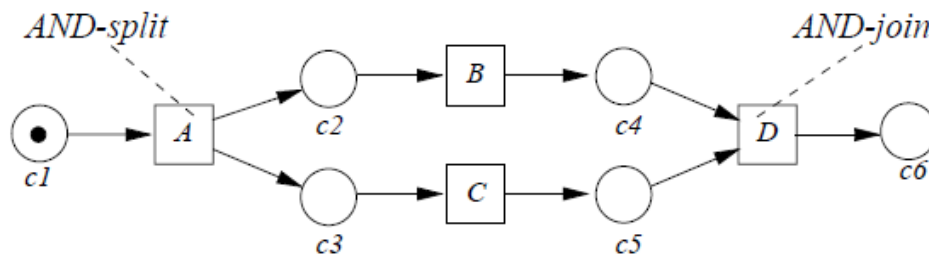
Tapaus jakautuu erillisiin suoritettaviin prosesseihin. Prosessit jakautuvat edelleen niiden sisällä suoritettaviin tehtäviin ja ehtoihin, joiden perusteella tehtävät suoritetaan tiettyssä järjestyksessä. Osa tehtävistä voidaan suorittaa rinnakkaisesti toisten tehtävien ohella, kuten tämän tutkimuksen kohdalla esimerkiksi kiipeilytelineen tukipaalun liittäminen jalustaosaan ennen jalustaosan kokoamista tai kokonaiseen jalustaosaan liittämistä. Prosessin tehtävät suoritetaan siis niin sanotussa osittaisessa järjestyksessä

[Sirkka 2012]. Kahta tai useampaa perättäisessä järjestyksessä suoritettavaa tapahtumaa kutsutaan *sekvenssiksi*. [van der Aalst and van Hee 2002] Kuvassa 1 on esitetty tietovuon sekvenssirakenne. Tapaus alkaa tilasolmusta "c1" päätyen lopputilaan "c4", prosessien tilojen muuttuessa muutossolmujen "A", "B", ja "C" kautta.



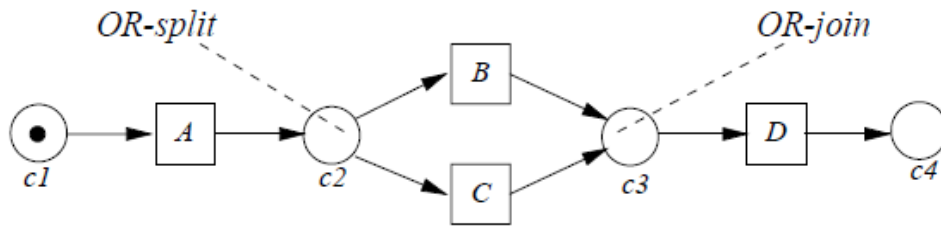
Kuva 1. Tietovuon sekvenssirakenne. [van der Aalst 1998, s. 18]

Rinnakkain suoritettavien tehtävien ja prosessien mallinnukseen käytetään JA-erotus- ja JA-liitos- rakenteita [van der Aalst and van Hee 2002]. Tämän tutkimuksen kokoonpanomallissa rinnakkain suoritettavina prosesseina voidaan nähdä esimerkiksi telineen perustuksen kokoaminen, sillä telineen paalut voidaan koota satunnaisessa järjestyksessä, eivätkä prosessit näin ollen ole toisistaan riippuvaisia. Tätä rakennetta kutsutaan *synkronisaatioksi*. Kuvassa 2 on esitetty synkronisaatorakenne, jossa prosessit jakautuvat rinnakkaisiksi prosesseiksi, ja yhdistyvät myöhemmin osaksi samaa prosessia.



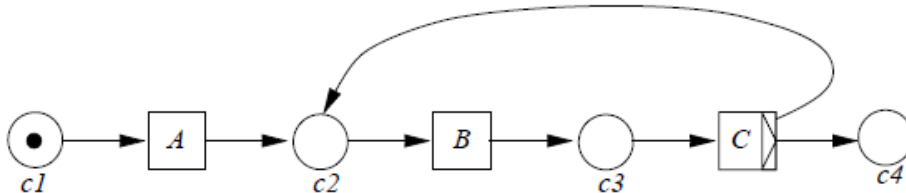
Kuva 2. Tietovuon JA-erotus- ja JA-liitosrakenne. [van der Aalst 1998, s. 19]

Tietovuossa voidaan esittää vaihtoehtoisia tehtäviä. Tätä kutsutaan *valinnaksi*. [van der Aalst and van Hee 2002]. Tässä tutkimuksessa esitetyssä kokoonpanoprosessissa valintarakenteita ei esiinny, koska kokoonpanoon liittyvä erityisominaisuus on, että siinä osien liittäminen edeltävässä prosessissa koottuun välivaiheeseen on tehtävä määrättyä järjestyksessä. Valintarakenteita kokoonpanossa voisi kuitenkin olla esimerkiksi vaihtoehtoiset kokoamisohjeet tietyissä prosesseissa. Kuvassa 3 on kuvattu valintarakenne, jossa prosessit eroavat omiksi haaroiksi, joista jompikumpi prosessi suoritetaan.



Kuva 3. Tietovuon valintarakenne. [van der Aalst 1998, s. 19]

Tehtäviin voi liittyä lisäksi *iteraatorakenne*, jolloin tehtävä suoritetaan toistuvasti tiettyjä kertoja ennen seuraavaan tehtävään tai prosessiin siirtymistä. Tehtävää, jota ei voida jakaa erillisiin tehtäviin kutsutaan atomiseksi tehtäväksi. Tutkimuksen esimerkissä atomisia tehtäviä ovat esimerkiksi yksittäisen ruuvin kiinnitys. Tehtävä on myös aina suoritettava täydellisenä alusta loppuun, ja mikäli tehtävän suorittaminen ei onnistu, tehtävä on suoritettava uudelleen ennen seuraavaan tehtävään tai prosessiin siirtymistä. [van der Aalst and van Hee 2002] Kuvassa 4 on esitetty tietovuon iteraatorakenne, jossa tietyssä prosessin vaiheessa palataan aiempaan vaiheeseen tietovuossa ja suoritetaan tehtävät uudelleen.



Kuva 4. Tietovuon iteraatorakenne. [van der Aalst 1998, s. 22]

Prosessi määrittää näin ollen tehtävien suoritusjärjestyksen ja tehtävien sisällön. Prosessi pitää sisällään myös tehtävien suorittamiseen liittyvät ehdot. [van der Aalst and van Hee 2002]

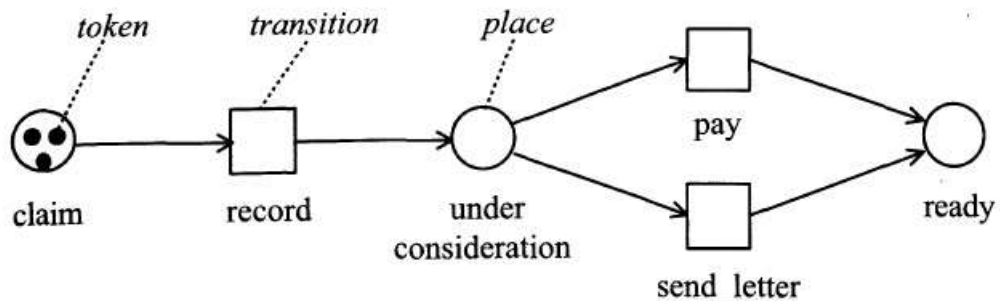
2.5. Petri-verkko -tietovuomalli

Petri-verkko on Carl Adam Petrin vuonna 1962 kehittämä tietovuomalli, jossa tiedon seurattavuutta havainnoidaan graafin syötilasta tulostilaan siirtyvien panosten avulla. Petri-verkko on suosittu malli tiedon seurannassa sen esitystavan selkeyden ja yksinkertaisuuden vuoksi. [van der Aalst and van Hee 2002] Niin sanottu perinteinen Petri-verkko on suunnattu kaksijakoinen (bipartite) graafi, joka koostuu kahdenlaisista solmuista: paikkasolmuista ja muutossolmuista. Solmut yhdistyvät suunnattujen kaarien

välityksellä. Petri-verkossa saman tyyppisten solmujen yhdistäminen ei ole hyväksyttyä.

Perinteisessä Petri-verkko- kaaviossa paikkasolmuja kuvataan ympyröillä ja muutossolmuja neliöillä. [van der Aalst 1998] Petri-verkossa on tietty alkupiste, jota kuvataan solmulla, jolla ei ole yhtään sisääntulevaa kaarta, ja päätepiste, jota kuvataan solmulla, jolla ei ole yhtään uloslähtevää kaarta. [van der Aalst and van Hee 2002]

Petri-verkon panokset toimivat ahneen algoritmin mukaan, eli panokset laukeavat heti kun niiden laukeaminen on tehty mahdolliseksi. Kuvassa 5 esitettyssä Petri-verkkomallissa, solmu "record" on virittynyt, sillä sen syötesolmu "claim" sisältää vähintään yhden panoksen. Kun muutossolmu laukaistaan, siirtyy paikkasolmun panos seuraavaan paikkasolmuun, tässä tapauksessa solmuun "under consideration". [van der Aalst and van Hee 2002] Tässä tutkimuksessa käsitellyn kokoonpanomallin Petri-verkkomallissa panoksen tila muutettaisiin laukaistavaksi heti kun käsiteltävän prosessin osat olisi saatu koottua.



Kuva 5. Perinteinen Petri-verkko. [van der Aalst and van Hee 2002, s. 37]

Petri-verkko koostuu siis paikkasolmuista, joissa kaaren panosten alku- ja välitilat määritetään, ja muutossolmuista, joissa panoksiin kohdistuvat muutokset kuvataan, ja kaarista, jotka yhdistävät paikka- ja muutossolmut. Näin ollen Petri-verkko on edellä mainittujen paikkasolmujen (P) ja muutossolmujen (T) joukko, jotka yhdistävät kaaret muodostavat paikka- ja muutossolmujen väliset suhteet (F).

Petri-verkko on kolmikko (P, T, F), jossa

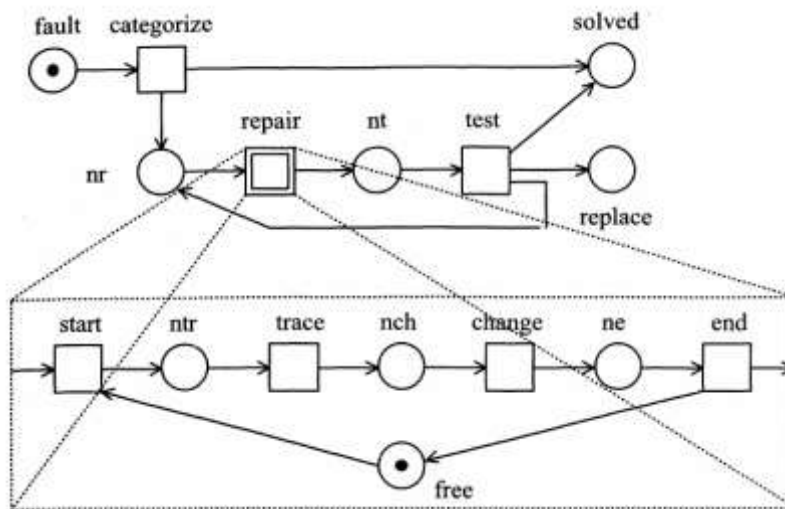
- P on paikkojen muodostama äärellinen joukko
- T on muutosten muodostama äärellinen joukko ($P \cap T = \emptyset$)

$$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$$

- on kaarien muodostama joukko

[van der Aalst and van Hee 2002].

Korkean tason Petri-verkko on kehittyneempi malli perinteisestä Petri-verkosta, johon on lisätty värikoodi-, aika- ja hierarkiarakenne monipuolisempaa ja kehittyneempää mallinnusta varten. Korkean tason Petri-verkossa voidaan kuvata panoksia siis eri väreillä, ja näin erottaa ne toisista panoksista. Aikarakenne korkean tason Petri-verkossa saadaan toteutettua määrittelemällä panoksille aikaleima, jolla määritetään koska panos on valmiina laukaistavaksi. Koska panokset laukaistaan FIFO-periaatteen perusteella, panos, jonka aikaleima on aikaisin, laukaistaan ensin. Hierarkkinen rakenne taas kuvataan korkean tason Petri-verkossa määrittämällä tietyille paikkasolmulle erillisesti suoritettava prosessiketju kuvassa 6 esitetyllä tavalla, jossa ”repair”-paikkasolmu sisältää itsenäisesti suoritettavan prosessiketjun. [van der Aalst and van Hee 2002]



Kuva 6. Korkean tason Petri-verkossa kuvattu hierarkiarakenne. [van der Aalst and van Hee 2002, s. 58]

2.6. Seurattavuusgraafi

Seurattavuusgraafi on tiedon seurattavuuden tutkimusta varten kehitetty malli, jossa prosessi esitetään sen alkuvaiheesta aina valmiista kohdasta kuvaavaan loppuvaiheeseen asti suunnatun graafin avulla. Seurattavuusgraafissa solmut esittävät prosessin vaiheita, joissa prosessiin liittyvää tietoa kumuloituu prosessin kehityksen aikana. Kukin solmu koostuu joukosta attribuutteja, joihin voi lukeutua esimerkiksi tuotantokustannus, tuotannon aiheuttamat päästöt tai osien paino tai pituus. Solmuissa esitetään myös tietoa lopputuotteen osista, jotka graafin lopussa muodostavat lopullisen tuotteen tai kokoonpanon. [Junkkari and Sirkka 2011]

Seurattavuusgraafin kaarissa kuvataan prosessin muutokseen vaikuttava tieto. Tässä tutkimuksessa kyseessä olevan kokoonpanon kohdalla prosessien kaarissa tieto

kumuloituu prosessin aiemmassa solmussa kuvattuihin attribuutteihin, mutta raakamateriaalin jalostusprosessissa tieto voi myös jakaantua ja attribuuttien arvo saattaa laskea lopputuotetta jalostettaessa. Näin ollen kaarissa ei esitetä uusia prosessiin liittyviä osia tai resursseja, vaan kaarissa esitetään johdettuja attribuutteja. [Junkkari and Sirkka 2011] Junkkarin ja Sirkkan kehittämä seurattavuusgraafi esitellään tarkemmin luvussa 4.

3. Tiedon seurattavuuden soveltaminen eri tuotannonaloilla

Tiedon seurattavuusjärjestelmä on osa yrityksen laadunhallinta- ja toiminnanohjausjärjestelmää. Seurattavuusjärjestelmän käyttöönoton kautta voidaan seurata tuotteiden eri jalostus- ja toimitusvaiheita ja valvoa toimitusketjun kutakin prosessia. Näin voidaan tarvittaessa havaita ja poistaa violliset tuotteet tuotannosta riittävän varhaisessa jalostusvaiheessa, ja mikäli lopullisista kuluttajille toimitetuista tuotteista havaitaan vikoja, ne voidaan paikallistaa seurattavuusjärjestelmän avulla.

1990-luvulla ilmennyt BSE-tauti, eli ”hullun lehmän taudiksi” nimetty nautakarjaa tartuttanut epidemia, aiheutti EU:n sisällä nautakarjatuotteiden myyntiin 6% laskun keskitasolla vuosien 1990 ja 1999 välillä. Vuonna 2000 löydettiin uusia tapauksia Ranskasta ja Saksasta, ja Saksassa helmikuuhun 2001 mennessä nautakarjatuotteiden myynti väheni jopa 80%. Osittain näiden tapausten johdosta syntyi tarve seurattavuuden käyttöönotolle elintarviketeollisuudessa, mikä johti lopulta yleisen elintarvikeasetuksen EY N:o 178/2002 elintarviketeollisuuden seurattavuudesta laatimiseen. [Jansen-Vullers *et al.* 2003] Yleinen elintarvikeasetus esitellään tarkemmin muiden seurattavuuteen liittyvien standardien ohella luvussa 3.2.

Tiedon seurattavuuden tutkimus on painottunut vahvasti elintarviketeollisuuteen, sillä elintarviketuotannossa puutteellinen laaduntarkkailu ja pilaantuneet tuotteet aiheuttavat eniten haittoja ja riskejä kuluttajille. Muita seurattavuustutkimuksen kohteita ovat olleet esimerkiksi tässä tutkimuksessa mainittu Sirkan [2012] metsäteollisuuden tuotantoketjun elinkaarianalyysitutkimus, tekstiiliteollisuuden toimitusketju ja tietojärjestelmän vaatimusmäärittelyt ja niiden jäljittäminen käytötapauksiin [Gotel and Finkelstein 1994].

Tiedon seurattavuuden soveltaminen toimitusketjuihin ja prosesseihin on toisinaan välttämätöntä, toisinaan lakisäateistä kuten jo aiemmin mainittu elintarvikeasetus 178/2002 ja toisinaan käyttöönotto johtuu seurattavuuden kautta saavutetusta taloudellisesta hyödystä laadunvarmistuskontrollin parantuessa ja hävikin vähentyessä.

3.1. Identifiointi ja merkintä

Seurattavuuden soveltaminen yksityiskohtaisella tasolla edellyttää tuotteiden, osatuotteiden ja raaka-aineiden identifiointia fyysisellä tasolla [Junkkari and Sirkka 2011]. Tämän tutkimuksen kohdalla identifiointi tehdään kokoonpanon osien tasolla

niiden tunnusten perusteella. Kokoonpanon osista koottaviin välikokoonpanoihin taas viitataan niitä kuvaavilla loogisilla nimillä tai kokoonpanon osien tunnusten joukolla.

Seurattavien tuotteiden identifiointi edellyttää niin ikään niiden merkintää (labelling), jotta ne voidaan tunnistaa toimitusketjun eri vaiheissa [Setboonsargn *et al.* 2009]. Tuotteiden merkinnän tuomasta lisäarvosta tehdyn tutkimuksen perusteella on päätelty, että tuotteen merkintä edesauttaa tuotteen laatukriteereiden todentamista laadunvarmistusprosessin aikana [Jansen-Vullers *et al.* 2004].

Merkinnän käytöllä identifiointin välineenä on pitkät perinteet historiassa. Jo Rooman valtakunnan aikoina kilpa-ajajilla oli tapana merkitä hevosensa, ja myös karjaeläimiä merkittiin symboleilla, minkä uskottiin suojaavaan niitä mahdollisilta vahingoilta. Myös muinaisten kiinalaisten tiedetään merkinneen postihevosiaan ja muinaisten egyptiläisten karjaeläimiään tunnistaaakseen ja todistaakseen ne omikseen. Karjaeläinten merkintäperinne kulkeutui Yhdysvaltoihin Espanjasta Hernan Cortesin kautta, jolla oli tapana merkitä karjaeläimensä. [Crandall *et al.* 2013, Golan *et al.* 2004]

Nykyään hyötyeläinten merkinnässä ollaan edistytty eläinten polttomerkinnästä niiden tatuointiin, verkkokalvo/iiris-skannaukseen ja mikrosirutunnisteisiin tai seurattavuuden tunnisteena varsin yleisesti käytetyn RFID-tunnisteteknologian soveltamiseen [Golan *et al.* 2004]. Yksittäisten hyötyeläinten merkitsemisen tarkoitus on ollut alun perin todistaa niiden omistaja ja sittemmin sairastuneiden eläinten tunnistaminen. Karjaeläinten kohdalla seurattavuudesta tekee erityisen haasteellista eläinten ja niiden ruhonosien yhteyden tunnistaminen ja todentaminen. [Crandall *et al.* 2013] Karjaeläinten tuotantomenetelmien seurattavuuteen liittyviä ongelmia tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.3.

Elintarviketeollisuudessa tuotteiden ja raaka-aineiden identifiointi ja merkintä on erityisen haastavaa. Viljelytuotteiden seurattavuudessa prosessoidut tuotteet, kuten esimerkiksi säilyketölkit, voidaan identifioida tarkasti tuoteleimoilla, mutta tuoretuotteiden yksilöinti kappaletasolla on käytännössä mahdotonta, sillä tuotteet myydään kuluttajille sellaisinaan, eikä kaiken tyyppisten hedelmien ja vihannesten merkitseminen tunnuksella ole mahdollista niiden karkean tai epätasaisen pinnan vuoksi. Näin ollen tuoretuotteet voidaan yksilöidä pääsääntöisesti vain tuote-erien tarkkuudella ja ne on välttämätöntä pakata ja kuljettaa pienissä erissä näiden tuotteiden ollessa herkästi vahingoittuvia, mikä helpottaa niihin kohdistuvaa seurattavuutta. [Golan *et al.* 2004]

Regattieri *et al.* [2006] ovat jakaneet elintarviketeollisuuden tarpeita varten tehdyssä tutkimuksessaan identifiointia koskevat attribuutit tuotteen mittoihin (ulkomitat, tilavuus paino), pilaantumiseen (perishability), paketointiin, kustannuksiin, elinkaareen pituuteen ja materiaalin rakenteeseen (the bill of material structure)

tarkoittaen kuinka monesta osasta tuote on koostunut, esimerkiksi lihajalostetuotteen tapauksessa. Esimerkiksi italialaisen salamimakkaran rakenne ja koostumus on esitetty myöhemmin luvussa 3.3.

Jansen-Vullers *et al.* [2004] ovat määrittäneet käsitteen *tuoteleima* (label) tutkimuksessaan siten, että sillä kuvataan tuotteeseen tai tuotejoukkoon liittyviä, niille yhteisiä ominaisuuksia. Ominaisuudet voivat myös liittyä tuotteiden valmistustapaan tai valmistusprosesseihin. Tuoteleimaa voidaan näin myös käyttää tunnusteen sijasta toimitusketjun eri prosesseissa. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota myös tuoteleiman hyödyntämisestä laadunvarmistuksen aikana, jolloin leimaan liittyvien ominaisuuksien perusteella voidaan todentaa tuotteelle annetut laatuksiteerit. Esimerkkeinä tuotteen laatuksiteerit täyttävistä leimoista Jansen-Vullers *et al.* [2004] mainitsevat ympäristöystävällisen paperiteollisuuden alalta ”kierrätyspaperin”, ”kloorivapaan” ja ”puuta sisältämättömän” paperilaadun.

Jansen-Vullers *et al.* [2004] ovat jakaneet tutkimuksessaan tuoteleimat kolmeen kategoriaan: tunnusnumeroihin, automaattisesti luotuihin leimoihin ja manuaalisesti luotuihin leimoihin.

3.2. Seurattavuuden soveltamisen erot Euroopan ja Yhdysvaltojen välillä

Jansen-Vullers *et al.* [2003] tutkimuksen mukaan on arvioitu, että vuositasolla miljoonat eurooppalaiset joutuvat ruokamyrkytyksen kohteeksi. Yleisinä syinä ruokamyrkytyksiin ovat muun muassa salmonella, kampylobakteeri (*Campylobacter*) ja *E.coli* O 157. Tämän lisäksi ollaan huomattu, että karjataloista löytyvä BSE-bakteeri on todennäköinen taudinaiheuttaja ihmisille tappavaan Creutzfeldt-Jacobin -tautiin. On selvää, että pelkästään seurattavuusjärjestelmän käyttöönoton myötä elintarviketuotannossa, ei päästä eroon pilaantuneista tai epäpuhtaista raaka-aineista toimitusketjussa, mutta seurattavuusjärjestelmän avulla pilaantuneet raaka-aineet voidaan paikantaa toimitusketjussa, ja näin tuotteiden mahdolliset takaisinvedot saadaan minimoitua, ja saavutetaan huomattavia säästöjä tuotantokustannuksissa.

Eryisesti Euroopan karjatalouteen vaikuttanut BSE-epidemia johti yleisen elintarvikeasetuksen EY N:o 178/2002 laatimiseen, jonka 18. artiklassa määritellään säännöt elintarviketuotteiden jäljitettävyydelle seuraavasti:

1. Kaikissa tuotanto-, jalostus- ja jakeluvaiheissa on huolehdittava siitä, että on mahdollista jäljittää elintarvikkeet, rehut, elintarviketuotantoon käytettävät eläimet ja muut mahdolliset aineet, jotka on tarkoitettu tai joiden voidaan olettaa tulevan lisätyksi elintarvikkeeseen tai rehuun.

2. Elintarvike- ja rehualan toimijoiden on voitava tunnistaa luonnollinen henkilö tai oikeushenkilö, joka on toimittanut niille elintarvikkeen, rehun, elintarviketuotantoon käytettävän eläimen tai sellaisen aineen, joka on tarkoitettu tai jonka voidaan olettaa tulevan lisätyksi elintarvikkeeseen tai rehuun.

Tätä varten toimijoilla on oltava käytössä tähän tarkoitettut järjestelmät ja menettelyt, joiden avulla toimivaltaiset viranomaiset saavat nämä tiedot pyynnöstä käyttöönsä.

3. Elintarvike- ja rehualan toimijoilla on oltava käytössä sellaiset järjestelmät ja menettelyt, joiden avulla ne voivat tunnistaa muut yritykset, joille niiden tuotteita on toimitettu. Nämä tiedot on annettava pyynnöstä toimivaltaisille viranomaisille.
4. Markkinoille saatetuissa tai todennäköisesti markkinoille saatettavissa elintarvikkeissa ja rehuissa on niiden jäljitettävyyden helpottamiseksi oltava riittävät ja asianmukaiset pakkausmerkinnät tai tunnistetiedot tarkempiin säännöksiin sisältyvien asiaa koskevien vaatimusten mukaisesti.
5. Tämän artiklan vaatimusten noudattamiseksi tarkoitettut säännökset voidaan antaa 58 artiklan 2 kohdassa tarkoitettua menettelyä noudattaen.

[Yleinen elintarvikeasetus (EY) N:o 178/2002:18]

Toimitusketjujen seurattavuudesta elintarviketeollisuuden piirissä tuli lailla määrätty vaatimus Euroopan Unionissa yleiseen elintarvikeasetukseen perustuen vuoden 2005 alusta lähtien. [Schwägele 2005]

Tiedon seurattavuuden kautta saadut hyödyt riippuvat tarkasteltavasta tuotannonalasta. Golat *et al.* [2004] ovat tutkineet seurattavuudesta saatuja hyötyjä tutkimuksessaan Yhdysvaltojen maatalousvirastolle, USDA:lle (United States Department of Agriculture), tehdyssä tutkimuksessa. Tutkimusraportissa mainitaan seurattavuusjärjestelmien motiiviksi Yhdysvalloissa yritysten tavoittelemat taloudelliset hyödyt, sillä toisin kuin Euroopassa, Yhdysvalloissa yritysten seurattavuusjärjestelmille ei ole asetettu varsinaisia valtiollisia vaatimuksia tai säännöksiä.

3.3. Tiedon seurattavuus elintarviketeollisuudessa

Coff *et al.* [2008] toteavat seurattavuuden tulleen olennaiseksi osaksi elintarviketuotantoa sen ammattimaistumisen ja teollistumisen johdosta; elintarviketuotteet yhä harvemmin tuotetaan ja kulutetaan saman henkilön toimesta, ja pääsääntöisesti tuotteet tuotetaan sekä kulutetaan useissa eri paikoissa useiden eri ihmisten toimesta. Seurattavuudelle on täten syntynyt tarve elintarviketeollisuudessa ruoanvalmistuksen teollistumisen, toimitusmatkojen pidentymisen ja toimitusketjujen monimutkaistumisen johdosta. Pitkät toimitusketjut aiheuttavat elintarviketuotteille enemmän hävikkiä pilaantuneiden raaka-aineiden ja elintarvikkeiden vuoksi, ja toimitusketjussa mukana olevat useat eri raaka-ainetoimittajat voivat näin aiheuttaa vikoja ja sekaannuksia lopputuotteissa.

Tiedon seurattavuutta on alettu soveltaa elintarviketeollisuudessa yhä enemmän johtuen tuotannossa ilmenneistä terveysriskeistä, kuten aikaisemmin mainittu ”Hullun lehmän taudiksi” nimetty BSE-epidemia 1990-luvulla ja myöhemmin seurannut lintuinfluenssaepidemia. Seurattavuuden tarpeellisuudesta lihataloussektorilla löytyy myös tuoreita esimerkkejä, kuten muutamia vuosia sitten uutisoitu Findus-elintarvikevalmistajaan kohdistunut tapaus, jossa yrityksen valmistaman valmislasagnen huomattiin sisältävän naudanlihan lisäksi hevosenlihaa [Crandall *et al.* 2013].

Jansen-Vullers *et al.* [2004] esittävät tutkimuksessaan merkinnän tärkeydestä esimerkin elintarviketuotannosta, jossa seuraukset olisivat olleet paremmin hallittavissa huolellisesti suunnitellun seurattavuusjärjestelmän käyttöönoton myötä. Toukokuussa 1999 Belgian maatalousministeriö havaitsi eläinrehun huomattavan korkean dioksiinipitoisuuden, joka tutkimusten jälkeen havaittiin johtuvan eläinrehun valmistukseen käytetystä rasvaerästä. Kesäkuuhun mennessä ministeriö oli laskenut rehun pilaantumisen aiheuttamien kustannusten arvoksi noin 1,5 miljoonaa dollaria. Tapauksen seurauksena EU-maat asettivat kiellon belgialaisen nautakarjan, nautakarjatuotteiden ja kaikkien mahdollisten tapauksen pilaamien elintarvikkeiden tuonnille.

Golan *et al.* [2004] ovat määrittäneet kolme syytä elintarvikevalmistajien seurattavuusjärjestelmien käyttöönottoon: toimitusketjun ja sen hallinnan kehittäminen, ruokatuotteiden parantuneiden laatukriteereiden hyödyntäminen markkinoinnissa ja markkinoilla erottautumisessa sekä ruokatuotteiden turvallisuuden ja laadun varmistaminen poisvetomekanismin avulla. Ruokatuotteiden laatukriteereihin ja niin sanottuihin luotettavuusattribuutteihin (credence attributes) liittyen, valmistusmenetelmistä seurattavuusjärjestelmään tallennetut tiedot on ainoa tapa todentaa tietyt elintarviketuotteisiin liittyvät laatukriteerit, joita ei lopputuotteesta ole

mahdollista todentaa, kuten ”luomuviljelty”, ”vapaasti kasvanut” tai ”reilun kaupan tuote”. Golan *et al.* [2004] jakavat luotettavuusattribuutit sisältö- ja prosessiattribuutteihin, joista sisältöattribuutteihin lukeutuu esimerkiksi kalsiumin määrä tuoremehussa, jota kuluttajan on siis mahdotonta arvioida tuotteesta suoraan, ja prosessiattribuutteihin esimerkiksi reilun kaupan tai luomutuotetut tuotteet, joiden todentaminen sitoutuu prosesseista talletettuihin tietoihin.

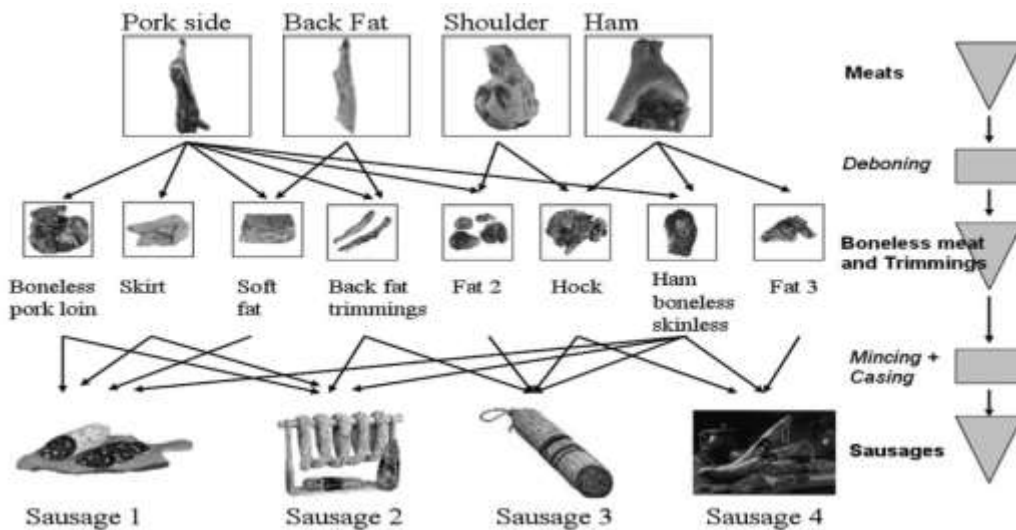
Näin ollen yritysten tavoite seurattavuusjärjestelmien käyttöönoton kautta on kehittää toimitusketjunsä hallintaa (supply-side management), mikä mahdollistaa laadunvarmistuksen ja käyttäjälle vaarattomien elintarvikkeiden tuotannon kehityksen. Seurattavuuden käyttöönottoa seuraaviksi välittömiksi hyödyiksi Golan *et al.* [2004] luettelevat jakelujärjestelmien kustannusten laskun, vähentyneet kustannukset poisvedettävien tuotteiden kohdalla sekä korkealaatuisten tuotteiden myynnin kasvu laaduntarkkailun ja lopputuotteen laadun todentamisen kautta. On kuitenkin huomattava, että seurattavuusjärjestelmä ei yksistään tuo edellä mainittuja hyötyjä yritykselle, vaan seurattavuusjärjestelmän tulee tukea toimitusketjun muita toiminnanohjausjärjestelmiä.

On myös otettava huomioon, että seurattavuuden käyttöönotto on kannattavaa ainoastaan, mikäli seurattavuuden tuottama nettohyöty on suurempi kuin seurattavuusjärjestelmän käyttöönoton aiheuttamat kustannukset. Seurattavuudesta saadut hyödyt ovat niin ikään sitä suuremmat, mitä todennäköisempää pilaantuneiden tai heikkolaatuisten tuotteiden löytyminen toimitusketjusta on.

Golan *et al.* [2004] ovat määrittäneet seurattavuuden arvioinnille kolme eri attribuuttia: leveys, syvyys ja tarkkuus. Seurattavuuden leveyden avulla voidaan mitata seurattavuusjärjestelmän tallentaman tiedon määrää. Seurattavuuden syvyyttä mittaamalla saadaan selvitettyksi kuinka pitkälle taaksepäin toimitusketjussa järjestelmä tallettaa tietoa. Seurattavuuden tarkkuus taas mittaa seurattavuusanalyysin yksityiskohtaisuutta perustuen seurattavan kohteen mittayksikköön (granularity).

Moe [1998] on määrittänyt elintarviketuottajan saamat hyödyt tiedon seurattavuuden määrittämisen avulla seuraavasti: tuotantokontrollin kasvattaminen, syy-seuraus-suhteen selvittäminen, kustannusten minimoiminen hyvä- ja huonolaatuisten raaka-aineiden erottelun kautta, tiedon löytymisen helpottuminen mahdollisten tarkastusten yhteydessä sekä tietojärjestelmien pystyttämisen helppous.

Dupuy *et al.* [2004] määrittivät *Gozinto-graafiksi* kutsumansa tietomallin, tutkiessaan lihajalostetuotteen raaka-aine-erien seurattavuuteen liittyviä ongelmia. Kuvasta 7 voidaan nähdä, kuinka monesta eri ruhonosasta tutkimuksen kohteena ollut makkaravalmiste valmistetaan. Gozinto-graafin avulla erät voitiin siis yhdistää tarkasti tiettyyn tuote-erään ja tiettyyn ruhonosaan.



Kuva 7. Makkaran valmistusprosesseihin liittyvien tuote-erien ja tuotteenosien moninaisuuden aiheuttamat haasteet lihajalosteen seurattavuudelle. [Dupuy *et al.* 2004, s. 336]

Dupuy *et al.* [2004] ovat määritelleet tutkimuksessaan tiedon seurattavuuden kautta saavutetut hyödyt seuraavasti:

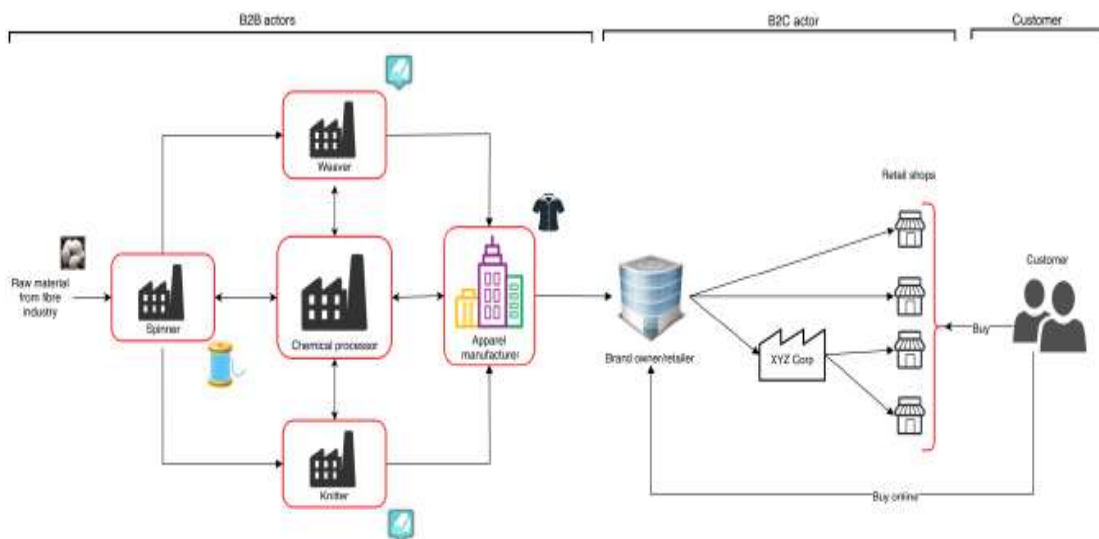
- kustannusten vähentyminen ajankäytön ja työntekijäkapasiteetin kautta, kun tuotteiden historia ja sijainti voidaan määrittää ongelmien ilmetessä
- kustannusten vähentyminen tuotteiden takaisinvedon osalta: ongelmatuotteen jäljittämisen kautta takaisinvedettävien tuotteiden määrä vähenee ja pilaantuneiden tuotteiden asiakaskohderyhmä jää samalla pienemmäksi
- pilaantuneita tuotteita koskevien tuotantosijaintien määrän väheneminen
- pilaantuneen elintarvikkeen aiheuttaman terveystarvekohdalla asiakkaiden luottamuksen säilyttäminen kontrolloidun järjestelmän kautta

3.4. Tiedon seurattavuus tekstiiliteollisuudessa

Tekstiiliteollisuudessa seurattavuuden kautta pyritään todistamaan tuotteiden valmistusmenetelmien eettisyys liittyen esimerkiksi työntekijöiden työolojen turvallisuuteen. EU:n sisällä on havaittu myös tekstiilituotteiden takaisinveitoja

RAPEX-organisaation (Rapid Alert System for dangerous non-food products) raportoimana. Kumar *et al.* [2017] tutkimuksen mukaan vuonna 2014 tekstiiliteollisuuden piirissä tehtiin 530 poisvetoa kaikkiaan 2435:sta poisvedosta kyseisen vuoden aikana. Euroopassa on tehty lisäksi säännöksiä tekstiiliteollisuudessa käytettyjen kemikaalien ja väriaineiden suhteen, mikä lisää seurattavuuden käyttöönnoton merkitystä tekstiiliteollisuusyritysten toimitusketjuissa.

Kuluttajat asettavat niin ikään vaatimuksia ostamilleen tekstiilituotteille, ja ovat valmiita maksamaan tuotteista lisää saadessaan todisteen lopputuotteen elinkaaresta, tullessaan näin vakuutetuksi tuotteen toimitusketjun eettisyydestä tai käytettyjen materiaalien laadukkuudesta. Myös kuluttajien kemikaaleista johtuvan yliherkkyyden yleistyminen on aiheuttanut lisää vaatimuksia tekstiiliteollisuuden valmistusmenetelmien suhteen. Kumar *et al.* [2017] toteavat tutkimuksessaan tekstiiliteollisuuden seurattavuuden olevan kaukana jäljessä elintarviketeollisuuden standardeista ja käytännöistä. Esimerkkinä tästä he mainitsevat tutkimuksen, jossa todettiin, että vain 61% jälleenmyyjistä tiesivät heidän tavarantoimittajansa ja vain 8% jälleenmyyjistä tiesivät tuotteidensa tekstiilikuitujen alkuperän. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki tekstiiliteollisuuden toimitusketjusta, ja siihen liittyvistä toimijoista aina lankojen ja kankaiden valmistuksesta lopullisen tuotteen toimittamiseen kuluttajalle.



Kuva 8. Tekstiiliteollisuuden toimitusketju sisältäen materiaalien valmistuksen, prosessoinnin ja jalostuksen, josta vaatevalmistaja toimittaa tuotteet lopulta kuluttajien saataville. [Kumar *et al.* 2017, s. 6]

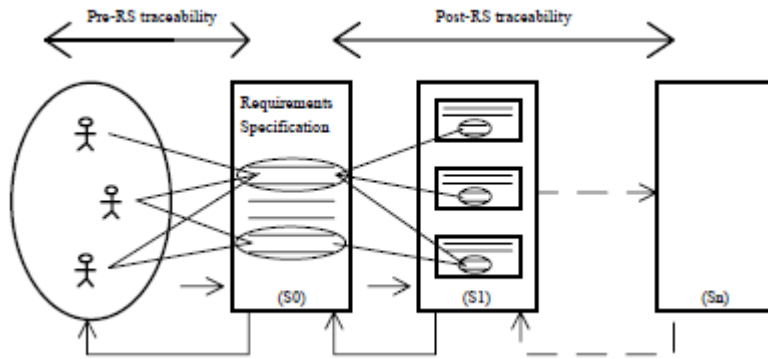
3.5. Tiedon seurattavuus ohjelmistotuotannossa

Ohjelmistojen ja ohjelmistopohjaisten tuotteiden suunnittelu perustuu sovellukselle tai teknologiatuotteelle asetettuihin vaatimuksiin, jotka määritetään joko ohjelmistosuunnittelijoiden tai asiakkaan toimesta, ja laadittujen vaatimusten perusteella suunnitellaan käyttötapaukset ja käyttöliittymädokumentti, jotka toimivat pohjana testitapausten laatimiselle. Testi- käyttötapauksen todentaminen vastaavasti voidaan jäljittää, ja tulee olla jäljitettävissä vaatimusmäärittelydokumenttiin kirjattuihin vaatimuksiin.

Gotel ja Finkelstein [1994] ovat tutkineet vaatimusmäärittelyjen seurattavuutta ja päätyivät jakamaan vaatimuksiin liittyvän seurattavuuden ennen vaatimusmäärittelydokumentin laatimista ja dokumentin laatimisen jälkeen liittyvään seurattavuuteen (pre-/post-requirements specification traceability).

Vaatimusmäärittelydokumentin kohdalla seurattavuuden määritelmä on kirjattu ANSI/IEEE-standardiin (ANSI/IEEE Standard 830-1984) seuraavasti: ”A software requirements specification is traceable, if (i) the origin of each of its requirements is clear and if (ii) it facilitates the referencing of each requirement in future development or enhancement documentation”, eli vapaasti suomennettuna *vaatimusmäärittelydokumentti toteuttaa seurattavuuden kriteerit, jos jokaisen vaatimuksen lähtökohta on selkeästi määritetty ja määrittelydokumentin jokainen vaatimus on viitattavissa dokumentin mahdollista kehitystä varten* [Gotel and Finkelstein 1994]

Gotel ja Finkelstein [1994] näkivät erottelun tarpeelliseksi edellä mainitulla tavalla syystä, että suurin osa vaatimuksien seurattavuudesta kohdistui ongelmaan, että erottelua ennen vaatimusspesifikaation laatimista ja sen laatimisen jälkeen ei oltu tehty. Tämän erottelun sisältävän seurattavuusjärjestelmän toteuttamisen jälkeen yksittäiset vaatimukset voidaan jäljittää vaatimusmäärittelydokumentista siihen pohjautuviin spesifikaatioihin molempiin suuntiin ja sovelluksen ominaisuuksiin mahdollisesti tehtävät muutokset voidaan jäljittää yksittäisiin vaatimuksiin, jolloin ne voidaan päivittää ja vaatimukset voidaan pitää näin ajan tasalla sovelluksen ja sen ominaisuuksien muutoksien kanssa. Kuvassa 9 on havainnollistettu seurattavuuden erittely ennen- ja jälkeen- vaatimusmäärittelyvaiheisiin. Ennen-vaiheessa seurattavuus keskittyy haluttujen muutosten päivittämiseen vaatimusspesifikaatioon, ja jälkeen-vaiheessa spesifikaation vaatimusten ja toteutetun sovelluksen väliseen seurattavuuteen.



Kuva 9. Seurattavuus ennen ja jälkeen vaatimusmäärittelyvaihetta. [Gotel and Finkelstein 1994, s. 4]

4. Seurattavuusgraafi

Junkkari ja Sirkka [2011] kehittivät seurattavuusgraafiksi (traceability graph) nimetyn tietovuomallin metsäteollisuuden tuotantoketjun elinkaaren ympäristövaikutusten arviointia ja tuotantoketjun tiedonhallintaa varten. Yleisimmin käytetty menetelmä elinkaaritutkimuksessa on kansainvälinen LCA-standardi (life cycle assessment), jonka avulla voidaan mitata saman tuotannonalan eri tuotantoketjujen ympäristövaikutuksia, ja tämän tiedon pohjalta kuluttaja voi valita ympäristöä vähiten kuormittavan tuotteen. Junkkarin ja Sirkan tutkimuksen tavoitteena oli laatia tietokeskeinen tietomalli täsmällisten tutkimustulosten saamiseksi, sillä aiemmat elinkaaritutkimusmenetelmät perustuivat tuotantoketjussa esiintyvien päästöjen ja resurssien keskiarvolaskelmiin. Sirkka [2012] mainitsee esimerkkinä metsäteollisuuden tuotantoketjussa suurimman osan päästöistä aiheutuvan tukkipuiden kuljetuksesta, jonka osalta ELDC:n (European Reference Life Cycle Data System) käyttämä keskiarvo vuonna 2002 oli 144 km, vaikka kuljetusetäisyydet saattoivat vaihdella muutamista kilometreistä aina tuhansiin kilometreihin. Tuotantoketjujen dynaaminen luonne, tarkoittaen keskenään samanlaisten tuotteiden tuotantoketjujen eroavan toisistaan merkittävästi, aiheuttaa siis haasteita elinkaaritutkimuksessa [Junkkari and Sirkka 2011].

Yksi Sirkan [2012] määrittämistä tutkimusongelmista oli miten mallintaa olion elinkaari tilanteessa, jossa olion ja olion identiteetti saattavat muuttua sen elinkaaren eri jalostusvaiheiden aikana. Tämän ongelman ratkaisemiseksi Junkkari ja Sirkka [2011] kehittivät seurattavuusgraafin, joka on prosessisolmuista ja muutoskaarista koostuva graafi, jonka avulla voidaan seurata prosessiin liittyviä tietojoukkoja, ja seurata sekä tallentaa tietojoukkoihin kohdistuvat muutokset graafin muutoskaarissa. Seurattavuusgraafi on tietokeskeinen tietovuomalli, jonka avulla voidaan tutkia, kuinka tieto muuttuu prosessista toiseen siirryttäessä ja mitkä prosessin entiteeteistä lähettävät ja mitkä vastaanottavat dataa. Tietokeskeisen tietovuon päätavoite on esittää tietovuon tietojoukot, joten tietokeskeiseen tietovuohon on sisällytettävä tietomalli tiedon tallennusta ja muokkaamista varten [Sirkka 2012].

Seurattavuusgraafin avulla oli tarkoitus siis määrittää metsäteollisuuden tuotantoketjussa aiheutuvat päästöt, mutta myös laskea metsäteollisuuden raaka-ainehävikin osuus, jonka arvoksi Björk *et al.* [2011] mukaan Euroopassa on arvioitu vuositasolla noin viisi miljardia euroa. Seurattavuusjärjestelmän kautta saatiin määritettyä yhteys fyysisten olioiden ja ”virtuaalisten” olioiden, eli jalostuksen aikana syntyneen hukkamateriaalin välille [Sirkka 2012]. Termiä tuotantoketju käytettiin seurattavuusgraafin viitekehyksessä niiden prosessien määrittämisessä, jotka

vaikuttavat suorasti tai epäsuorasti lopputuotteen jalostukseen. Tuotantoketju tässä yhteydessä vastaa tietovuokaaviokokonaisuuden suunnattua aligraafia. Seurattavuusgraafin avulla on mahdollista tarkastella ympäristövaikutuksiin liittyviä tietoja tiedonhallinnan näkökulmasta, ja malli on määriteltävissä halutulle tarkkuudelle. Formaalin luonteensa vuoksi sitä voidaan soveltaa myös muiden tuotannonalojen tuotanto- ja toimitusketjuihin.

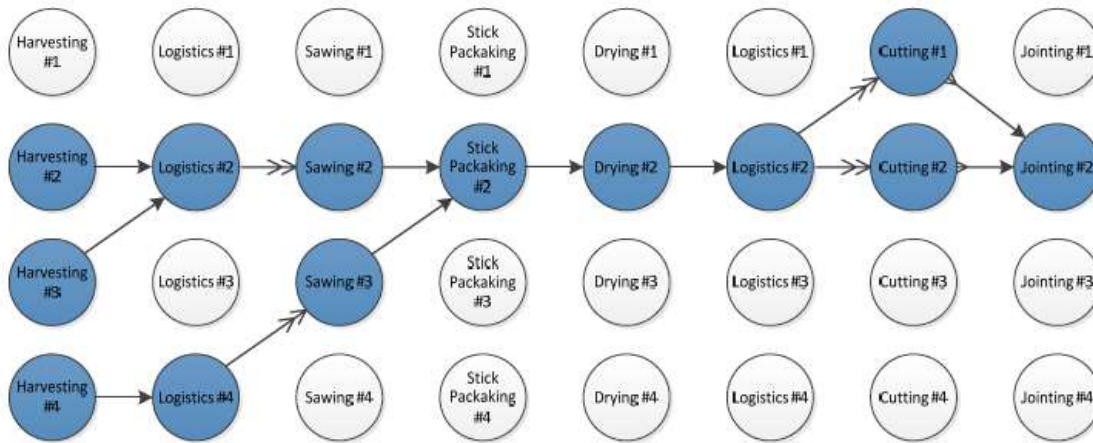
Seurattavuuden edellytyksenä oli tuotantoketjun entiteettien, eli sen tuotteiden ja raaka-aineiden identifiointi, joka toteutettiin käytännön tasolla RFID-tekniikan avulla, mikä mahdollisti automaattisen identifiointin. Laadittu malli kattaa tuotantoketjun seurattavuuden aina puiden hakkuusta, niiden kuljetuksen kautta sahaukseen ja myöhempään jatkojalostukseen lopputuotteiksi asti. Identifiointin automaation kautta tuotteiden seuranta on mahdollista tehdä reaaliaikaisesti. Seurattavuusgraafista saatu tieto talletettiin analysointia varten OLAP-tyyppiseen, kolmiulotteiseen tietokantoihin, jossa kuution y-akseli käsitti prosessien tiedot, x-akseli olioiden tiedot ja z-akseli aikataulut. [Sirkka and Junkkari 2012]

4.1. Tutkimuksessa mallinnettu tuotantoketju

Seurattavuusgraafimalli laadittiin metsäteollisuuden tuotantoketjun pohjalta, joka koostui kuudesta peräkkäisestä prosessista: puiden hakkuusta, sahauksesta, sahattujen rimojen pakkauksesta, kuivauksesta, leikkaamisesta ja rimojen yhdistämisestä. Prosessien välille saattoi myös liittyä osien ja materiaalien kuljetukseen liittyviä logistiikkaprosesseja. Seurattavuusgraafin avulla voitiin yhdistää tuotteiden tuotantoketjun läpi kulkevien raaka-aineiden ja valmisteiden tiedot tuotantoketjun prosessien tietoihin. Seurattavuusgraafi teki siis mahdolliseksi tuotteiden ominaisuuksien tallentamisen liittyen niihin prosesseihin, jossa tuotetta käsitellään. Tämän tietomallin avulla toiminnanohjaus oli siten mahdollista yksittäisten tuotteiden tasolla yleisesti käytäntönä olevan yrityskohtaisen raportointitavan sijaan. [Sirkka 2012]

Kuvassa 10 esitetyssä graafissa esitellään tuotantoketjun prosessit, ja korostettuna esimerkki lopputuotteeseen johtavista prosesseista. Tuotantoketjun kahdessa ensimmäisessä prosessissa, hakkuussa ja kuljetuksessa, materiaalit siirtyvät prosessien välillä muuttumattomana, mikä on havainnollistettu yksinkertaisella nuolella. Sen sijaan kuljetuksen ja sahauksen välisessä muutoksessa kaadetut tukkipuut sahataan osiin, jota kuvataan kaksinkertaisella kärjellä merkityllä nuolella. Sahausprosessin jälkeen materiaalit siirtyvät edelleen sellaisinaan pakkauksen ja kuivauksen kautta kuljetusprosessiin, jossa materiaalit siirretään leikattavaksi, jonka jälkeen leikatut rimat

liimataan toisiinsa liitosprosessissa. Materiaalien yhdistäminen ennen viimeisintä liitosprosessia on kuvattu graafissa nuolella, jonka juuri on monisäikeinen.



Kuva 10. Tutkimuksessa mallinnettu tuotantoketju [Sirikka 2012, s. 28]

Seurattavuusgraafin avulla tuotantoketjussa esiintyviä olioita voidaan seurata, jolloin prosesseissa olioon liittyvä linkaari-informaatio on liitettävissä olioon seurattavuuden kautta.

4.2. Seurattavuusgraafin rakenne

4.2.1. Seurattavuusgraafin primitiivit

Seurattavuusgraafi on rakenteeltaan solmuista, kaarista ja niihin liittyvistä ominaisuuksista koostuva tietovuomalli. Solmuissa kuvataan tuotantoketjun kukin prosessi ja kaarissa kuvataan prosessien välillä tapahtuva muutos. Seurattavuusgraafin primitiiveistä *olio* vastaa pienintä yksittäistä tuoteyksikköä, joka sellaisenaan voidaan identifioida. Olio voi vastata myös tuote-erää tai valmistusmateriaalia, tuotantoketjuun sovelletusta tarkkuudesta riippuen. Olion lisäksi seurattavuusgraafiin liittyy käsite *tuote-erä* (product portion), joka vastaa tuotejoukkoa tai materiaalmassaa, joka ei ole sellaisenaan identifioitavissa. Tuote-erään liittyy lisäksi suhdeluku, jota käytetään tuote-erään liittyvän prosessisolmun päästöjen ja resurssien laskennassa. [Junkkari and Sirikka 2011]

Solmuun liittyvät *attribuutit* jakautuvat input-, output- ja info-attribuutteihin. Input-attribuutit kuvaavat prosesseissa jalostukseen käytettyjä raaka-aineita ja resursseja. Output-attribuutit kuvaavat jalostuksessa syntyneitä päästöjä ja tuotannossa syntyviä jätteitä. Info-attribuuttia voidaan käyttää muiden attribuuttien kuvaamiseen,

joilla ei ole numeerisia arvoja. Attribuuteilla on kaksi eri tyyppistä arvoa; alkuperäinen arvo liittyen käsiteltävään prosessiin ja kumuloituva arvo, joka lasketaan edeltävissä solmuissa kaarien välillä tapahtuneen muutoksen perusteella. [Junkkari and Sirkka 2011]

Prosessisolmuun liittyviä tietoja ovat siis solmun tunnus, joukko tuote-eriä ja joukko tuote-eriin liittyviä attribuutteja. Kaarien tunnuksena toimii kaaren yhdistämät alku- ja loppusolmut. Kaareen liittyy myös primitiivi *seulottu tuote-erä* (sifted product portion), joka edeltävän solmun jalostustyyppistä riippuen saattaa muodostua vain osasta edeltävän solmun tuote-erän olioista. Seulotun tuote-erän eri jalostusmuodot kuvataan seurattavuusgraafissa *oliokartoituksen* (object mapping) avulla. Nämä muutostyypit jakautuvat ekvivalenssiin, eräjakoon (subsetting), erän yhdistämiseen (supersetting), erotukseen ja kokoonpanoon. Muutostyypeistä kolmessa ensin mainituissa olion identiteetti säilyy alkuperäisessä muodossa. Ekvivalenssissa olion identiteetti säilyy täysin samana, eräjaossa erä olioita jaetaan pienempiin eriin jatkojalostusta varten, ja erän yhdistämisessä useampi olioerä kootaan yhteen jatkojalostusta varten. Erotuksessa taas oliot muuttuvat, jolloin alkuperäinen olio jaetaan moneksi uudeksi olioksi ja kokoonpanossa useammasta oliosta kootaan yksi kokonainen uusi olio. [Junkkari and Sirkka 2011]

Seulottuun tuote-erään liittyy lisäksi primitiivi *johdettu attribuutti* (derived attribute), joka on muutoskaaren määritysten mukaan laskettu attribuutin arvo liittyen seulotun tuote-erän päästöihin tai massaan.

4.2.2. Seurattavuusgraafin formaali esitys

Seurattavuusgraafi on solmuista ja kaarista koostuva graafi, jonka jokaisessa solmussa kuvataan prosessi, ja siihen liittyvät raaka-aineet ja siinä syntyvät kustannukset tai päästöt. Solmuissa esitellään siis joukko attribuutteja ja joukko tarvittavia komponentteja. Kaarissa kuvataan tuotteen osien erotus, kokoonpano ja niiden siirtyminen seuraavaan solmuun. Kaarissa ei siten esitellä uusia raaka-aineita eikä uusia syntyviä kustannuksia tai päästöjä. Kaarissa esiintyy johdettuja attribuutteja, jotka kuvaavat edelliseen tuotteeseen liittyviä osia ja niiden attribuutteja. Kaarissa siirtyvät tuotteen osat ja johdetut attribuutit ovat täten kaarien ominaisuuksia. Seurattavuusgraafin analysoinnissa tarkasteltujen olioiden edeltävillä solmuilla on erityinen merkitys olioiden suhteita graafin muihin olioihin selvitetäessä, sillä niistä voi päätellä olion muutokseen vaikuttavat materiaalit ja osat.

Prosessisolmuun liittyvät tuote-erät kuvataan seurattavuusgraafissa tuplana $\langle P$ -nimi, C , ID -set, $R \rangle$, jossa P -nimi vastaa tuotteen nimeä, C tuotteen määrää, ID -set

joukkoa tuote-erään kuuluvien olioiden tunnuksia ja R osuutta alkuperäisestä tuote-erästä. Esimerkiksi tukkipuu, selluloosamassaksi käytettävä puu ja hakkuusta syntynyt jäte kuvataan seuraavasti:

<PineSawLog, 350 m³, {id1, ..., id1000}, 0.60>
 <PinePulpWood, 200 m³, Ø, 0.30>
 <HarvestingWaste, 20 ton, Ø, 0.10>

Tukkipuusta on kuvattu yllä esitetyssä attribuutissa siis sen tilavuus, yksittäisten tukkien tunnukset, ja identifioitujen tukkipuiden osuus alkuperäisestä erästä. Selluloosaraakapuu ja hakkuujäte taas kuvataan notaatiossa massaksi, ja koska niihin ei liity identifioituja olioita tukkipuiden tapaan, ne merkitään tunnusjoukon sijaan tyhjinä joukkoina. Hakkuujäte lasketaan prosessin tuotteeksi, koska sitä voidaan hyödyntää bioenergian raaka-aineena.

Seurattavuusgraafissa attribuutti on osajoukko <A-nimi, T, V, W>, jossa A-nimi vastaa attribuutin nimeä, T tyyppiä (input, output, info), V attribuutin alkuperäistä arvoa, ja W attribuutin kumuloitunutta arvoa. Arvot saattavat esiintyä myös samoina tietyissä prosesseissa, kuten alla esitetyssä esimerkissä hakkuu-prosessiin liittyvissä input- ja output-attribuuteissa. Graafin esimerkkiattribuuteista voidaan siis nähdä, että kyseisessä solmussa diesel-polttoaineen ja hiilidioksidin määrä ei kumuloidu solmussa, vaan vasta solmua seuraavassa muutoskaudessa, joten alkuperäinen arvo V ja kumuloituva arvo W ovat solmussa samat. Niin ikään info-attribuutin kohdalla V- ja W-arvot ovat keskenään samat, sillä alla esitetyssä solmussa esitellään ainoastaan yhteen tuotantoyritykseen liittyviä tietoja.

<Diesel, input, 100 liters, 100 liters>
 <CO2, output, 300 kg, 300 kg>,
 <CompanyCode, info, {111}, {111}>

Seurattavuusgraafin prosessisolmut koostuvat attribuuttijoukoista, ja prosessisolmu merkitään seurattavuusgraafissa osajoukkona <Nid, N-tyyppi, P-joukko, A-joukko>, jossa Nid vastaa solmun tunnusta, N-tyyppi prosessin tyyppiä (puunkaato, sahaus, liimaus), P-joukko tuote-erien joukkoa ja A-joukko solmuun kuuluvien attribuuttien joukkoa.

<1, Harvesting,
 {<PineSawLog, 350 m³, {id1, ..., id1000}, 0.60>,>

```

<PinePulpWood, 200 m3, , 0.30>
<HarvestingWaste, 20 ton, , 0.30>},
{<CarbonDioxide, output, 300 kg, 300 kg>,
<Diesel, input, 100 liters, 100 liters>,
<CompanyCode, info, {111}, {111}>},
<Location, info, {lat 62.87 – lon 22.86}, {lat 62.87 – lon 22.86}>>>

```

Prosessisolmut yhdistävät muutoskaaret merkitään seurattavuusgraafissa joukkona $\langle N_S, N_E, SP, D \rangle$, jossa N_S ja N_E vastaavat alku- ja loppusolmun tunnuksia, SP seulottua tuote-erää (sifted product portion) ja D johdettujen attribuuttien (derived attribute) joukkoa.

Alla olevassa esimerkissä prosessisolmujen 1 ja 3 väliin on kuvattuna erotuskaari. Kaaressa kuvataan 10% osuus kaadetuista tukkipuista, jotka siirretään jalostettavaksi sahaussolmuun. Koska puiden hakkuu-solmussa tukkipuiden valmiste-erän osuudeksi jää 60%, input- ja output-attribuuttien osuus kerrotaan näiden osuuksien perusteella. Näin saadaan määritettyä hiilidioksidin ja dieselin johdettujen attribuuttien arvoksi $300 \times 0,1 \times 0,6 = 18$ ja $100 \times 0,6 \times 0,1 = 6$.

```

<1, 3, <PineSawLog, 35 m3, {<id1, {id3000, id4000, id4001, id4002, id4003}>, <id2,
{id3001, id4004, id4005, id4006, id4007}>, <id3, {id3002, id4008, id4009,
id4010, id4011}>, ..., <id100, {...}>}, 0.1>,
{<CarbonDioxide, output, 18 kg>,
<Diesel, input, 6 liters>,
<CompanyCode, info {111}>>>

```

Kokonainen seurattavuusgraafi on siis prosessisolmujen ja muutoskaarien joukoista muodostunut joukko $\langle N\text{-Set}, E\text{-Set} \rangle$. Seurattavuusgraafin tarkempi formaali kuvaus on esitetty Junkkarin ja Sirkan tutkimuksessa [2011]. Seuraavaksi tarkastellaan seurattavuusgraafin soveltuvuutta kokoonpanoteollisuudessa. Tässä yhteydessä tietovuomallia muokataan vastaamaan paremmin kokoonpanoprosessiin liittyviä vaatimuksia.

5. Seurattavuusgraafin soveltaminen kokoonpanomalliin

Tutkimuksen kokoonpanomalli on seurattavuusgraafissa mallinnuksen kannalta huomattavasti Junkkarin ja Sirkan tutkimuskohdetta yksinkertaisempi. Kokoonpano koostuu tietyistä määrästä osittain identtisistä ja määrämittäisistä kokoonpanon osista, jotka liitetään ensimmäisessä prosessissa toisiinsa, ja ensimmäistä prosessia seuraavissa prosesseissa edellisessä prosessissa koottuun osakokoonpanoon. Koska tutkimuksen kokoonpanossa ei ole tarvetta osien muokkaukseen, seurattavuusgraafin rakenne on Junkkarin ja Sirkan [2011] kehittämää seurattavuusgraafia yksinkertaisempi, eikä olioihin kohdistuvaa identiteettimuunnosta ole tarvetta mallintaa graafin kaariin. Pääsääntöisesti kokoonpanomallissa kokoonpanon osat ja osakokoonpanot siirtyvät siis sellaisinaan solmusta toiseen.

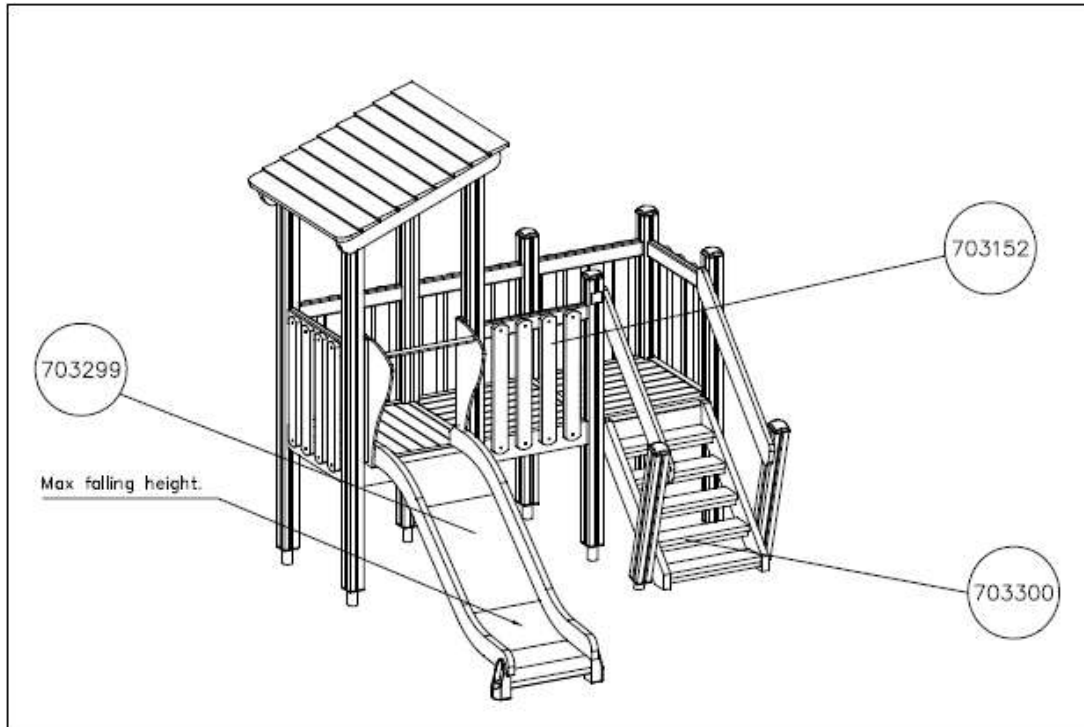
Kokoonpanon tietokeskeisessä mallintamisessa seurattavuuden kannalta yksi olennaisista attribuuteista on kokoonpanon osien massa ja massojen kumuloituminen valmistusmateriaaleittain jaoteltuna. Tätä tietoa voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi materiaalien kierrätyksen kohdalla. Toinen olennainen attribuutti on kokoonpanoaika, jota seuraamalla voidaan johtaa yksittäisen osan kokoonpanoajan perusteella kokoonpanon prosesseihin kuluva aika, ja attribuuttien kumuloituvien aika-arvojen perusteella voidaan johtaa lopulta valmiin kokoonpanon kokoamiseen kuluva aika alkuvaiheesta valmiiseen kokoonpanoon asti. Seurattavuutta voidaan hyödyntää kokoonpanon kokoamisohjeisiin kohdistamalla tiedonhaku info-attribuutteihin.

5.1. Seurattavuusgraafin informaali esitys

Tässä tutkimuksessa seurattavuusgraafia on sovellettu Lappset Oy:n ”Clover Tower” -kiipeilytelineeseen. Telineen osat jakautuvat materiaaleiltaan puuhun, metalliin ja muoviin. Valmiiksi koottu teline on esitetty kuvassa 11. Seurattavuusgraafin eri vaiheissa voidaan tarkastella materiaalin jakautumista eri kokoonpanovaiheiden aikana, kokoonpanon identtisten osien kumuloitumista niiden lukumäärän sekä kokoonpanoprosesseissa käytettyjen materiaalien osalta.

Kokoonpanoon pääsääntöisesti liittyvä erityispiirre on kokoonpanon osien käyttäminen sellaisinaan, eli osia ei ole tarpeellista muokata. Näin ollen kokoonpanon tietomallin oliot säilyvät ja siirtyvät kokoonpanon prosessista toiseen alkuperäisessä muodossaan. Kokoonpanon osat ovat lisäksi määrämittäisiä, ja ne on liitettävä kokoonpanon muihin osiin tietyssä, kokoonpanon ohjeisiin määritetyssä järjestyksessä.

Kokoonpanolle ominaista on myös osaprosessien ja niissä esiintyvien tehtävien toistuvuus, joka voidaan tietyissä tapauksissa kuvata iteraatorakenteen avulla.



Kuva 11. Lappset "Clover Tower" -kiipeilyteline valmiiksi koottuna kokoonpanona.
© Lappset.

Seurattavuusgraafin avulla voidaan mallintaa lopputuotteeseen johtavia tuotantoprosesseja ja välituotteisiin liittyviä tietoja. Seurattavuusgraafin kautta voidaan näin seurata välituotteisiin liittyviä muutoksia. Tuotantoprosessissa tuote saatetaan koota useista osista, kuten tämän tutkimuksen tuotteen kohdalla, tai se voidaan jalostaa useasta eri raakamateriaalista materiaalia leikkaamalla, leikatut osat yhdistämällä ja materiaalia muokkaamalla. Seurattavuusgraafin avulla voidaan myös määrittää prosessien ominaisuudet prosesseissa käsitellyille välituotteille. Seuraavaksi esitellään seurattavuusgraafin primitiivit, seurattavuusgraafin graafinen esitys ja seurattavuusgraafiin sovellettava esimerkitapaus.

5.1.1. Seurattavuusgraafin primitiivit

Seurattavuusgraafi koostuu solmuista ja solmut yhdistävistä kaarista, ja niihin liittyvistä ominaisuuksista. Solmut kuvaavat prosesseja ja kaaret prosessien välistä tietovuota eli prosessien välillä tapahtuvaa muutosta. [Junkkari and Sirkka 2011] Kokoonpanossa tämä tarkoittaa kokoonpanon prosessiin liittyvien osien esittelyä solmuissa, jotka sitten kootaan yhteen solmua seuraavassa kaassa, ja koottu osakokoonpano esitellään uusien osien lisäksi seuraavassa solmussa.

Solmuihin ja kaariin liittyy lisäksi primitiivejä, jotka ilmenevät tässä tutkimuksessa kahdella eri tasolla: seurattavuusgraafi seuraa kokoonpanon prosesseja fyysisellä tasolla, ja kokoonpanon ohjeistus seuraa kokoonpanoa loogisella tasolla, toimien ohjeistuksena kokoonpanon kokoamiseksi.

Seurattavuusgraafissa tuotteita ja tuotteen osia, jotka ilmenevät fyysisellä ja loogisella tasolla kutsutaan olioiksi. Fyysisellä tasolla oliot identifioidaan niiden tuotenumeron perusteella, esimerkiksi ”909511”, ja loogisella tasolla olioita kuvataan abstrakteina kokoonpanon osina ”P1650” tai ”A-Torni”. Junkkarin ja Sirkkan [2011] tutkimuksesta poiketen, tässä tutkimuksessa ei ole tarvetta tuote-erän osien identifioimiselle, koska kokoonpanon osat ovat yksilöityjä ja samalla tuotenumerolla merkityt osat ovat keskenään identtisiä. Tässä tutkimuksessa ei myöskään ole tarve Sirkkan ja Junkkarin tutkimuksessa käytettyihin ekvivalenssi- ja erotusidentiteetti muutoksen kuvaamiseen, sillä kokoonpanon osat ovat määrämittäisiä ja siirtyvät sellaisenaan kaavion solmusta seuraavaan solmuun. Kokoonpanomallissa seurattavuusgraafin primitiivejä sovelletaan seuraavasti:

- *olio* vastaa fyysistä kokoonpanon osaa seurattavuusgraafissa. Kokoonpanon kohdalla olio viittaa oliotyyppiin, esimerkiksi ”ruuvi”, ”tolppa” jne. Oliolle on ominaista, että se on voitava identifioida. Näin ollen kokoonpanon

osakokoonpanot ei täytä olion määritelmää, vaan niihin viitataan abstraktilla tasolla olioiden muodostamaan joukkoon, esimerkiksi ”A-torni”.

- *prosessi* viittaa seurattavuusgraafissa graafin solmuun. Kokoonpanossa prosessilla viitataan graafin solmussa koottavan kokoonpanon osan ohjeistukseen
- *attribuutit* jakautuvat seurattavuusgraafissa input-, output- ja info-attribuutteihin. Input-attribuutilla viitataan seurattavuusgraafissa prosessiin liitettäviin materiaaleihin tai välituotteisiin ja kokoonpanossa input-attribuuttina toimii kokoonpanoon tulevat komponentit ja niiden tiedot. Output-attribuutteja seurattavuusgraafissa ovat prosessissa syntyneet tuotteet, jotka mitataan komponenttien materiaalien massana. Kokoonpanon puolella output-attribuutteja vastaa prosesseissa syntyneet välikokoonpanot. Info-attribuutteina seurattavuusgraafissa kuvataan kokoamisohjeet.

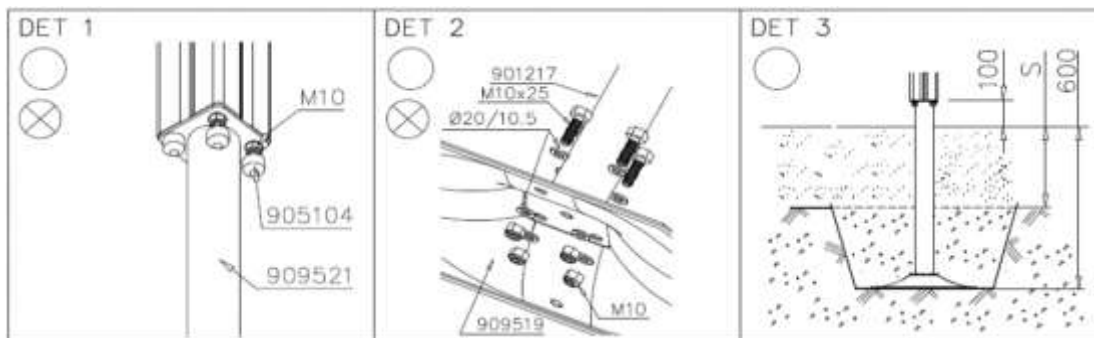
Seurattavuusgraafissa attribuutti kuvaa prosessiin liittyvää informaatiota. Seurattavuusgraafissa käytetään kolmea eri tyyppistä attribuuttia:

1. Input-attribuutti: esimerkkitapauksessa input-attribuutti kuvaa graafin kaarissa seuraavaan solmuun siirtyviä tuotteen osien massa-arvoja, joiden avulla voidaan määrittää seurattavuusgraafin kunkin solmuun liittyvät resurssit ja kokoonpanon kiinnikeosien kokoonpanoajan arvoja.
2. Output-attribuutti: esimerkkitapauksessa output-attribuutti kuvaa graafin solmusta siirtyvien tuotteen osien massa-arvoja ja prosessiin kuluneen kokoamisajan arvoja, joiden avulla voidaan määrittää seurattavuusgraafin kaarista seuraavaan solmuun eli kokoonpanon vaiheeseen siirtyvät resurssit.
3. Info-attribuutti: esimerkkitapauksessa info-attribuutti kuvaa kokoonpanon työvaiheeseen liittyvää ohjeistusta kokoonpanon kokoamista varten. Info-attribuuttien arvojen yhdisteestä muodostuu kokoonpanon kokoamisohje.

Attribuuttiin liittyy kaksi arvoa: alkuperäinen arvo, joka liittyy tarkasteltavaan prosessiin ja niin sanottu kumuloituvaa arvo, joka liittyy tarkasteltavaa prosessia edeltävän prosessien kokoonpanon osien yhdistelmään. Kumuloituvaa arvo on aiemman prosessin olioista johdettua tietoa. Kumuloituvan arvon määritelmä esitellään luvussa 5.2. Seuraavaksi esitetään attribuutin määritelmä.

Esimerkkitaapauksessa attribuutit jakautuvat kolmeen eri materiaaliin; puu, metalli ja muovi, joiden lisäksi kokoonpanon kiinnikeosiin liittyy kokoonpanoajaa, joiden kumuloituvaa arvo esitetään materiaalien tavoin output-attribuuttina jokaisen prosessin

kohdalla. Kokoonpanossa info-attribuuttia vastaa kokoonpanon työvaiheeseen liittyvä ohjeistus, kuten kuvassa 12 esitetty tukipaalujen kokoamisohjeistus.



Kuva 12. Lappset ”Clover Tower” –kiipeilytelineen ensimmäiseen kokoonpanoprosessiin liittyvä kokoamisohje. © Lappset

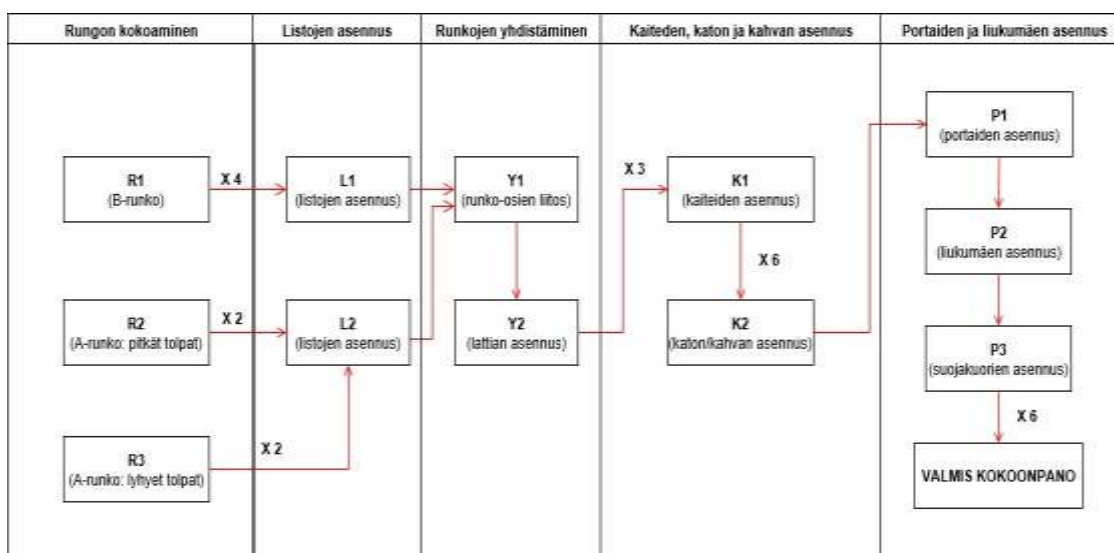
5.1.2. Seurattavuusgraafin notaatio

Seurattavuusgraafin graafinen esitys kuvaa karkealla tasolla graafin prosesseja, jättäen tietokeskeiset primitiivit suurimmilta osin piiloon. Tässä muodossa se kuitenkin antaa kehyksen tiedon siirtymisestä prosessien välillä. Graafissa prosessia kuvaavat graafin solmut ja niiden välistä muutosta solmut yhdistävät kaaret. Toisin kuin Junkkarin ja Sirkan [2011] tutkimuksessa, tämän tutkimuksen kohdalla ei ole tarvetta eritellä kaaria eri lajeihin, koska materiaalit ja niihin liittyvä tieto siirtyy sellaisenaan seuraavaan prosessiin. Kokoonpanon osia ei siis tässä tutkimuksessa käytetyn kokoonpanon kohdalla ole tarvetta jalostaa tai muokata. Junkkarin ja Sirkan [2011] seurattavuusgraafissa kaaret jakautuivat kolmeen eri tyyppiin: yksinkertaiseen kaareen (plain edge), jakokaareen (division edge) ja kokoonpanokaareen (composition edge), materiaalin jalostustavasta riippuen.

5.1.3. Tarkasteltava kokoonpano

Seurattavuusgraafi etenee solmusta toiseen horisontaalisesti solmut yhdistävien yksisuuntaisten kaarien välityksellä, ja rinnakkaiset prosessit ilmenevät graafissa vertikaalisesti, jolloin solmuja ei yhdistetä toisiinsa kaarilla. Prosessit on jaettu eri toimenpiteiden kesken kokoonpanoon liittyvien kokoamisohjeiden pohjalta laaditussa loogisessa järjestyksessä. Graafin alkusolmuissa kootaan kiipeilytelineen pystytolpat, jotka muodostavat telineen perustuksen. Tolppien kokoamista seuraavissa solmuissa tolpat yhdistetään toisiinsa välilautojen liittämisen kautta, jolloin kiipeilytelineen kehikkorakenne on saatu kootuksi. Kehikkoprosessin jälkeen telineeseen kootaan lattiat ja seinäkaiteet, ja seuraavissa prosesseissa telineeseen asennetaan kaiteet, katto ja

kahva. Lopuksi kokoonpanoon asennetaan portaat ja liukumäki ja viimeisessä prosessissa tolppien päihin asennetaan kokoonpanon suojakuoret. Kaarissa, joissa kootaan useita samanlaisia osakokonaisuuksia, on merkintä kokoonpanon iteraatiokertoimesta, esimerkiksi kaareen ”R1, L1” liittyvä x4-merkintä. Kuvassa 13 esitettyjä iteraatiokertoimia ei seurattavuusgraafimallissa voida soveltaa enää alkusolmujen jälkeen, sillä iteraatio kohdistuisi graafin rakenteen vuoksi myös kaikkiin aiempien prosessien kokoonpano-osiin.



Kuva 13. Lappset ”Clover Tower” -kiipeilytelineen kokoonpanoprosessit.

Graafin solmuissa esitetään tiedot prosessiin tulevista osista ja osakokonaisuuksista, ja niihin liittyvistä attribuuteista. Graafin kaarissa prosessissa esiteltyt osat liitetään toisiinsa tai edellisessä solmussa jo koottuun osakokonaisuuteen.

Solmuissa esitettyjen osien materiaaliattribuutit perustuvat taulukko 1:ssä esitettyihin tietoihin. Empiirisen aineiston puuttuessa kokoonpanoaika perustuu mielivaltaisesti tehtyyn arvioon, jonka perusteella yhden kiinnikeosan eli pultin tai ruuvin kiinnittämiseen kuluu aikaa noin 30 sekuntia. Myös kokoonpanon osien massojen arvot perustuvat mielivaltaisesti tehtyyn arvioon.

Taulukko 1. Lappset Clover Tower –kiipeilytelineen osien ominaisuustaulukko.

Tuotekoodi	Materiaali	Osatyyppi	Paino (g.)	Kokoonpano-aika (s.)
909637	metalli	mutteri	10	
905104	muovi	holkki	5	
909511	metalli	tolppa	4000	
703327	puu	paalu	6000	
703322	puu	paalu	80000	
703329	puu	paalu	10000	
909639	metalli	pultti	20	30
909638	metalli	prikka	1	
909519	metalli	jalusta	5000	
703337	puu	lauta	500	
909238	metalli	ruuvi	30	30
905051	metalli	prikka	7	
008271	puu	lista	100	
909235	metalli	ruuvi	20	30
980151	metalli	prikka	1	
980101	metalli	ruuvi	7	30
008986	puu	lattiaosa	10000	
703343	puu	lauta	500	
703124	puu	lauta	1000	
900240	metalli	ruuvi	30	30
703136	puu	hirsi	1000	
703137	puu	lauta	500	
703138	puu	lauta	500	
980154	metalli	prikka	7	
909104	metalli	pultti	150	30
909248	metalli	mutteri	15	
905090	metalli	prikka	50	
905115	metalli	prikka	15	
703330	puu	paalu	3500	
703301	puu	portaati	15000	
703304	puu	lauta	2500	
909233	metalli	ruuvi	30	30
909866	metalli	pultti	20	30
980128	metalli	ruuvi	10	30
703298	muovi	liukumäki	20000	
901879	muovi	liitososa	100	
901115	metalli	lenkkipultti	15	30
701927	metalli	tukirauta	500	
901916	metalli	putki	500	
909349	metalli	pultti	40	30
980150	metalli	mutteri	5	
905196	muovi	kuorirunko	30	
905138	muovi	kuorikansi	20	
980131	metalli	ruuvi	25	30

5.2. Seurattavuusgraafin formaali esitys

Aiemmassa luvussa esitelty seurattavuusgraafi [Junkkari and Sirkka 2011] kehitettiin metsäteollisuuden raaka-aineiden ja väljalostustuotteiden elinkaaren seuraamiseksi. Kokoonpanoa mallinnettaessa graafin solmuissa kuvataan kokoonpanon eri prosessit telineen tukipaalujen kokoamisesta lattian ja katteiden asentamisen kautta telineen tolppien suojakuorien asennukseen. Seurattavuusgraafin avulla voidaan siis seurata kussakin prosessissa käytettäviä kokoonpanon osia, osiin liittyvien massa-arvojen ja kokoonpanoaika-arvojen tietojen kumuloitumista, sekä lisäksi osien valmistusmateriaalien kumuloitumista. Nämä esitetään attribuutteina, jotka määritellään seuraavasti:

Määritelmä 1. Attribuutti on tuple $\langle A\text{-nimi}, T, V, W \rangle$, jossa A -nimi on attribuutin nimi, T attribuutin tyyppi (input, output, info), V attribuutin alkuperäinen arvo ja W kumuloituva arvo. Kumuloituvan arvon määritelmä esitetään määritelmässä 5.

Kokoonpanomallissa eri tyyppisillä attribuuteilla voidaan ilmaista:

1. Input-attribuutit: kokoonpanon prosessissa käytetyt kokoonpanon osat ja niiden massa, lukumäärä ja kokoonpanoaika
2. Output-attribuutit: massojen summa materiaaleittain eroteltuna ja kokoonpanoaikojen summa
3. Info-attribuutit: kokoamisohje

Input-attribuutilla voidaan siis esitellä kokoonpanon osa tuplena, joka koostuu osan nimestä, attribuuttityypistä (input), osien lukumäärän alkuperäisestä V -arvosta ja kumuloituvasta W -arvosta. Esimerkiksi attribuutti

$\langle 703327(\text{paalu}), \text{input}, 1, 1 \rangle$

indikoi, että osaa ”703327(paalu)” tarvitaan yksi kappale, eikä sitä ole aikaisemmissa prosesseissa käytetty, koska alkuperäinen arvo ja kumuloituva arvo ovat samat. Kun kyseistä tunnusta vastaavaa osaa ei käytetä tietyssä prosessissa, osaa vastaavan attribuutin V -arvo merkitään seurattavuusgraafissa arvolla 0. Kun kyseisen osan kaikki ilmentymät, eli kaikki tunnusta vastaavat kokoonpanon osat, on käytetty loppuun, osan

tunnus seurattavuusgraafissa merkitään lihavoituneena, jotta voidaan havainnollistaa, ettei kyseistä osaa tarvita enää kokoonpanossa.

Output-attribuutilla voidaan ilmaista esimerkiksi kuinka paljon prosessissa syntyvä tuote sisältää tiettyä materiaalia ja kuinka paljon sitä on kyseisessä prosessissa lisätty.

Esimerkiksi attribuutti

<puu, output, 6000, 6000>

indikoi, että puusia kokoonpanon osia on lisätty 6000 grammaa ja, että puuta ei ole käytetty aikaisemmissa prosesseissa, koska alkuperäinen ja kumuloituva arvo ovat samat. Vastaavasti attribuutilla

<aika, output, 120, 120>

voidaan esittää prosessiin kulunut aika. Esimerkkitapauksessa osien materiaalia, eikä kiinnittämiseen kulunutta aikaa, ole suoraan sisällytetty seurattavuusgraafiin, vaan ne johdetaan osien lukumäärän sekä ominaisuustaulukon perusteella, joka on esitetty Taulukko 1:ssä.

Yllä kuvatuissa attribuuteissa attribuuttien V- ja W-arvot ovat samoja, mikä osoittaa attribuuttien kuvaavan graafin alkusolmuihin liittyvää informaatiota, eli näiden attribuuttien prosessisolmuihin ei liity yhtään sisääntulevaa kaarta. Yleisesti prosessisolmuun liittyy sen identiteetti, työvaiheen nimi, prosessissa syntyvän tuotteen tunnus sekä joukko edellä kuvattuja attribuutteja. Prosessisolmu on määritelty määritelmässä 2.

Määritelmä 2: Kokoonpanosolmu on tuple <Sid, S_tyyppi, Kk_id, A_joukko>, jossa Sid on solmun tunnus, S_tyyppi solmuun liittyvän työvaiheen nimi, Kk_id solmussa koottavan kokoonpanon tunnus ja A_joukko solmuun liittyvien attribuuttien joukko.

Alla on kuvattu kokoonpanon alkusolmu ”Paalujen kokoaminen”. Tuotteen osien joukossa olio ”Paalu” vastaa prosessissa koottavan kokoonpanon osan loogista nimeä ja tunnus P1650 vastaa abstraktilla tasolla yksittäistä tuotteen kokoonpanon osaa, joka on koottu tolpan, jalustan ja paalun yhdistelmästä. R1-prosessissa kootaan yksi tolppa-paalu-jalusta –yhdistelmä, ja kokoonpano toistetaan neljä kertaa solmua seuraavassa muutoskaavassa kuvassa 13 esitetyn kaavion mukaisesti.

Seurattavuusgraafin ensimmäisten solmujen R1, R2 ja R3 kokoonpanojen osat ovat materiaaliltaan joko metallia, puuta tai muovia, joten jokainen materiaaliattribuutti graafin alkusolmuissa saa alkuarvon perustuen input-attribuutteihin ja ominaisuustaulukkoon. Esimerkitapauksen seurattavuusgraafissa ensimmäinen prosessi koostuu kolmesta eri lähtösolmusta, jotka kuvaavat rinnakkaisia prosesseja. Rinnakkaisten prosessien työvaiheet ovat toisistaan riippumattomia, ja niihin liittyvät kokoonpanot voidaan näin ollen koota satunnaisessa järjestyksessä. Tässä esimerkissä kokoonpanojärjestys oletetaan suoritettavan prosessitunnuksen järjestysnumeron perusteella.

Seurattavuusgraafin kolmessa ensimmäisessä prosessisolmussa esitellään kiipeilytelineen paalujen kokoamiseen tarvittavat osat, joista kootaan kolme eri pituista metallitolpasta ja puupaalusta koostuvaa tukipaalua. Alla olevassa seurattavuusgraafin esityksessä output-attribuuttien arvot määrittyy edellä esitetyn ominaisuustaulukon tietojen pohjalta. Esimerkiksi osaa 909639 kuvaava input-attribuutti kasvattaa kokoonpanoaikaa 120 sekuntia ja metallin output-attribuuttia 80 grammaa.

```

<R1, Paalujen kokoaminen, P1650,
  {<909511(tolppa), input 1, 1>,
  <909519(jalusta), input 1, 1>,
  <909639(pultti), input, 4, 4>,
  <909637(mutteri), input, 8, 8>,
  <909638(prikka), input, 8, 8>,
  <703327(paalu), input, 1, 1>,
  <905104(holkki), input, 4, 4>,
  <metalli, output, 9210, 9210>,
  <puu, output, 6000, 6000>,
  <muovi, output, 20, 20>,
  <aika, output, 120, 120>,
  <ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R2, Paalujen kokoaminen, P2550,
  {<909511(tolppa), input, 1, 1>,
  <909519(jalusta), input, 1, 1>,
  <909639(pultti), input, 4, 4>,
  <909637(mutteri), input, 8, 8>,
  <909638(prikka), input, 8, 8>,

```

```

<703329(paalu), input, 1, 1>,
<905104(holkki), input, 4, 4>,
<metalli, output, 9210, 9210 >,
<puu, output, 10000, 10000>,
<muovi, output, 20, 20>,
<aika, output, 120, 120>,
<ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R3, Paalujen kokoaminen, P2250,
{<909511(tolppa), input, 1, 1>,
<909519(jalusta), input, 1, 1>,
<909639(pultti), input, 4, 4>,
<909637(mutteri), input, 8, 8>,
<909638(prikka), input, 8, 8>,
<703322(paalu), input, 1, 1>,
<905104(holkki), input, 4, 4>,
<metalli, output, 9210, 9210>,
<puu, output, 8000, 8000>,
<muovi, output, 20, 20>,
<aika, output, 120, 120>,
<ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

Kuvan 13 mukaan prosessia R1 toistetaan muutoskaareissa ”R1, L1” neljä kertaa ja prosesseja R2 ja R3 muutoskaarissa ”R2, L2” ja ”R3, L2” kaksi kertaa. Toisiaan seuraavat prosessit liitetään siis muutoskaarella, joka määritellään seuraavasti:

Määritelmä 3: Muutoskaari on tuple $\langle S_a, S_l, l_{km}, D \rangle$, joka koostuu kaareen liittyvästä alkusolmusta, ja kaaresta lähtevästä loppusolmusta, siirrettävien osakokonaisuuksien lukumäärästä l_{km} sekä johdettujen attribuuttien joukosta D . Johdetussa attribuutissa $\langle A\text{-nimi}, T, x \rangle \in D$, A -nimi ja T vastaavat attribuuttia solmussa S_a ja x attribuutin kumuloituvaa arvoa (W) kerrottuna lukumäärällä l_{km} .

Muutoskaareissa ”R1, L1” R1-solmun input-attribuuttien tiedot siirtyvät L1-solmuun. Solmun output-attribuutit kuvaavat solmussa abstraktin olion ”P1650” kokoonpanon osien massoja materiaalityypeittäin jakautuneena. Muutoskaareissa kootaan neljä paalua

R1-solmussa esitellyistä kokoonpanon osista. Kokoonpanomallissa iteraatorakenne on mahdollista toteuttaa ainoastaan seurattavuusgraafin alkusolmuissa, koska muutoskaarissa siirtyvät kaikki kokoonpanon osat, jolloin edellisten solmujen osien muodostamat osakokoonpanot tulisivat näin ollen mukaan iteraatioon. Iteraatioiden kautta näin ollen kokoonpanon osien lukumäärät ja solmujen output-attribuutit kumuloituvat samassa suhteessa.

```

<R1, L1, P1650, 4,
  {<909511(tolppa), input, 4>,
  <909519(jalusta), input, 4>,
  <909639(pultti), input, 16>,
  <909637(mutteri), input, 32>,
  <909638(prikka), input, 32>,
  <703327(paalu), input, 4>,
  <905104(holkki), input, 16>,
  <metalli, output, 36840>,
  <puu, output, 24000>,
  <muovi, output, 80>,
  <aika, output, 480>,
  <ohje, info, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

Muutoskaareissa ”R2, L2” L2-solmuun siirtyvät R2-solmussa kootut paalut, ja muutoskaareissa ”R3, L2” R3-solmussa kootut paalut. Output-attribuuttien arvoista voidaan huomata, että ainoastaan kokoonpanon puusta koostuvat osat ovat kooltaan ja siten massoiltaan eroavia eri solmuissa ja muut osat ovat arvoiltaan keskenään identtisiä. ”R2, L2”- ja ”R3, L2”-kaarien yhteenlasketut output-arvot vastaavat siten ”R1, L1”-kaaren arvoja metallin ja muovin sekä kokoonpanoajan osalta.

```

<R2, L2, P2550, 2,
  {<909511(tolppa), input, 2>,
  <909519(jalusta), input, 2>,
  <909639(pultti), input, 8>,
  <909637(mutteri), input, 16>,
  <909638(prikka), input, 16>,
  <703329(paalu), input, 2>,
  <905104(holkki), input, 8>,

```

```

<metalli, output, 18420>,
<puu, output, 20000>,
<muovi, output, 40>,
<aika, output, 240>,
<ohje, info, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R3, L2, P2250, 2,
{<909511(tolppa), input, 2>,
<909519(jalusta), input, 2>,
<909639(pultti), input, 8>,
<909637(mutteri), input, 16>,
<909638(prikka), input, 16>,
<703322(paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 8>,
<metalli, output, 18420>,
<puu, output, 16000>,
<muovi, output, 40>,
<aika, output, 240>,
<ohje, info, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

Seurattavuusgraafista on esitelty tässä vaiheessa kolme alkusolmua, R1, R2 ja R3, joita seuraavat rinnakkaiset solmut L1 ja L2. Koska muutoskaaren kuvaamiseksi vaaditaan sekä alku- että loppusolmu, esitellään seuraavaksi seurattavuusgraafin solmut L1 ja L2. Solmussa L1 yhdistetään neljä kappaletta solmussa R1 koottuja paaluja solmuun lisättävien osien avulla ja solmussa L2 yhdistetään solmuissa R2 ja R3 kootut paalut. Alkusolmuja seuraavissa solmuissa, kokoonpanoon liitettyjen osien attribuutit, joiden identtisiä osia ei kokoonpanoon liitetä uusina osina, saavat V-arvokseen 0. Solmujen output-attribuuteissa merkitään ensimmäisen kaaren kautta siirtyneet kumuloituvat arvot kunkin materiaalin osalta, ja lisäksi solmuun liitettyjen uusien osien arvot materiaaleittain. Näin ollen voidaan havaita, että tässä vaiheessa kokoonpanoon ei lisätä uusia muoviosia, joten muovin output-attribuutin V-attribuutti saa arvokseen solmuissa L1 ja L2 nolla.

Seurattavuusgraafin seuraavissa solmuissa L1 ja L2 osien 909238 ja 905051 attribuuttien kumuloituvat arvot on esitetty lihavoituina ja kursivoituina, koska kyseisiä

osia käytetään useissa kokoonpanon eri vaiheissa, joten arvot kumuloituvat graafin useassa eri solmussa. Kumuloituva arvo "W" määritellään seuraavasti:

Määritelmä 4. Olkoon $\langle A\text{-nimi}, T_1, V, W \rangle$ solmun S attribuutti ja $J = \{ \langle A_1, T_1, x_1 \rangle, \dots, \langle A_n, T_n, x_n \rangle \}$ joukko johdettuja attribuutteja muutoskaarista $\langle S_a, S, lkm, D \rangle$ siten, että $\forall i (i \in \{1, \dots, n\}) A_i = A\text{-nimi}$. Kumuloituva arvo $W = V + x_1 + \dots + x_n$.

Output-attribuutin kumuloituminen tässä vaiheessa seurattavuusgraafia voidaan huomata attribuutin "puu" kohdalla, kun kyseisen attribuutin arvo alkusolmussa R1 on

$\langle \text{puu}, \text{output}, 6000, 6000 \rangle$

output-attribuutin arvo kumuloituu iteraatorakenteen sisältävässä kaassa "R1, L1" nelinkertaiseksi massan kumuloituessa 24 000 grammaan, ja seuraavaksi esiteltävässä L1-solmussa vastaava output-attribuutti esittää muodossa

$\langle \text{puu}, \text{output}, 2000, 26000 \rangle$

josta voidaan huomata, että L1-solmussa lisätään puuosia 2000 gramman verran, puun kokonaismassan arvon kumuloituessa 26 000 grammaan.

Jotta seurattavuusgraafista voidaan havainnollistaa kokoonpanon osat, jotka on jo lisätty kokoonpanoon eikä niitä kokoonpanossa tulla enää käyttämään, kuvataan nämä attribuutit graafissa lihavoimalla attribuutin tunnus. Esimerkiksi solmua "L1" edeltävässä muutoskaassa on kokoonpanoon liitetty kaikki tunnusta "703327" vastaavat paalut, joten kyseisen osan attribuutin tunnus on esitetty lihavoituna, ja vastaavasti solmussa "L2" on lihavoitu paalujen "703329" ja "703322" tunnuksat, koska vastaavia osia ei kokoonpanoon tulla enää liittämään. Osien 909238 ja 905051 attribuuttien kumuloituvat arvot on esitetty lihavoituina ja kursivoituina kumuloituvien arvojen muutoksen havainnoimiseksi.

$\langle L1, \text{välilautojen asennus, B-Torni},$
 $\{ \langle 909511(\text{tolppa}), \text{input}, 0, 4 \rangle,$
 $\langle 909519(\text{jalusta}), \text{input}, 0, 4 \rangle,$
 $\langle 909639(\text{pultti}), \text{input}, 0, 16 \rangle,$
 $\langle 909637(\text{mutteri}), \text{input}, 0, 32 \rangle,$
 $\langle 909638(\text{prikka}), \text{input}, 0, 32 \rangle,$
 $\langle \mathbf{703327(\text{paalu})}, \text{input}, 0, 4 \rangle,$

```

<905104(holkki), input, 0, 16>,
<703337(lauta), input, 4, 4>,
<909238(ruuvi), input, 16, 16>,
<905051(prikka), input, 16, 16>,
<metalli, output, 592, 37432>,
<puu, output, 8000, 32000>,
<muovi, output, 0, 80>,
<aika, output, 480, 960>,
<ohje, info, {BoomsDet1, BoomsDet2},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>}
>

```

```

<L2, välilautojen asennus, A-Torni,
{<909511(tolppa), input, 0, 4>,
<909519(jalusta), input, 0, 4>,
<909639(pultti), input, 0, 16>,
<909637(mutteri), input, 0, 32>,
<909638(prikka), input, 0, 32>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 16>,
<703337(lauta), input, 4, 4>,
<909238(ruuvi), input, 16, 16>,
<905051(prikka), input, 16, 16>,
<metalli, output, 592, 37432>,
<puu, output, 8000, 44000>,
<muovi, output, 0, 80>,
<aika, output, 480, 960>,
<ohje, info, {BoomsDet1, BoomsDet2},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>}
>

```

Kaarissa ”L1, Y1” ja ”L2, Y1” R1-solmuissa kootut paalut pysyvät vielä erillään R2- ja R3-solmujen paaluista, eivätkä näin ollen vielä lukeudu osaksi samaa joukkoa. Solmuihin lisätyt uudet kokoonpanon osat on merkitty harmaalla värikoodilla, jotta ne saadaan erottumaan edellisissä prosesseissa liitetystä osista, sillä kaarissa esitetään pelkästään johdettuja attribuutteja, joita ovat attribuuttien kumuloituvat W-arvot.

<L1, Y1, B-torni, 1
 {<909511(tolppa), input, 4>,
 <909519(jalusta), input, 4>,
 <909639(pultti), input, 16>,
 <909637(mutteri), input, 32>,
 <909638(prikka), input, 32>,
 <703327(paalu), input, 4>,
 <905104(holkki), input, 16>,
 <703337(lauta), input, 4>,
 <909238(ruuvi), input, 16>,
 <905051(prikka), input, 16>,
 <metalli, output, 37432>,
 <puu, output, 32000>,
 <muovi, output, 80>,
 <aika, output, 960>,
 <ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>>
 >

<L2, Y1, A-torni, 1
 {<909511(tolppa), input, 4>,
 <909519(jalusta), input, 4>,
 <909639(pultti), input, 16>,
 <909637(mutteri), input, 32>,
 <909638(prikka), input, 32>,
 <703329(paalu), input, 2>,
 <703322(paalu), input, 2>,
 <905104(holkki), input, 16>,
 <703337(lauta), input, 4>,
 <909238(ruuvi), input, 16>,
 <905051(prikka), input, 16>,
 <metalli, output, 37432>,
 <puu, output, 44000>,
 <muovi, output, 80>,
 <aika, output, 960>,
 <ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>>
 >

Graafin seuraavassa vaiheessa solmussa Y1 solmuissa L1 ja L2 kootut osat, jotka määritetään abstrakteina olioina "A-Torni" ja "B-Torni", yhdistetään toisiinsa. Tässä vaiheessa kokoonpanoa graafin aiemmissa solmuissa kootut osakokoonpanot kootaan yhteen, joten osien lukumäärien W-attribuutin arvot kumuloituvat. Graafissa tarkasteltavien osien 909238 ja 905051 lukumäärien W-attribuutit saavat siis uuden arvon 40, kun aiempaan lukumäärään 32 lisätään kahdeksan uutta identtistä komponenttia solmussa Y1. Tunnusten lihavoinnista voidaan havaita, että paaluja lukuunottamatta prosessiin käytettyjä kokoonpanon osia tullaan käyttämään myös seuraavissa kokoonpanon prosesseissa. Tunnusta 703337 ei voida lihavoida vielä tässä vaiheessa graafia, vaikka osaa ei tarvitakaan kokoonpanon myöhemmissä prosesseissa, sillä osat liitetään osaksi kokoonpanoa vasta solmua seuraavassa muutoskaassa, eikä osa tule näin vielä käytetyksi kokoonpanossa.

```

<Y1, runkojen yhdistäminen, A-Torni, B-Torni,
  {<909511(tolppa), input, 0, 8>,
   <909519(jalusta), input, 0, 8>,
   <909639(pultti), input, 0, 32>,
   <909637(mutteri), input, 0, 64>,
   <909638(prikka), input, 0, 64>,
   <703327(paalu), input, 0, 4>,
   <703329(paalu), input, 0, 2>,
   <703322(paalu), input, 0, 2>,
   <905104(holkki), input, 0, 32>,
   <703337(lauta), input, 2, 10>,
   <909238(ruuvi), input, 8, 40>,
   <905051(prikka), input, 8, 40>,
   <metalli, output, 296, 75160>,
   <puu, output, 4000, 80000>,
   <muovi, output, 0, 160>,
   <aika, output, 240, 2160>,
   <ohje, info, {BoomsDet1, BoomsDet2},
   {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>}
>

```

```

<Y1, Y2, Telinerunko, 1
  {<909511(tolppa), input, 8>,

```

```

<909519(jalusta), input, 8>,
<909639(pultti), input, 32>,
<909637(mutteri), input, 64>,
<909638(prikka), input, 64>,
<703327(paalu), input, 4>,
<703329 (paalu), input, 2>,
<703322 (paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 32>,
<703337(lauta), input, 10>,
<909238(ruuvi), input, 40>,
<905051(prikka), input, 40>,
<metalli, output, 75160>,
<puu, output, 80000>,
<muovi, output, 160>,
<aika, output, 2160>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>
>

```

Kun solmussa Y1 on yhdistetty osat A-Torni ja B-Torni, uusi yhdistelmä kuvataan solmussa Y2 abstraktina oliona ”Telinerunko”. Solmussa liitettävien osien asennuksen jälkeen kiipeilytelineeseen lisätään lattiarakenne, joka on kuvattu seuraavasti. Graafin lihavoitujen attribuuttien tunnuksista voidaan havaita, että tässä vaiheessa kokoonpanon osista vain neljää eri tunnusta vastaavat osat on liitetty koottuun osakokoonpanoon, eikä vastaavia osia enää tulla liittämään osaksi kokoonpanoa. Tässä vaiheessa osa 703337 voidaan merkitä lihavoituna, sillä se on liitetty osaksi kokoonpanoa edeltävässä muutossolmussa. Solmusta on lisäksi lihavoitu niiden osien attribuuttien W-arvot, joita tullaan vielä lisäämään kokoonpanoon tulevilla prosesseilla.

```

<Y2, lattian asennus, Telinerunko,
{<909511(tolppa), input, 0, 8>,
<909519(jalusta), input, 0, 8>,
<909639(pultti), input, 0, 32>,
<909637(mutteri), input, 0, 64>,
<909638(prikka), input, 0, 64>,
<7033327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,

```

```

<905104(holkki), input, 0, 32>,
<703337(lauta), input, 0,10>,
<909238(ruuvi), input, 0, 40>,
<905051(prikka), input, 0, 40>,
<008721(lista), input, 6, 6>,
<008986(lattia), input, 3, 3>,
<980101(ruuvi), input, 24, 24>,
<909235(ruuvi), input, 18, 18>,
<980151(prikka), input, 18, 18>,
<metalli, output, 528, 75688>,
<puu, output, 30600, 110600>,
<muovi, output, 0, 160>,
<aika, output, 1260, 3420>,
<ohje, info, {YDet3},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3}}>
>

```

Tähän mennessä tarkastelun alla olevia komponentteja 909238 ja 905051 on kertynyt 40 kappaletta kumpaakin osaa. Alla kuvatussa otoksessa prosessin K1 input-attribuuteista, voidaan havaita edellä mainittujen osien W-arvojen kasvavan 64:ään kappaleeseen.

```

<703343(lauta), input, 24, 24>,
<703124(lauta), input, 6, 6>,
<900240(ruuvi), input, 48, 48>,
<909238(ruuvi), input, 24, 64>,
<905051(prikka), input, 24, 64>,

```

Prosessissa K2, jossa lisätään kattorakenne kiipeilytelineen runkoon, edellä tarkasteltuja komponentteja ei käytetä kokoonpanoon, mutta Y2-prosessissa kokoonpanoon liitetyn osan 980101 W-attribuutti kasvaa 36:n kappaleen verran 60:een kappaleeseen.

```

<703136(reunalauta), input, 2, 2>,
<703137(kattolauta), input, 8, 8>,
<703138(kattolauta), input, 1, 1>,
<980101(ruuvi), input, 36, 60>,
<980154(prikka), input, 4, 4>,
<909104(pultti), input, 4, 4>,
<909248(mutteri), input, 4, 4>,
<905090(prikka), input, 4, 4>,
<905115(prikka), input, 4, 4>,

```

Kun kiipeilytelineeseen asennetaan porrask rakenne prosessissa P1, aiemmin tarkasteltua kokoonpanon osaa 905051 käytetään prosessissa kahden kappaleen verran. Myös prosessissa K1 käytettyä kokoonpanon osaa 900240 lisätään kokoonpanoon neljä kappaletta. Kokoonpanon porrask rakenne tuetaan paaluilla, jotka koostuvat osittain samoista komponenteista kuin kokoonpanon ensimmäisissä prosesseissa R1, R2 ja R3 kootut paalut. Kokoonpanoon lisätään siten kaksi kappaletta metallijalustaan liitettyjä metallitolppia kiinnitysosineen, sekä muoviholkit, joita lisätään kokoonpanoon kahdeksan kappaleen verran.

<703330(paalu), input, 2, 2>,
 <703301(portaat), input, 1, 1>,
 <703304(lauta), input, 2, 2>,
 <900240(ruuvi), input, 4, **52**>,
 <905051(prikka), input, 2, **66**>,
 <905104(holkki), input, 8, **40**>,
 <909233(ruuvi), input, 2, 2>,
 <909511(tolppa), input, 2, **10**>,
 <909519(jalusta), input, 2, **10**>,
 <909639(pultti), input, 8, **40**>,
 <909637(mutteri), input, 16, **80**>
 <909638(prikka), input, 16, **80**>,
 <909866(pultti), input, 2, 2>,
 <980128(ruuvi), input, 3, 3>

Seuraavaksi siirrytään tarkastelemaan seurattavuusgraafin valmista kokoonpanoa edeltävää prosessia P3. Kyseistä prosessia edeltävät prosessisolmut ja muutoskaaret on esitetty liitteessä 1.

<P3, suojakuorien asennus, Telineerunko liukumäellä,
 {<**909511(tolppa)**, input, 0, **10**>,
 <**909519(jalusta)**, input, 0, **10**>,
 <**909639(pultti)**, input, 0, **40**>,
 <**909637(mutteri)**, input, 0, **80**>,
 <**909638(prikka)**, input, 0, **80**>,
 <**703327(paalu)**, input, 0, 4>,
 <**703329(paalu)**, input, 0, 2>,
 <**703322(paalu)**, input, 0, 2>,
 <**905104(holkki)**, input, 0, **40**>,
 <**703337(lauta)**, input, 0, 10>,
 <**909238(ruuvi)**, input, 0, **64**>,
 <**905051(prikka)**, input, 0, **66**>,
 <**008721(lista)**, input, 0, 6>,

<008986(lattia), input, 0, 3>
 <980101(ruuvi), input, 0, 60>
 <909235(ruuvi), input, 0, 18>
 <980151(prikka), input, 0, 26>
 <703343(lauta), input, 0, 24>
 <703124(lauta), input, 0, 6>
 <900240(ruuvi), input, 0, 52>
 <703136(reunalauta), input, 0, 2>
 <703137(kattolauta), input, 0, 8>
 <703138(kattolauta), input, 0, 1>
 <980154(prikka), input, 0, 12>
 <909104(pultti), input, 0, 4>
 <909248(mutteri), input, 0, 4>
 <905090(prikka), input, 0, 4>
 <905115(prikka), input, 0, 4>
 <703330(paalu), input, 0, 2>
 <703301(portaat), input, 0, 1>
 <703304(lauta), input, 0, 2>
 <909233(ruuvi), input, 0, 2>
 <909866(pultti), input, 0, 2>
 <980128(ruuvi), input, 0, 12>
 <703298(liukumäki), input, 0, 1>
 <901879(liitososa), input, 0, 2>
 <901115(lenkkipultti), 0, 4>
 <701927(tukirauta), input, 0, 2>
 <901916(putki), input, 0, 2>
 <909349(pultti), input, 0, 4>
 <980150(mutteri), input, 0, 8>
 <905196(kuorirunko), input, 6, 6>
 <905138(kuorikansi), input, 6, 6>
 <980131(ruuvi), input, 24, 24>
 <metalli, output, 600, 128110>
 <puu, output, 0, 162100>
 <muovi, output, 300, 20700>
 <aika, output, 720, 8580>
 <ohje, info, {Det8},
 {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},

{KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
 {PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
 {P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}, {Det8}}>
 >

Prosessin P3 solmusta voidaan havaita aiemmissa prosessisolmuissa liitetyt osat, ja osia kuvaavien input-attribuuttien kumuloituvasta W-arvosta voidaan nähdä, kuinka monta kyseistä osaa kokoonpanoon on käytetty. Esimerkiksi ruuvin 980101 lukumäärä on kasvanut aiemmin esitetystä prosessista Y2 prosessiin P3 hypätessä 24:sta 60:een.

Valmista kokoonpanoa kuvaava ”CT”-solmu on esitetty tutkimuksen liiteosassa, sillä siinä ei enää esitellä uusia kokoonpanoon liitettäviä osia, ja solmu vastaa sisällöltään edellistä kokoonpanosolmua ”P3” muuten, paitsi siinä esiteltävien uusien osien attribuuttien ja solmun output-attribuuttien V-arvot on merkitty nolllaksi. Koska seurattavuusgraafi koostuu prosessisolmuista ja solmut yhdistävistä muutoskaareista, kokonainen seurattavuusgraafi määritellään seuraavasti:

Määritelmä 5: Seurattavuusgraafi on tuple, <S-joukko, K-joukko>, missä S-joukko on graafin solmujen joukko ja K-joukko graafin kaarien joukko.

Kokoonpanon useammassa prosessissa käytettävien osien, 909238-ruuvin ja 905051-prikan attribuuteista voidaan nähdä niitä vastaavien attribuuttien arvojen kumuloituminen seurattavuusgraafin aikana seuraavasti: kun osia käytetään ensimmäisen kerran prosessisolmuissa ”L1” ja ”L2” attribuutit kuvataan molemmissa solmuissa

<909238(ruuvi), input, 16, 16>

<905051(prikka), input, 16, 16>

ja prosessisolmuun ”Y1” siirryttyä voidaan havaita, että solmuun on siirtynyt yhteensä 32 kappaletta kyseisiä osia, jonka lisäksi solmussa lisätään molempia osia 8 kappaletta, jolloin attribuutit kuvataan seuraavasti:

<909238(ruuvi), input, 8, 40>

<905051(prikka), input, 8, 40>

Y2-prosessisolmussa kumpaakaan osista ei käytetä, joten ne merkitään graafissa ilman ominaisuustaulukkaan liittyviä aika- ja painoarvoja, sillä arvot eivät vaikuta solmussa kumuloituvien output-attribuuttien arvoihin.

<909238(ruuvi), input, 0, 40>

<905051(prikka), input, 0, 40>

Seuraavassa K1-solmussa kyseisiä osia liitetään jälleen osaksi kokoonpanoa, jolloin osia vastaavien attribuuttien arvot merkitään

<909238(ruuvi), input, 24, 64>

<905051(prikka), input, 24, 64>

P1-solmussa osia vastaavien attribuuttien arvot kasvavat vain 905051-prikan kohdalla, sillä 909238-ruuveja ei kokoonpanossa enää käytetä.

<909238(ruuvi), input, 0, 64>

<905051(prikka), input, 2, 66>

5.3. Seurattavuusgraafin analysointi

Seurattavuusgraafin viimeisestä solmusta voidaan suoraan nähdä kokoonpanoon käytettyjen materiaalien kokonaismäärät sekä kokoonpanoon käytettyjen osien lopullinen lukumäärä. Kokoonpanon kokoamiseen kulunut aika sekunteina selviää niin ikään viimeisen solmun aika-output –attribuutista. Yhteenlasketut sekunnit voidaan muuntaa tunneiksi $8580 / 3600 \approx 2$ ja minuuteiksi jakamalla jakojäännös 60:llä. Eli kokoonpanon kokonaisajaksi tulee näin 2 tuntia 23 minuuttia.

Seurattavuusgraafissa esitetyistä tiedoista voidaan johtaa kyselyjen kautta haluttuja laskelmia, kuten kokoonpanon materiaali jakauma, tiettyjen kokoonpanon osien esiintyminen solmuissa ja tietyn materiaalin osuus solmussa. Loppusolmun output-arvoista voidaan jo suoraan nähdä, kuinka paljon kutakin materiaalia on käytetty kokoonpanoon ja arvot laskemalla yhteen saadaan selville kokoonpanon kokonaismassa.

Kysely 1: Materiaalijakauma kokoonpanon eri vaiheissa

Kokoonpanon materiaalijakauman selvittämällä voidaan varautua kokoonpanon osien lajitteluun mahdollista jatkokäsittelyä ja kierrättämistä varten.

Kokoonpanojen eri prosessien materiaalijakauma saadaan selvitettyä laskemalla yhteen solmujen output-attribuuttien arvot ja vertaamalla kutakin solmussa käytettyä materiaalia yhteenlaskettuun arvoon. Kyselyn tulokseksi saadaan:

P3: metalli: 600g /900g, muovi: 300g/900g

P2: metalli: 29590g / 49790g, muovi: 20200g/49790g

P1: metalli: 18704g/45744g, muovi: 40g/45744g, puu: 27000g/45744g

K2: metalli: 1200g/7700g, puu: 6500g/7700g

K1: metalli 2328g/20328g, puu: 18000g/20328g

Y2: metalli 528g/31128g, puu: 30600g/31128g

Y1: metalli: 296g/4296g, puu: 4000g/4296g

L2/L1: metalli: 592g/8592g, puu: 8000/8592g

R3 x 2: metalli: 18420g/34460g, muovi: 40g/34460g, puu: 16000g/34460g

R2 x 2: metalli: 18420g/38460g, muovi: 40g/38460g, puu 20000g/38460g

R1 x 4: metalli: 36840g/60920g, muovi: 80g/60920g, puu 24000g/60920g

Taulukko 2. Kyselyn 1 tulos taulukkomuodossa, josta voidaan nähdä prosessien materiaalijakaumat.

Prosessi	metalli (g.)	osuus (%)	muovi (g.)	osuus (%)	puu (g.)	osuus (%)
R1 (x 4)	36840	60,5	80	0,1	24000	39,4
R2 (x 2)	18420	47,9	40	0,1	20000	52,0
R3 (x 2)	18420	53,5	40	0,1	16000	46,4
L1	592	6,9	0	0	8000	93,1
L2	592	6,9	0	0	8000	93,1
Y1	296	6,9	0	0	4000	93,1
Y2	528	1,7	0	0	30600	98,3
K1	2328	11,5	0	0	18000	88,5
K2	1200	15,6	0	0	6500	84,4
P1	18704	40,9	40	0,1	27000	59,0
P2	29590	59,4	20200	40,6	0	0
P3	600	66,7	300	33,3	0	0

Kysely 2: Tietyn kokoonpanon osan esiintyminen eri kokoonpanon vaiheissa:

Kokoonpanossa tietyt osat saattavat kuluä käytössä, tai ne voidaan havaita viällisiksi kokoonpanon kokoamisen jälkeen, jolloin kokoonpanon tietyn osan löytyminen kokoonpanosta tulee tarpeelliseksi.

Kun halutaan tietää, missä kokoonpanon vaiheissa on käytetty ruuvia 909238, edetään seurattavuusgraafin viimeisestä solmusta taaksepäin tutkien 909238-tunnuksen V-attribuutin arvoja. Kun V-attribuutin arvo on eri kuin nolla, osaa on käytetty kokoonpanon prosessissa. Kysely päättyy solmussa, jossa osaa tunnuksella 909238 ei enää löydy. Kyselyn tulokseksi saadaan siis solmut, *K1*, *Y1*, *L2* ja *L1*.

Kysely 3: Kokoonpanon prosessit, joissa käytetty muoviosia:

Kokoonpanon materiaalien kierrätyksen kannalta voidaan varautua kierrätettävien materiaalien löytymiseen kokoonpanosta, jolloin kokoonpanon osien löytyminen materiaalien perusteella on tarpeellista.

Kokoonpanon prosessit, joissa on käytetty muovia, saadaan selvitettyä seuraamalla graafia loppusolmusta taaksepäin valiten solmut, joiden muovin output-attribuutin V-arvo on erisuuri kuin 0. Kyselyn tulokseksi saadaan siis solmut, *P3*, *P2*, *P1*, *R3*, *R2* ja *R1*.

Kysely 4: Kokoonpanon prosessiin liittyvän ohjeen löytyminen kokoonpanon osan perusteella

Kokoonpanoissa saattaa esiintyä monimutkaisia prosesseja, joiden kokoamiseen tarvitaan avuksi kokoonpanon prosessiin liittyvä ohjeistus.

Kun halutaan saada selville, miten tietty kokoonpanon osa liitetään osaksi kokoonpanoa, tai miten kokoonpanosta poistetaan tietty osa, etsitään kokoonpanosta haluttu osa kyselyn 2 tapaan ja etsitään löydetyn osan kohdalla info-attribuutin V-arvo. Kyselyyn 2 pohjautuvassa kyselyssä osan 909238 ja prosesseja *K1*, *Y1*, *L2* ja *L1* vastaavat kokoonpanon ohjeet ovat siten, $\{KDet1, KDet2, KDet3\}$ ja $\{BoomsDet1, BoomsDet2\}$.

Kysely 5: Kokoonpanon pitkäkestoisin prosessi

Kokoonpanoissa saattaa esiintyä erityisen työläitä prosesseja, joiden kokoamiseen täytyy varata riittävästi aikaa.

Kun halutaan saada selville kokoonpanon aikaa vievin prosessi, edetään graafia loppusolmusta taaksepäin ja vertaillaan aika-attribuutin V-arvoa edeltävän prosessin aika-attribuutin V-arvoon sekä prosessin W-arvoon, kunnes löydetään prosessien aika-attribuuttien suurin V-arvo. Kysely voidaan päättää tilanteessa, jossa aika-attribuutin W-arvo on pienempi kuin suurin löydetty V-arvo. Kysely palauttaa aika-attribuutin arvon ja prosessin tunnuksen. Kyselyn tuloksena saadaan siis prosessi *K2* ja 2160 sekuntia, joka on minuuteiksi muunnettuna $2160 / 60 = 36$ min.

Näiden esimerkkikyselyjen perusteella voidaan todeta, että seurattavuusgraafin tietojen avulla voidaan johtaa tietoja kokoonpanon osia kuvaavien attribuuttien arvoihin perustuen. Esimerkkitapauksen kokoonpanomalli on suhteellisen yksinkertainen, mutta laajemmassa kokonaisuudessa tiettyä kokoonpanon osaa vastaavan ohjeistuksen löytyminen voi olla käyttäjän kannalta olennaista, jos kokoonpanosta halutaan korvata esimerkiksi kuluneeksi havaittu tai vioittunut osa. Tähän esimerkkitapaukseen voidaan siis hyödyntää kyselyitä 2 ja 4.

Vastaavasti valmistusmateriaaliin perustuen, mahdollisesti ruostuvien osien löytymiseen kokoonpanosta voidaan käyttää soveltuvasti kyselyä 3, jotta voidaan selvittää prosessit, joissa on käytetty metalliosia, ja etsiä näitä osia vastaavat kokoonpano-ohjeet kyselyn 4 perusteella.

6. Yhteenveto

Kuten tutkimuksessa on käynyt ilmi, tiedon seurattavuuden merkittävyys ja seurattavuuden yleistyminen on kasvanut merkittävästi viime aikoina. Erityisesti elintarviketuotannossa ja ravintolakulttuurissa on alkanut yleistyä ”maatilalta lautaselle” –periaate, jossa suositaan luonnonmukaisia ja paikallisia raaka-aineita. Luonnonmukaisuuden ja paikallisuuden todentaminen edellyttää seurattavuusjärjestelmän hyödyntämistä toimitusketjussa, tuotteiden alkuperän ja tuotantomenetelmien todentamiseksi. Suomessa voi myös havaita pakkausmerkinnöistä tila- ja tuote-erätunnuksia, jotta kuluttaja saadaan vakuuttuneeksi elintarvikkeiden laadunvalvonnasta, ja mahdollisten pilaantuneiden tuotteiden kohdalla niiden poisveto helpottuu kauppoihin toimitettujen tuotteiden merkinnän kautta tehostuneen paikantamisen johdosta. Myös teollisen tuotannon vaikutus ilmastonmuutokseen edellyttää seurattavuusjärjestelmien hyödyntämistä yritysten toimitus- ja tuotantoketjujen ympäristövaikutusten riittävän täsmällisessä mittaamisessa, jolloin seurattavuusjärjestelmästä saaduilla tiedoilla voidaan todentaa yrityksen tuotantojen aiheuttamien päästöjen määrä. Seurattavuusjärjestelmiin kerättyjen tietojen perusteella voidaan lisäksi erottautua kilpailijoista muiden samanlaisten tuotteiden markkinoilla.

Seurattavuusgraafin soveltaminen kokoonpanomalliin on osittain ongelmallista Junkkarin ja Sirkan [2011] tutkimuskohteena olleeseen metsäteollisuuden tuotantoketjuun verrattuna, sillä kokoonpanon tietomallissa esiintyviin olioihin ei kohdistu minkäänlaisia muutoksia, vaan kokoonpanon osien tiedot ja osia kuvaavat oliot siirtyvät graafissa solmusta seuraavaan sellaisinaan. Sen sijaan kokoonpanomallissa oliot muuttuvat yksittäisistä olioista olioiden muodostamiksi osajoukoiksi, jotka kuvaavat osakokoonpanoja ja viimeisessä prosessissa valmista kokoonpanoa. Lisäksi kyselyissä kaarien tietoja ei kokoonpanon kohdalla voida hyödyntää Junkkarin ja Sirkan seurattavuusgraafin tavoin, sillä tutkimuksen seurattavuusgraafin notaatiossa kyselyissä tarvittava tieto on esitetty graafin solmuissa. Junkkarin ja Sirkan tutkimukseen verrattuna myös kumuloituvat arvot ja johdetut attribuutit laskutoimituksina yksinkertaisempia, koska tutkimuksen kokoonpanossa kumuloituvat arvot kasvavat jokaisessa graafin kaareissa edeltävään solmuun nähden.

Kierrätettävyyssnäkökohtien lisäksi loppukäyttäjälle hyödyllinen kokoonpanon seurattavuusgraafista saatu tieto on kokoonpanon yksittäisten osien kokoamisajan kumuloitumisen määrittäminen, mistä voidaan johtaa koko kokoonpanon kokoamiseen kuluva aika. Seurattavuusgraafin kohdalla attribuuttien kokoonpanoaika laskettiin koskevan vain kokoonpanon liitososia, sillä on vaikea arvioida, kuinka paljon aikaa kuluu yksittäisten kokoonpanon osien liittämiseen ilman liitososia.

Kokoonpanosta voitaisiin laskea myös valmiin kokoonpanon mitat massan lisäksi, mutta kokoonpanon kohdalla mittojen määrittämisen ongelmalliseksi tekee se, että vain tietyt kokoonpanon osat, ja näitä kuvaavien input-attribuuttien tietyt arvot, kasvattavat kokoonpanon ulkomittoja. Kokoonpanon kasassa pysymiseen liittyvät osat, kuten pultit, ruuvit ja prikot, eivät siten vaikuta kokoonpanossa muuhun, kuin kokoonpanon kokonaisuusmassan kumuloitumiseen. Lisäksi tietyt osat, kuten telineen perustuksen muodostavat paalut, kaivetaan maan alle, ja tämän kaltaiset tehtävät prosesseissa on hankalasti mallinnettavissa seurattavuusgraafissa. Tästä johtuen kokoonpanomallista otettiin mukaan vain kokoonpanon yhteen koottavat osat ja niihin liittyvät tehtävät, ja maapohjan kaivuuseen liittyvät tehtävät jätettiin prosesseissa huomioimatta.

Tutkimuksesta käy ilmi myös iteraatorakenteen soveltuvan heikosti kokoonpanon mallintamiseen seurattavuusgraafin avulla, sillä iteraatio on mahdollista toteuttaa vain alkusolmuja seuraavissa muutoskaarissa. Muussa tapauksessa iteraatio kohdistuu solmussa esiteltyjen uusien osien lisäksi myös jo aiemmin koottuun solmuun siirtyneeseen osakokoonpanoon. Iteraatio voisi olla mahdollista toteuttaa Petri-verkkojen tapaan yksittäiseen solmuun liittyvänä sisäisenä hierarkiarakenteena. Tämän tutkimuksen kokoonpanon kohdalla kokoonpanolle tyypillistä prosessien tai sen alaisten tehtävien toistuvuutta ei kuitenkaan esiinny niin paljoa, että tällainen rakenne olisi tarpeellista toteuttaa. Tutkimuksen kohteena olleessa kokoonpanossa ei myöskään voida soveltaa graafin vertikaalista ulottuvuutta, sillä graafi etenee käytännössä täysin horisontaalisesti. Ainoa vertikaalinen ulottuvuus, joka ilmenee tutkimuksen kokoonpanomallissa, on rinnakkain kootut prosessit, jotka voidaan suorittaa satunnaisessa järjestyksessä.

Seurattavuusgraafin heikkous kokoonpanomalliin sovellettuna on input-attribuuttien määrän lisääntyminen kunkin prosessin jälkeen, joten seurattavuusgraafin tietojen selkeä esitystapa ja sen seurauksena tiedon seurattavuus hankaloituu prosessien edetessä input-attribuutti -joukkojen jatkuvasti kasvaessa. Lisäksi kumuloituvan attribuutin jatkuvasti kasvava arvo ei toteuta Junkkarin ja Sirkan graafissa esiintyvien johdettujen attribuuttien laskennallisia etuja, sillä kokoonpanon osien attribuuttien tiedot voidaan johtaa graafista suhteellisen helposti arvojen summautuessa edellisten solmujen arvoihin. Ilman Junkkarin ja Sirkan tutkimuksen osuus-suhdelukujen edellytettäviä laskutoimituksia, johdettujen attribuuttien arvot ovat suhteellisen helposti pääteltävissä ilman vastaavia laskutoimituksia. Kokoonpanomallin kohdalla kaarien tiedoista ei ole varsinaista hyötyä kyselyissä, sillä kaarissa toistuu edeltävien solmujen tiedot kokoonpanomallin luonteesta ja rakenteesta johtuen, kun kokoonpanon osat ja niiden attribuuttien tiedot siirtyvät seuraavaan solmuun sellaisinaan.

Seurattavuusgraafin soveltuvuus kokoonpanomallissa toteutuu parhaiten output-attribuuttien alkuperäisten ja kumuloituvien arvojen määrittymisessä kokoonpanon eri prosesseissa. Output-attribuuttien V-arvoista voidaan nähdä kokoonpanoon käytettyjen resurssien, eli kokoonpanoajan ja tiettyjen materiaalien määrän, kunkin prosessin kohdalla, ja kumuloituvista W-arvoista tiettyyn prosessiin mennessä käytetyt resurssit. Näin ollen viimeisestä solmusta voidaan suoraan nähdä kokonaiseen kokoonpanoon kuluneet resurssit output-attribuuttien W-arvoista. Lisäksi edellisessä luvussa määriteltyjen kyselyiden perusteella seurattavuusgraafista voidaan johtaa täsmällisempiä tuloksia. Seurattavuusgraafin info-attribuutti mahdollistaa myös tiedonhakuominaisuuden kyselyissä, vaikka tutkimuksen esimerkissä info-attribuutti viittaa saatavilla olevien kokoonpano-ohjeiden tunnuksiin. Info-attribuuttiin voidaan lisäksi liittää esimerkiksi tarvittaviin työkaluihin liittyviä tietoja tai turvamääräyksiä.

Vaikka tutkimuksen kohteena oleva kokoonpano on rakenteeltaan suhteellisen yksinkertainen, ja näin ollen graafiin talletetut tiedot on mahdollista laskea kokoonpanoon liittyvistä tiedoista ilman seurattavuusgraafimallia, voidaan seurattavuusgraafia soveltaa monimutkaisempaan kokoonpanomalliin sen formaalin esitystavan ansiosta. Kokoonpanomallin seurattavuusgraafia voidaan soveltaa esimerkiksi rakennusprojektiin, johon osallistuu useita eri rakennusalan yrityksiä alihankkijoihin, mahdollisesti useista eri maista, jolloin seurattavuusgraafin tietojen avulla voidaan määrittää kuhunkin prosessiin tarvittavat resurssit kuten tarvittavat työntekijät ja työkalut. Lisäksi kuten edellä on mainittu, seurattavuusgraafin info-attribuuttiin on mahdollista liittää tiedonhakutoimintoja. Myös info-attribuuttiin on mahdollista liittää esimerkiksi työkaluihin liittyviä tietoja tai turvamääräyksiä ja kokoonpanon ohjeistuksen sijaan rakennusprojektin pohjapiirroksia. Rakennusprojektia kuvaavaan seurattavuusgraafiin voidaan soveltaa myös Junkkarin ja Sirkan seurattavuusgraafin oliomuutosta, rakennusmateriaalien muokkaukseen perustuen. Junkkarin ja Sirkan seurattavuusgraafin päästöjä aiheuttavat output-attribuutit voidaan myös määrittää kokoonpanomallin seurattavuusgraafiin, vaikka tutkimuksen kokoonpanomallissa ei ympäristöön suoraan vaikuttavia päästöjä synny. Tutkimuksen kokoonpanossa ainoa työvaiheisiin liittyvä energiaa kuvaava input-attribuutti on käytettävien sähkötyökalujen kuluttama sähkö, josta aiheutuu ainoastaan välillisiä päästöjä.

Viiteluettelo

I. Altintas, O. Barney, E. Jaeger-Frank. 2006. Provenance Collection Support in the Kepler Scientific Workflow System. In: *Provenance and Annotation of Data*. Cardiff University, 118 – 132.

R. S. Barga, L. A. Digiampietri. 2006. Automatic Generation of Workflow Provenance. In: *Provenance and Annotation of Data*. Cardiff University, 1 – 9.

A. Bechini, M. G.C.A. Cimino, F. Marcelloni, A. Tomasi. 2007. Patterns and technologies for enabling supply chain traceability through collaborative e-business. *Information and Software Technology* 50, 342–359.

A. Björk, M. Erlandsson, J. Häkli, K. Jaakkola, Å. Nilsson, K. Nummila, V. Puntanen, A. Sirkka. 2011. *Monitoring environmental performance of the forestry supply chain using RFID*. *Computers in Industry* 62(8-9), 830-841.

P. Buneman, A. Chapman, J. Cheney, S. Vansummeren. 2006. A Provenance Model for Manually Curated Data. In: *Provenance and Annotation of Data*. Cardiff University, 162–170.

P. Buneman, S. Khanna, W. Tan. 2001. Why and Where: A Characterization of Data Provenance. University of Pennsylvania, 316-330.

B. Clifford, I. Foster, J. Voeckler, M. Wilde, Y. Zhao. 2007. Tracking provenance in a virtual data grid. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*. John Wiley & Sons Ltd., 565-575.

C. Coff, D. Barling, M. Korthals, T. Nielsen. 2008. Ethical Traceability and Communicating Food. *Springer Science, Business Media B.V.*

P. G. Crandall, C. A. O'Bryan, D. Babu, N. Jarvis, M. L. Davis, M. Buser, B. Adam, J. Marcy, S. C. Ricke. 2013. Whole-chain traceability, is it possible to trace your hamburger to a particular steer, a U. S. perspective. *Meat Science* 95, Elsevier, 137-144.

M. Christopher. 2011. *Logistics & Supply Chain Management, Fourth Edition*. Pearson Education Limited.

C. Dupuy, V. Botta-Genoulaz, A. Guinet. 2004. Batch dispersion model to optimise traceability in food industry. *PRISMa laboratory, Institut National des sciences applique'es de Lyon*.

R. Elmasri, S. B. Navathe. 2011. *Fundamentals of Database Systems, Sixth Edition*. Addison-Wesley.

E. Golan, B. Krissoff, F. Kuchler, L. Calvin, K. Nelson, G. Price. 2004. *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies*. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, Agricultural Economic Report Number 830.

O. C. Z. Gotel, A. C. W. Finkelstein. 1994. An Analysis of the Requirements Traceability Problem. *Imperial College of Science, Technology & Medicine. Department of Computing. London*.

M. H. Jansen-Vullers, C.A. van Dorp, A. J. M. Beulens. 2003. Managing traceability information in manufacture. Eindhoven University of Technology, Faculty of Technology Management, *International Journal of Information Management* 23.

M. H. Jansen-Vullers, J. C. Wortmann, A. J. M. Beulens. 2004. Application of labels to trace material flows in multiechelon supply chains. Eindhoven University of Technology, Faculty of Technology Management.

M. Junkkari, A. Sirkka. 2011. *Formal Definition of Traceability Graph*. Report 3. School of Information Sciences, University of Tampere.

M. Junkkari, A. Sirkka. 2012. *Multidimensional Analysis of Supply Chain Environmental Performance, Sustainable ICTs and Management Systems for Green Computing*. IGI Global, 231-250.

V. Kumar, C. Hallqvist, D. Ekwall. 2017. Developing a Framework for Traceability Implementation in the Textile Supply Chain. *Systems* 5, 33. MDPI.

T. Moe. 1998. Perspectives on traceability in food manufacture. *Trends in Food Science & Technology* 9. Elsevier Science Ltd. 211-214.

L. Moreau, I. Foster. 2006. Provenance and Annotation of Data. *International Provenance and Annotation Workshop*. 4-5.

P. Olsen, M. Borit. 2013. How to define traceability. *Trends in Food Science & Technology* 29. 142-150.

A. Regattieri, M. Gamberi, R. Manzini. 2007. Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering* 81 Elsevier, 347-356.

S. Setboonsarng, J. Sakai, L. Vancura. 2009. Food safety and ICT traceability systems: Lessons from Japan for developing countries. ADBI working paper series, No. 139.

F. Schwägele. 2005. Traceability from a European Perspective. *Meat Science* 71 Elsevier, 164-173.

A. Sirkka. 2012. *Managing Product Life Cycle Data Using Automatic Identification*. Ph. D. Dissertation, School of Information Sciences, University of Tampere.

S. Stranieri, L. Orsi, A. Banterle. 2017. Traceability and risks: an extended transaction cost perspective. *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 22 Issue: 2, 145-159.

W. M. P. van der Aalst. 1998. *The Application of Petri Nets to Workflow Management*. Department of Mathematics and Computing Science, Eindhoven University of Technology.

W. M. P. van der Aalst, K. van Hee. 1997/2002. *Workflow Management: Models, Methods and Systems*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology.

I. Wootten, O. Rana, S. Rajbhandari. 2006. Recording Actor State in Scientific Workflows. In: *Provenance and Annotation of Data*. Cardiff University, 109–117.

EY N:o 178/2002, artikla 18. EU-komission yleinen elintarvikeasetus.

National Research Council. 2000. *Surviving Supply Chain Integration: Strategies for Small Manufacturers*. Washington, DC. The National Academies Press.

Evira 2018

<https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/valvonta/jaljitetavyys/>

(sivu ladattu 15.9.2018)

Lappset Oy 2015

<https://www.lappset.fi/Tuotteet/> (tuote ei enää valikoimassa, aineisto ladattu 7.10.2015)

Logistiikan Maailma

<http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/logistiikka-ja-toimitusketju/>

(sivu ladattu 31.10.2018)

Strategy Train

[http://st.merig.eu/index.php?id=67&L=2&tx_a21glossaryadvancedoutput_pi1\[char\]=t&cHash=cb98b04474](http://st.merig.eu/index.php?id=67&L=2&tx_a21glossaryadvancedoutput_pi1[char]=t&cHash=cb98b04474)

(sivu ladattu 5.11.2018)

Liite 1: Seurattavuusgraafi – Lappset Clover Tower -kokoonpanomalli

```

<R1, Paalujen kokoaminen, P1650,
  {<909511(tolppa), input, 1, 1>,
  <909519(jalusta), input, 1, 1>,
  <909639(pultti), input, 4, 4>,
  <909637(mutteri), input, 8, 8>,
  <909638(prikka), input, 8, 8>,
  <703327(paalu), input, 1, 1>,
  <905104(holkki), input, 4, 4>,
  <metalli, output, 9210, 9210>,
  <puu, output, 6000, 6000>,
  <muovi, output, 20, 20>,
  <aika, output, 120, 120>,
  <ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R2, Paalujen kokoaminen, P2550,
  {<909511(tolppa), input, 1, 1>,
  <909519(jalusta), input, 1, 1>,
  <909639(pultti), input, 4, 4>,
  <909637(mutteri), input, 8, 8>,
  <909638(prikka), input, 8, 8>,
  <703329(paalu), input, 1, 1>,
  <905104(holkki), input, 4, 4>,
  <metalli, output, 9210, 9210 >,
  <puu, output, 10000, 10000>,
  <muovi, output, 20, 20>,
  <aika, output, 120, 120>,
  <ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R3, Paalujen kokoaminen, P2250,
  {<909511(tolppa), input, 1, 1>,
  <909519(jalusta), input, 1, 1>,
  <909639(pultti), input, 4, 4>,
  <909637(mutteri), input, 8, 8>,
  <909638(prikka), input, 8, 8>,
  <703322(paalu), input, 1, 1>,
  <905104(holkki), input, 4, 4>,
  <metalli, output, 9210, 9210>,
  <puu, output, 8000, 8000>,
  <muovi, output, 20, 20>,
  <aika, output, 120, 120>,
  <ohje, info, {RDet1a, RDet1b}, {RDet1a, RDet1b}>}
>

```

```

<R1, L1, P1650, 4,
  {<909511(tolppa), input, 4>,
  <909519(jalusta), input, 4>,
  <909639(pultti), input, 16>,
  <909637(mutteri), input, 32>,
  <909638(prikka), input, 32>,
  <703327(paalu), input, 4>,
  <905104(holkki), input, 16>,
  <metalli, output, 36840>,

```



```

<909639(pultti), input, 0, 16>,
<909637(mutteri), input, 0, 32>,
<909638(prikka), input, 0, 32>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 16>,
<703337(lauta), input, 4, 4>,
<909238(ruuvi), input, 16, 16>,
<905051(prikka), input, 16, 16>,
<metalli, output, 592, 37432>,
<puu, output, 8000, 44000>,
<muovi, output, 0, 80>,
<aika, output, 480, 960>,
<ohje, info, {BoomsDet1, BoomsDet2},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>
>

```

```

<L1, Y1, B-Torni, 1
{<909511(tolppa), input, 4>,
<909519(jalusta), input, 4>,
<909639(pultti), input, 16>,
<909637(mutteri), input, 32>,
<909638(prikka), input, 32>,
<703327(paalu), input, 4>,
<905104(holkki), input, 16>,
<703337(lauta), input, 4>,
<909238(ruuvi), input, 16>,
<905051(prikka), input, 16>,
<metalli, output, 37432>,
<puu, output, 32000>,
<muovi, output, 80>,
<aika, output, 960>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>}
>

```

```

<L2, Y1, A-Torni, 1
{<909511(tolppa), input, 4>,
<909519(jalusta), input, 4>,
<909639(pultti), input, 16>,
<909637(mutteri), input, 32>,
<909638(prikka), input, 32>,
<703329(paalu), input, 2>,
<703322(paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 16>,
<703337(lauta), input, 4>,
<909238(ruuvi), input, 16>,
<905051(prikka), input, 16>,
<metalli, output, 37432>,
<puu, output, 44000>,
<muovi, output, 80>,
<aika, output, 960>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>}
>

```

```

<Y1, runkojen yhdistäminen, A-Torni, B-Torni,
{<909511(tolppa), input, 0, 8>,
<909519(jalusta), input, 0, 8>,
<909639(pultti), input, 0, 32>,

```

```

<909637(mutteri), input, 0, 64>,
<909638(prikka), input, 0, 64>,
<703327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 32>
<703337(lauta), input, 2, 10>,
<909238(ruuvi), input, 8, 40>,
<905051(prikka), input, 8, 40>,
<metalli, output, 296, 75160>,
<puu, output, 4000, 80000>,
<muovi, output, 0, 160>,
<aika, output, 240, 2160>,
<ohje, info, {BoomsDet1, BoomsDet2},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>>
>

```

```

<Y1, Y2, Teline runko, 1
{<909511(tolppa), input, 8>,
<909519(jalusta), input, 8>,
<909639(pultti), input, 32>,
<909637(mutteri), input, 64>,
<909638(prikka), input, 64>,
<703327(paalu), input, 4>,
<703329 (paalu), input, 2>,
<703322 (paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 32>,
<703337(lauta), input, 10>,
<909238(ruuvi), input, 40>,
<905051(prikka), input, 40>,
<metalli, output, 75160>,
<puu, output, 80000>,
<muovi, output, 160>,
<aika, output, 2160>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}}>>
>

```

```

<Y2, lattian asennus, Teline runko,
{<909511(tolppa), input, 0, 8>,
<909519(jalusta), input, 0, 8>,
<909639(pultti), input, 0, 32>,
<909637(mutteri), input, 0, 64>,
<909638(prikka), input, 0, 64>,
<703327(paalu), input, 0, 4>
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 32>,
<703337(lauta), input, 0, 10>,
<909238(ruuvi), input, 0, 40>,
<905051(prikka), input, 0, 40>,
<008721(lista), input, 6, 6>,
<008986(lattia), input, 3, 3>,
<980101(ruuvi), input, 24, 24>,
<909235(ruuvi), input, 18, 18>,
<980151(prikka), input, 18, 18>,
<metalli, output, 528, 75688>,
<puu, output, 30600, 110600>,
<muovi, output, 0, 160>,

```

```

<aika, output, 1260, 3420>,
<ohje, info, {YDet3},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3}}>
>

```

```

<Y2, K1, Telinerunko lattialla, 1
{<909511(tolppa), input, 8>,
<909519(jalusta), input, 8>,
<909639(pultti), input, 32>,
<909637(mutteri), input, 64>,
<909638(prikka), input, 64>,
<703327(paalu), input, 4>,
<703329 (paalu), input, 2>,
<703322 (paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 32>,
<703337(lauta), input, 10>,
<909238(ruuvi), input, 40>,
<905051(prikka), input, 40>,
<008721(lista), input, 6>,
<008986(lattia), input, 3>,
<980101(ruuvi), input, 24>,
<909235(ruuvi), input, 18>,
<980151(prikka), input, 18>,
<metalli, output, 75688>,
<puu, output, 110600>,
<muovi, output, 160>,
<aika, output, 3420>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3}}>}
>

```

```

<K1, kaiteiden asennus, Telinerunko lattialla,
{<909511(tolppa), input, 0, 4>,
<909519(jalusta), input, 0, 4>,
<909639(pultti), input, 0, 32>,
<909637(mutteri), input, 0, 64>,
<909638(prikka), input, 0, 64>,
<703327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 32>,
<703337(lauta), input, 0,10>,
<008721(lista), input, 0, 6>,
<008986(lattia), input, 0, 3>,
<980101(ruuvi), input, 0, 24>,
<909235(ruuvi), input, 0, 18>,
<980151(prikka), input, 0, 18>
<703343(lauta), input, 24, 24>,
<703124(lauta), input, 6, 6>,
<900240(ruuvi), input, 48, 48>,
<909238(ruuvi), input, 24, 64>,
<905051(prikka), input, 24, 64>,
<metalli, output, 2328, 78016>,
<puu, output, 18000, 128600>,
<muovi, output, 0, 160>,
<aika, output, 2160, 5580>,
<ohje, info, {KDet1, KDet2, KDet3},

```

```
{ {RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
{KDet1, KDet2, KDet3} }>
>
```

```
<K1, K2, Telinerunko kaiteilla, 1
{<909511(tolppa), input, 8>,
<909519(jalusta), input, 8>,
<909639(pultti), input, 32>,
<909637(mutteri), input, 64>,
<909638(prikka), input, 64>,
<703327(paalu), input, 4>,
<703329 (paalu), input, 2>,
<703322 (paalu), input, 2>,
<905104(holkki), input, 32>,
<703337(lauta), input, 10>,
<008721(lista), input, 6>,
<008986(lattia), input, 3>,
<980101(ruuvi), input, 24>,
<909235(ruuvi), input, 18>,
<980151(prikka), input, 18>,
<703343(lauta), input, 24>,
<703124(lauta), input, 6>,
<900240(ruuvi), input, 48>,
<909238(ruuvi), input, 64>,
<905051(prikka), input, 64>,
<metalli, output, 78016>,
<puu, output, 128600>,
<muovi, output, 160>,
<aika, output, 5580>,
<ohje, info, { {RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
{KDet1, KDet2, KDet3} }>
>
```

```
<K2, katon ja kahvan asennus, Telinerunko kaiteilla,
{<909511(tolppa), input, 0, 8>,
<909519(jalusta), input, 0, 8>,
<909639(pultti), input, 0, 32>,
<909637(mutteri), input, 0, 64>,
<909638(prikka), input, 0, 64>,
<703327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 32>
<703337(lauta), input, 0, 10>,
<008721(lista), input, 0, 6>,
<008986(lattia), input, 0, 3>,
<909235(ruuvi), input, 0, 18>,
<980151(prikka), input, 0, 18>,
<703343(lauta), input, 0, 24>,
<703124(lauta), input, 0, 6>,
<900240(ruuvi), input, 0,48>,
<909238(ruuvi), input, 0, 64>,
<905051(prikka), input, 0, 64>,
<703136(reunalauta), input, 2, 2>,
<703137(kattolauta), input, 8, 8>,
<703138(kattolauta), input, 1, 1>,
<980101(ruuvi), input, 36, 60>,
<980154(prikka), input, 4, 4>
```

<909104(pultti), input, 4, 4>
 <909248(mutteri), input, 4, 4>
 <905090(prikka), input, 4, 4>
 <905115(prikka), input, 4, 4>
 <metalli, output, 1200, 79216>
 <puu, output, 6500, 135100>
 <muovi, output, 0, 160>
 <aika, output, 1200, 6780>
 <ohje, info, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
 {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
 {KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4}}>
 >

< K2, P1, Telinerunko katolla, 1
 {<909511(tolppa), input, 8>
 <909519(jalusta), input, 8>
 <909639(pultti), input, 32>
 <909637(mutteri), input, 64>
 <909638(prikka), input, 64>
 <703327(paalu), input, 4>
 <703329 (paalu), input, 2>
 <703322 (paalu), input, 2>
 <905104(holkki), input, 32>
 <703337(lauta), input, 10>
 <909238(ruuvi), input, 64>
 <905051(prikka), input, 64>
 <008721(lista), input, 6>
 <008986(lattia), input, 3>
 <980101(ruuvi), input, 60>
 <909235(ruuvi), input, 18>
 <980151(prikka), input, 18>
 <703343(lauta), input, 24>
 <703124(lauta), input, 6>
 <900240(ruuvi), input, 48>
 <703136(reunalauta), input,2>
 <703137(kattolauta), input ,8>
 <703138(kattolauta), input ,1>
 <980154(prikka), input, 4>
 <909104(pultti), input, 4>
 <909248(mutteri), input, 4>
 <905090(prikka), input, 4>
 <905115(prikka), input, 4>
 <metalli, output, 79216>
 <puu, output, 135100>
 <muovi, output, 160>
 <aika, output, 6780>
 <ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
 {KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4}}>
 >

<P1, portaikon asennus, Telinerunko katolla,
 {<703327(paalu), input, 0, 4>
 <703329(paalu), input, 0, 2>
 <703322(paalu), input, 0, 2>
 <703337(lauta), input, 0,10>
 <008721(lista), input, 0, 6>
 <008986(lattia), input, 0, 3>
 <909235(ruuvi), input, 0, 18>

<980151(prikka), input, 0, 18>
 <703343(lauta), input, 0, 24>
 <703124(lauta), input, 0, 6>
 <909238(ruuvi), input, 0, 64>
 <703136(reunalauta), input, 0, 2>
 <703137(kattolauta), input, 0, 8>
 <703138(kattolauta), input, 0, 1>
 <980101(ruuvi), input, 0, 60>
 <980154(prikka), input, 0, 4>
 <909104(pultti), input, 0, 4>
 <909248(mutteri), input, 0, 4>
 <905090(prikka), input, 0, 4>
 <905115(prikka), input, 0, 4>
 <703330(paalu), input, 2, 2>
 <703301(portaat), input, 1, 1>
 <703304(lauta), input, 2, 2>
 <900240(ruuvi), input, 4, 52>
 <905051(prikka), input, 2, 66>
 <905104(holkki), input, 8, 40>
 <909233(ruuvi), input, 2, 2>
 <909511(tolppa), input, 2, 10>
 <909519(jalusta), input, 2, 10>
 <909639(pultti), input, 8, 40>
 <909637(mutteri), input, 16, 80>
 <909638(prikka), input, 16, 80>
 <909866(pultti), input, 2, 2>
 <980128(ruuvi), input, 3, 3>
 <metalli, output, 18704, 97920>
 <puu, output, 27000, 162100>
 <muovi, output, 40, 200>
 <aika, output, 570, 7350>
 <ohje, info, {PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
 {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
 {KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
 {PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8}}>
 >

< P1, P2, Telinerunko portailta, 1
 <909511(tolppa), input, 10>
 <909519(jalusta), input, 10>
 <909639(pultti), input, 40>
 <909637(mutteri), input, 80>
 <909638(prikka), input, 80>
 <703327(paalu), input, 4>
 <703329 (paalu), input, 2>
 <703322 (paalu), input, 2>
 <905104(holkki), input, 40>
 <703337(lauta), input, 10>
 <909238(ruuvi), input, 64>
 <905051(prikka), input, 66>
 <008721(lista), input, 6>
 <008986(lattia), input, 3>
 <909235(ruuvi), input, 18>
 <980151(prikka), input, 18>
 <703343(lauta), input, 24>
 <703124(lauta), input, 6>
 <900240(ruuvi), input, 52>
 <703136(reunalauta), input, 2>,

<703137(kattolauta), input, 8>,
 <703138(kattolauta), input, 1>,
 <980101(ruuvi), input, 60>,
 <980154(prikka), input, 4>,
 <909104(pultti), input, 4>,
 <909248(mutteri), input, 4>,
 <905090(prikka), input, 4>,
 <905115(prikka), input, 4>,
 <703330(paalu), input, 2>,
 <703301(portaat), input, 1>,
 <703304(lauta), input, 2>,
 <909233(ruuvi), input, 2>,
 <909866(pultti), input, 2>,
 <980128(ruuvi), input, 3>,
 <metalli, output, 97920>,
 <puu, output, 162100>,
 <muovi, output, 200>,
 <aika, output, 7350>,
 <ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
 {KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
 {PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8}}>>
 >

<P2, liukumäen asennus, Telinerunko portailla,
 {<909511(tolppa), input, 0, 10>,
 <909519(jalusta), input, 0, 10>,
 <909639(pultti), input, 0, 40>,
 <909637(mutteri), input, 0, 80>,
 <909638(prikka), input, 0, 80>,
 <703327(paalu), input, 0, 4>,
 <703329(paalu), input, 0, 2>,
 <703322(paalu), input, 0, 2>,
 <905104(holkki), input, 0, 40>,
 <703337(lauta), input, 0, 10>,
 <909238(ruuvi), input, 0, 64>,
 <905051(prikka), input, 0, 66>,
 <008721(lista), input, 0, 6>,
 <008986(lattia), input, 0, 3>,
 <980101(ruuvi), input, 0, 60>,
 <909235(ruuvi), input, 0, 18>,
 <703343(lauta), input, 0, 24>,
 <703124(lauta), input, 0, 6>,
 <900240(ruuvi), input, 0, 52>,
 <703136(reunalauta), input, 0, 2>,
 <703137(kattolauta), input, 0, 8>,
 <703138(kattolauta), input, 0, 1>,
 <909104(pultti), input, 0, 4>,
 <909248(mutteri), input, 0, 4>,
 <905090(prikka), input, 0, 4>,
 <905115(prikka), input, 0, 4>,
 <703330(paalu), input, 0, 2>,
 <703301(portaat), input, 0, 1>,
 <703304(lauta), input, 0, 2>,
 <909233(ruuvi), input, 0, 2>,
 <909866(pultti), input, 0, 2>,
 <703298(liukumäki), input, 1, 1>,
 <901879(liitososa), input, 2, 2>,
 <980128(ruuvi), input, 9, 12>,

```

<901115(lenkkipultti), input, 4, 4>,
<701927(tukirauta), input, 2, 2>,
<901916(putki), input, 2, 2>,
<980154(prikka), input, 4, 12>,
<909349(pultti), input, 4, 4>,
<980150(mutteri), input, 8, 8>,
<980151(prikka), input, 8, 26>,
<metalli, output, 29590, 127510>,
<puu, output, 0, 162100>,
<muovi, output, 20200, 20400>,
<aika, output, 510, 7860>,
<ohje, info, {P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6},
{{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
{KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
{PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
{P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}}>
>

```

```

< P2, P3, Telinerunko liukumäellä, 1

```

```

{<703327(paalu), input, 4>,
<703329 (paalu), input, 2>,
<703322 (paalu), input, 2>,
<703337(lauta), input, 10>,
<008721(lista), input, 6>,
<008986(lattia), input, 3>,
<909235(ruuvi), input, 18>,
<980151(prikka), input, 18>,
<703343(lauta), input, 24>,
<703124(lauta), input, 6>,
<900240(ruuvi), input, 52>,
<909238(ruuvi), input, 64>,
<905051(prikka), input, 66>,
<703136(reunalauta), input, 2>,
<703137(kattolauta), input, 8>,
<703138(kattolauta), input, 1>,
<980101(ruuvi), input, 60>,
<909104(pultti), input, 4>,
<909248(mutteri), input, 4>,
<905090(prikka), input, 4>,
<905115(prikka), input, 4>,
<703330(paalu), input, 2>,
<703301(portaat), input, 1>,
<703304(lauta), input, 2>,
<900240(ruuvi), input, 4>,
<905051(prikka), input, 66>,
<905104(holkki), input, 40>,
<909233(ruuvi), input, 2>,
<909511(tolppa), input, 10>,
<909519(jalusta), input, 10>,
<909639(pultti), input, 40>,
<909637(mutteri), input, 80>,
<909638(prikka), input, 80>,
<909866(pultti), input, 2>,
<703298(liukumäki), input, 1>,
<901879(liitososa), input, 2>,
<980128(ruuvi), input, 12>,
<901115(lenkkipultti), input, 4>,
<701927(tukirauta), input, 2>,

```

```

<901916(putki), input, 2>,
<909349(pultti), input, 4>,
<980150(mutteri), input, 8>,
<980154(prikka), input, 12>,
<980151(prikka), input, 26>,
<metalli, output, 127510>,
<puu, output, 162100>,
<muovi, output, 20400>,
<aika, output, 7860>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
{KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
{PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
{P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}}>
>

```

<P3, suojakuorien asennus, Telineerunko liukumäellä,

```

{<909511(tolppa), input, 0, 10>,
<909519(jalusta), input, 0, 10>,
<909639(pultti), input, 0, 40>,
<909637(mutteri), input, 0, 80>,
<909638(prikka), input, 0, 80>,
<703327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 40>,
<703337(lauta), input, 0, 10>,
<909238(ruuvi), input, 0, 64>,
<905051(prikka), input, 0, 66>,
<008721(lista), input, 0, 6>,
<008986(lattia), input, 0, 3>,
<980101(ruuvi), input, 0, 60>,
<909235(ruuvi), input, 0, 18>,
<980151(prikka), input, 0, 26>,
<703343(lauta), input, 0, 24>,
<703124(lauta), input, 0, 6>,
<900240(ruuvi), input, 0, 52>,
<703136(reunalauta), input, 0, 2>,
<703137(kattolauta), input, 0, 8>,
<703138(kattolauta), input, 0, 1>,
<980154(prikka), input, 0, 12>,
<909104(pultti), input, 0, 4>,
<909248(mutteri), input, 0, 4>,
<905090(prikka), input, 0, 4>,
<905115(prikka), input, 0, 4>,
<703330(paalu), input, 0, 2>,
<703301(portaat), input, 0, 1>,
<703304(lauta), input, 0, 2>,
<909233(ruuvi), input, 0, 2>,
<909866(pultti), input, 0, 2>,
<980128(ruuvi), input, 0, 12>,
<703298(liukumäki), input, 0, 1>,
<901879(liitososa), input, 0, 2>,
<901115(lenkipultti), 0, 4>,
<701927(tukirauta), input, 0, 2>,
<901916(putki), input, 0, 2>,
<909349(pultti), input, 0, 4>,
<980150(mutteri), input, 0, 8>,
<905196(kuorirunko), input, 6, 6>,

```

<905138(kuorikansi), input, 6, 6>,
 <980131(ruuvi), input, 24, 24>,
 <metalli, output, 600, 128110>,
 <puu, output, 0, 162100>,
 <muovi, output, 300, 20700>,
 <aika, output, 720, 8580>,
 <ohje, info, {Det8},
 {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
 {KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
 {PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
 {P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}, {Det8}}>
 >

< P3, CT, Valmis kokoonpano, 1

<909511(tolppa), input, 10>,
 <909519(jalusta), input, 10>,
 <909639(pultti), input, 40>,
 <909637(mutteri), input, 80>,
 <909638(prikka), input, 80>,
 <703327(paalu), input, 4>,
 <703329(paalu), input, 2>,
 <703322(paalu), input, 2>,
 <905104(holkki), input, 40>,
 <703337(lauta), input, 10>,
 <909238(ruuvi), input, 64>,
 <905051(prikka), input, 66>,
 <008721(lista), input, 6>,
 <008986(lattia), input, 3>,
 <980101(ruuvi), input, 60>,
 <909235(ruuvi), input, 18>,
 <980151(prikka), input, 26>
 <703343(lauta), input, 24>,
 <703124(lauta), input, 6>,
 <900240(ruuvi), input, 52>,
 <703136(reunalauta), input, 2>,
 <703137(kattolauta), input, 8>,
 <703138(kattolauta), input, 1>,
 <980154(prikka), input, 12>,
 <909104(pultti), input, 4>,
 <909248(mutteri), input, 4>,
 <905090(prikka), input, 4>,
 <905115(prikka), input, 4>,
 <703330(paalu), input, 2>,
 <703301(portaat), input, 1>,
 <703304(lauta), input, 2>,
 <909233(ruuvi), input, 2>,
 <909866(pultti), input, 2>,
 <980128(ruuvi), input, 12>,
 <703298(liukumäki), input, 1>,
 <901879(liitososa), input, 2>,
 <901115(lenkipultti), 4>,
 <701927(tukirauta), input, 2>,
 <901916(putki), input, 2>,
 <909349(pultti), input, 4>,
 <980150(mutteri), input, 8>,
 <905196(kuorirunko), input, 6>,
 <905138(kuorikansi), input, 6>,
 <905138(kuorikansi), input, 6>,
 <905138(kuorikansi), input, 6>

```

<980131(ruuvi), input, 24>,
<metalli, output, 128110>,
<puu, output, 162100>,
<muovi, output, 20700>,
<aika, output, 8580>,
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},
{KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},
{PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},
{P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}, {Det8}}>
>

```

```

<CT, valmis kokoonpano
{<909511(tolppa), input, 0, 10>,
<909519(jalusta), input, 0, 10>,
<909639(pultti), input, 0, 40>,
<909637(mutteri), input, 0, 80>,
<909638(prikka), input, 0, 80>,
<703327(paalu), input, 0, 4>,
<703329(paalu), input, 0, 2>,
<703322(paalu), input, 0, 2>,
<905104(holkki), input, 0, 40>,
<703337(lauta), input, 0, 10>,
<909238(ruuvi), input, 0, 64>,
<905051(prikka), input, 0, 66>,
<008721(lista), input, 0, 6>,
<008986(lattia), input, 0, 3>,
<980101(ruuvi), input, 0, 60>,
<909235(ruuvi), input, 0, 18>,
<980151(prikka), input, 0, 26>
<703343(lauta), input, 0, 24>,
<703124(lauta), input, 0, 6>,
<900240(ruuvi), input, 0, 52>,
<703136(reunalauta), input, 0, 2>,
<703137(kattolauta), input, 0, 8>,
<703138(kattolauta), input, 0, 1>,
<980154(prikka), input, 0, 12>
<909104(pultti), input, 0, 4>,
<909248(mutteri), input, 0, 4>,
<905090(prikka), input, 0, 4>,
<905115(prikka), input, 0, 4>,
<703330(paalu), input, 0, 2>,
<703301(portaat), input, 0, 1>,
<703304(lauta), input, 0, 2>,
<909233(ruuvi), input, 0, 2>,
<909866(pultti), input, 0, 2>,
<980128(ruuvi), input, 0, 12>,
<703298(liukumäki), input, 0, 1>,
<901879(liitososa), input, 0, 2>,
<901115(lenkkipultti), 0, 4, 4>,
<701927(tukirauta), input, 0, 2>,
<901916(putki), input, 0, 2>,
<909349(pultti), input, 0, 4>,
<980150(mutteri), input, 0, 8>,
<905196(kuorirunko), input, 0, 6>,
<905138(kuorikansi), input, 0, 6>,
<980131(ruuvi), input, 0, 24>,
<metalli, output, 0, 128110>,
<puu, output, 0, 162100>,

```

```
<muovi, output, 0, 20700>,  
<aika, output, 0, 8580>,  
<ohje, info, {{RDet1a, RDet1b}, {BoomsDet1, BoomsDet2}, {YDet3},  
{KDet1, KDet2, KDet3}, {K2Det1, K2Det2, K2Det3, K2Det4},  
{PDet1, PDet2, PDet3, PDet4, PDet7, PDet8},  
{P2Det1, P2Det2, P2Det3, P2Det4, P2Det5, P2Det6}, {Det8}}>  
>
```

Liite 2: Lappset Clover Tower -kiipeilytornin kokoonpanovaiheet (© Lappset Oy)

Kokoonpanon osaluettelo:

008710	PCS 3		701553	PCS 1		702286	PCS 1		703139	PCS 1		703152	PCS 6		703299	PCS 1	
703300	PCS 1		703322	PCS 2		703327	PCS 4		703329	PCS 2		703337	PCS 10		902487	PCS 1	
			L 2250		L 1650		L 2550		L 704		65x65						
905051	PCS 40		905104	PCS 32		905138	PCS 4		905196	PCS 4		909238	PCS 40		909506	PCS 4	
		Ø24/B.4	M10		GRAY		GRAY		8x90		Ø3.5x13						
909521	PCS 8		980131	PCS 16													
			Ø6x60														

© Lappset

R1 - porrusrungon paalujen kokoonpano:

Input:

- 909637 (mutteri) 4 x 4
- 905104 (holkki) 4 x 4
- 909511 (tolppa jalustalle) 4 x 1
- 703327(4) (paalu) 4 x 1

- 909639 (pultti) 4 x 4
- 909638 (prikka) 4 x 8

Output:

R1-paalut x 4

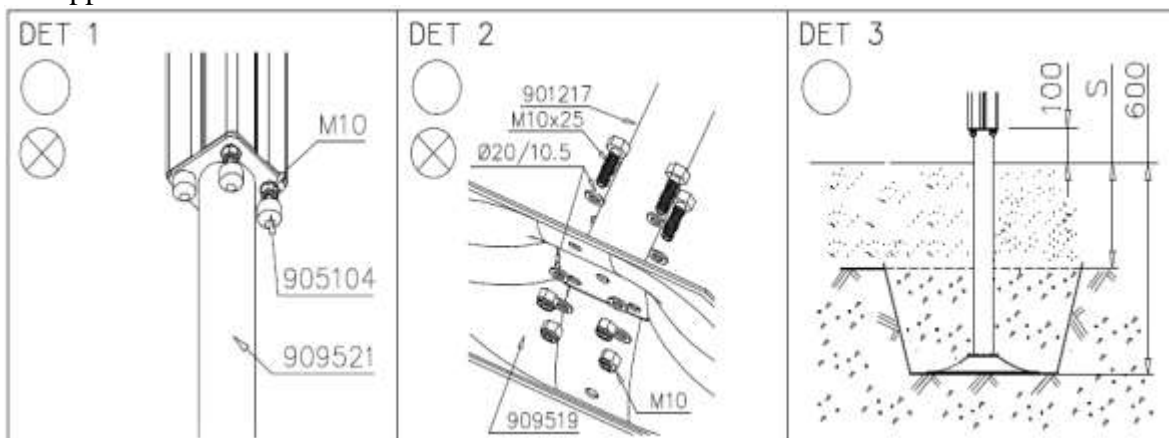
909637 (mutteri) 4 x 4

909519 (jalusta) x 1

Kiipeilytelineen pystypaalu kiinnitetään perustustolppaan (909521) neljällä mutterilla (909637), jotka suojataan neljällä muoviholkilla (905104). Perustustolpan jalusta (909519) kiinnitetään tolppaan (909511) neljällä pultti-mutteri-prikka -yhdistelmällä (osat 909639, 909637, 909638). Jalustaan kiinnitetty paalu upotetaan sorapohjaan tai muuhun alustamateriaaliin 60cm syvyyteen. Samaa ohjetta sovelletaan myös prosesseissa R2 ja R3.

① 909511	PCS	② 909519	PCS
	1		1
③ 909637	PCS	④ 909638	PCS
	4		8
M10		Ø20/10.5	
⑤ 909639	PCS		PCS
	4		
M10x25			

© Lappset



© Lappset

Osaluettelossa valmiiksi koottuna esitetty jalustatolppa (909521) koostuu ylläolevassa kuvassa esitetyistä osista.

DET 1	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
905104	holkki	muovi	-	-	5		16
909637	mutteri	metalli	-	-	10		16
703327	paalu	puu	1650	-	6000		4

DET 2	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
909511	tolppa	metalli	700	-	4000		4
909519	jalusta	metalli	-	-	5000		4
909637	mutteri	metalli	-	-	10		16
909638	prikka	metalli	-	-	5		32
909639	pultti	metalli	-	-	20		16

R2 – B-runko-osan paalujen kokoonpano:

Input:

909637 (mutteri) 2 x 4

905104 (holkki) 2 x 4

909511 (tolppa jalustalle) 2 x 1

703329 (2) (paalu) 2 x 1

909639 (pultti) 2 x 4

909638 (prikka) 2 x 8

909637 (mutteri) 2 x 4

909519 (jalusta) 2 x 1

Output:

R2-paalut x 2

DET 1	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
905104	holkki	muovi	-	-	5		8
909637	mutteri	metalli	-	-	10		8
703329	paalu	puu	2550		10000		2

R3 – A-runko-osan paalujen kokoonpano:

Input:

909637 (mutteri) 2 x 4

905104 (holkki) 2 x 4

909511 (tolppa jalustalle) 2 x 1

703322 (paalu) 2 x 1

909639 (pultti) 2 x 4

909638 (prikka) 2 x 8

909637 (mutteri) 2 x 4

909519 (jalusta) 2 x 1

Output:

R3-paalut x 2

DET 1	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
905104	holkki	muovi	-	-	5		8
909637	mutteri	metalli	-	-	10		8
703322	paalu	puu	2250	-	8000		2

L1 – katottoman porrusrungon paalurakenteiden yhdistäminen listojen avulla

Input:

R1 x 4

703337 x 4

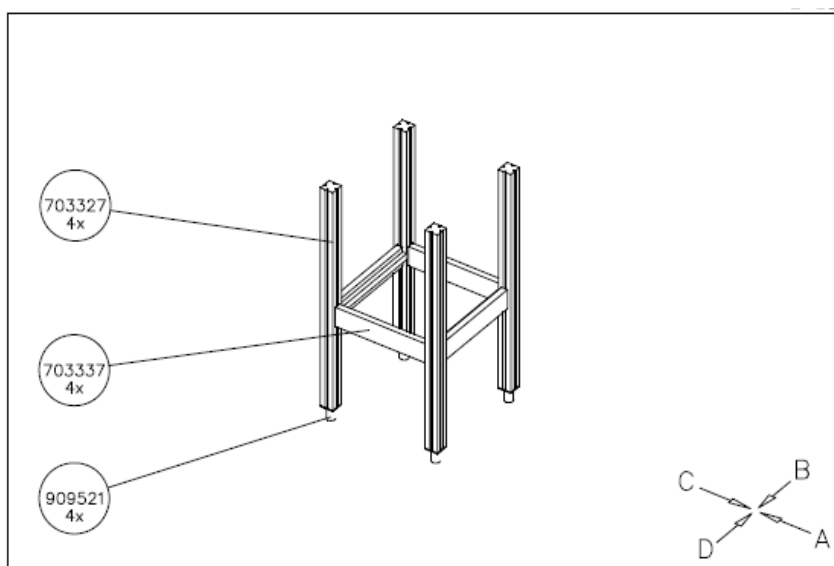
909238 (8x90 ruuvi) x 16

905051 (24/8.4 prikka) x 16

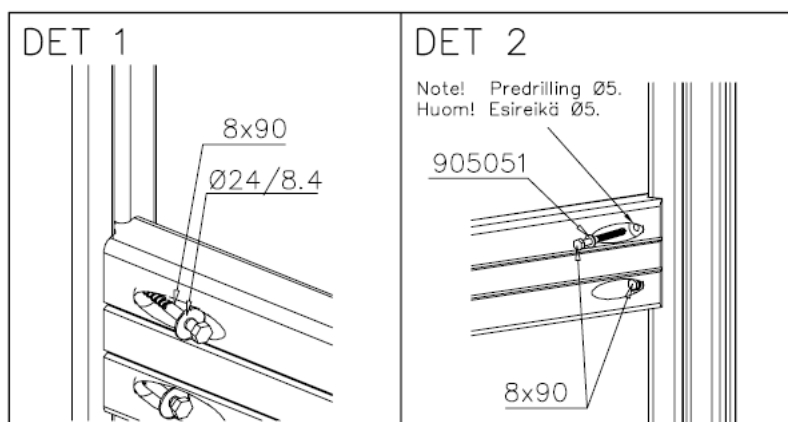
Output:

Porrusrunko, runkorakenne (R1+L1)

Prosessissa R1 kootut tolppa-paalu –yhdistelmät kootaan paalurungoksi yhdistämällä nämä neljällä puulistalla (703337) prosessiin liittyvien DET1 ja DET2 kokoonpano-ohjeiden mukaisesti.



© Lappset



© Lappset

DET1/DET2	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703337	lauta	puu	704	-	2000		4
909238	ruuvi	metalli	90	8	30		16
905051	prikka	metalli	-	24	7		16

L2 – katollisen osan paalurakenteiden yhdistäminen listojen avulla

Input:

R2

703337 x 2

909238 (8x90 ruuvi) x 8

905051 (24/8.4 prikka) x 8

R3

703337 x 2

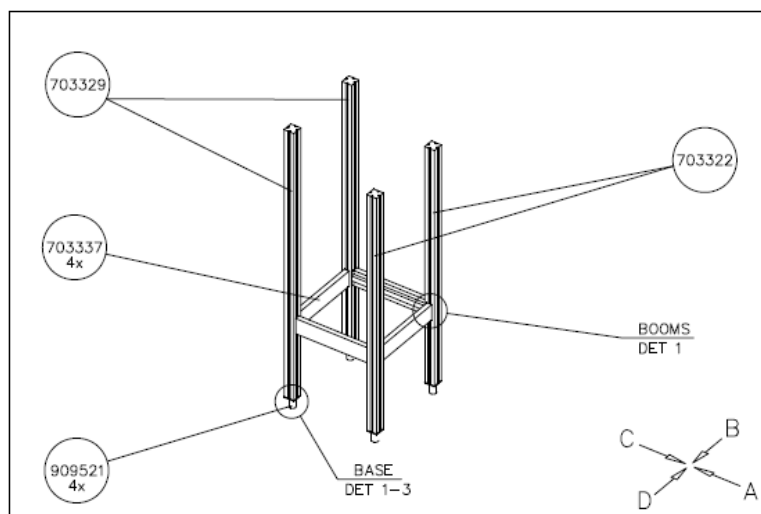
909238 (8x90 ruuvi) x 8

905051 (24/8.4 prikka) x 8

Output:

katollinen runkorakenne (R2+R3+L2)

L2-prosessi noudattaa L1-prosessin ohjeistusta, ja prosessin tuloksena syntyy R2- ja R3-prosesseissa kootuista tolppa-paalu -yhdistelmistä epäsymmetrinen runkorakenne telineen katettua osaa varten.



DET1/DET2	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703337	lauta	puu	704	-	500		4
909238	ruuvi	metalli	90	8	30		16
905051	prikka	metalli	-	24	7		16

Y1 – runko-osien yhdistäminen

Input:

R1 + L1

R2 + R3 + L2

703337 x 2

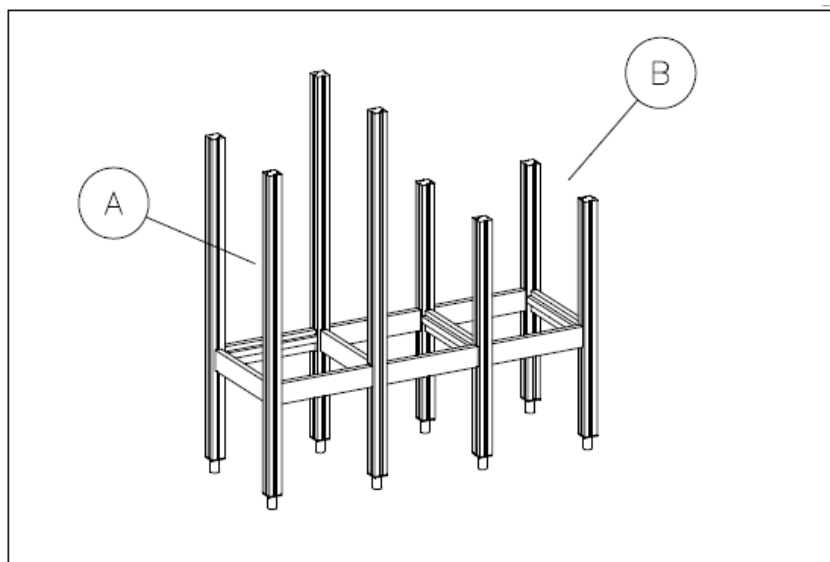
909238 (8x90 ruuvi) x 8

905051 (24/8.4 prikka) x 8

Output:

Kiipeilytelineen runko

Prosessi Y1 noudattaa ohjeistukseltaan prosesseja L1 ja L2, ja siinä yhdistetään noissa prosesseissa kootut runkorakenteet, jonka tuloksena saadaan kokonainen telinerunko.



DET1/DET2	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703337	lauta	puu	704	-	2000		2
909238	ruuvi	metalli	90	8	30		8
905051	prikka	metalli	-	24	7		8

Y2- lattian asentaminen

Input:

R1:Y1

008721 (tukilista) 3 x 2

909235 (8x60 ruuvi) 3 x 6

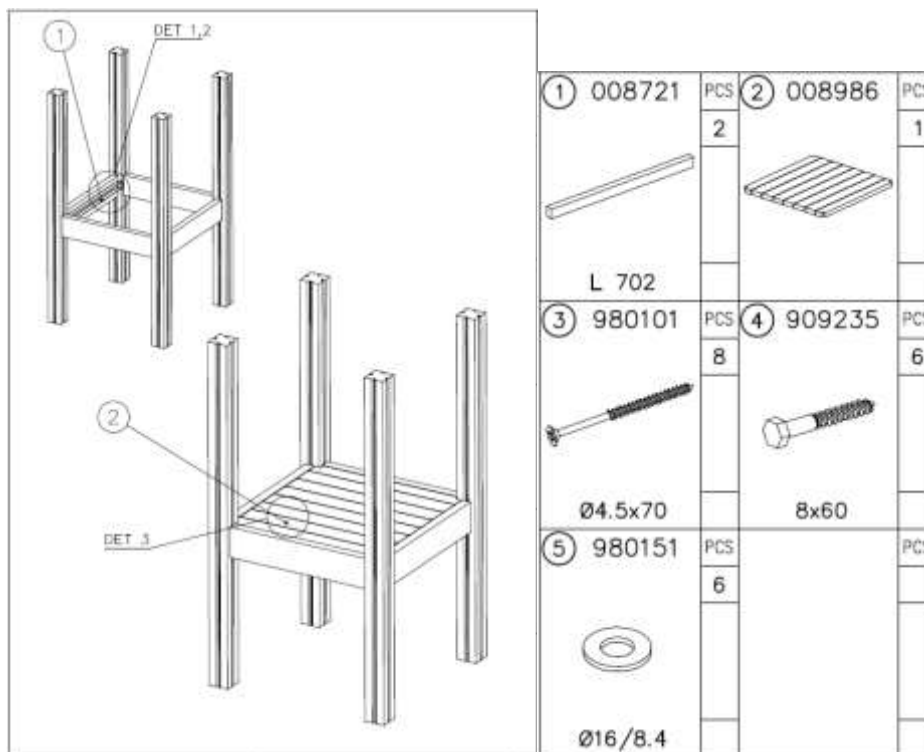
980151 (16/8.4 prikka) 3 x 6

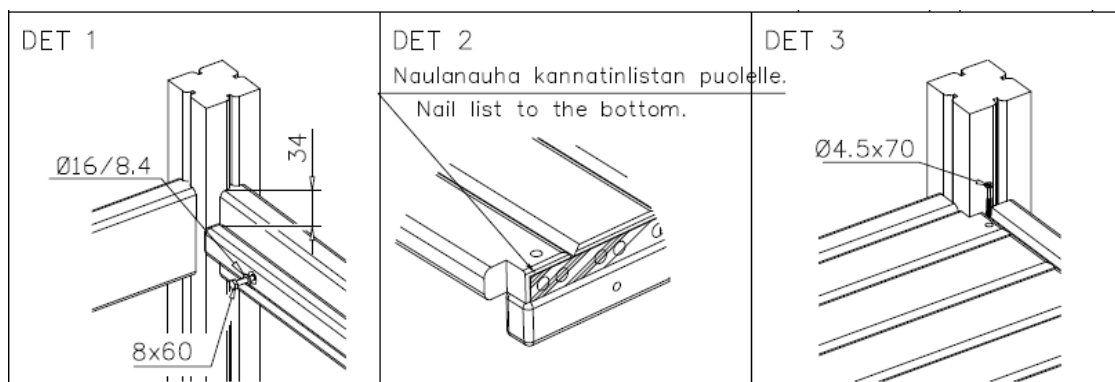
980101 (4.5/70 ruuvi) 3 x 8

008986 (lattialevy) 3 x 1

Output:

R1:Y1 + Y2 x 3





© Lappset

Lattialevyt asennetaan listojen listojen kiinnittämisen jälkeen ruuvaamalla lattiaosat kiinni runkokehikkoihin.

DET1/DET2	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
008721	lista	puu	-	-	100		6
008986	lattia	puu	-	-	10000		3
980101	ruuvi	metalli	70	4.5	7		24
909235	ruuvi	metalli	60	8	20		18
980151	prikka	metalli	-	8.4	5		18

K1 – Kaiteiden asennus

Input:

R1:Y2

703124 6 x 1

909238 (8x90 ruuvi) 6 x 4

905051 (24/8.4 prikka) 6 x 4

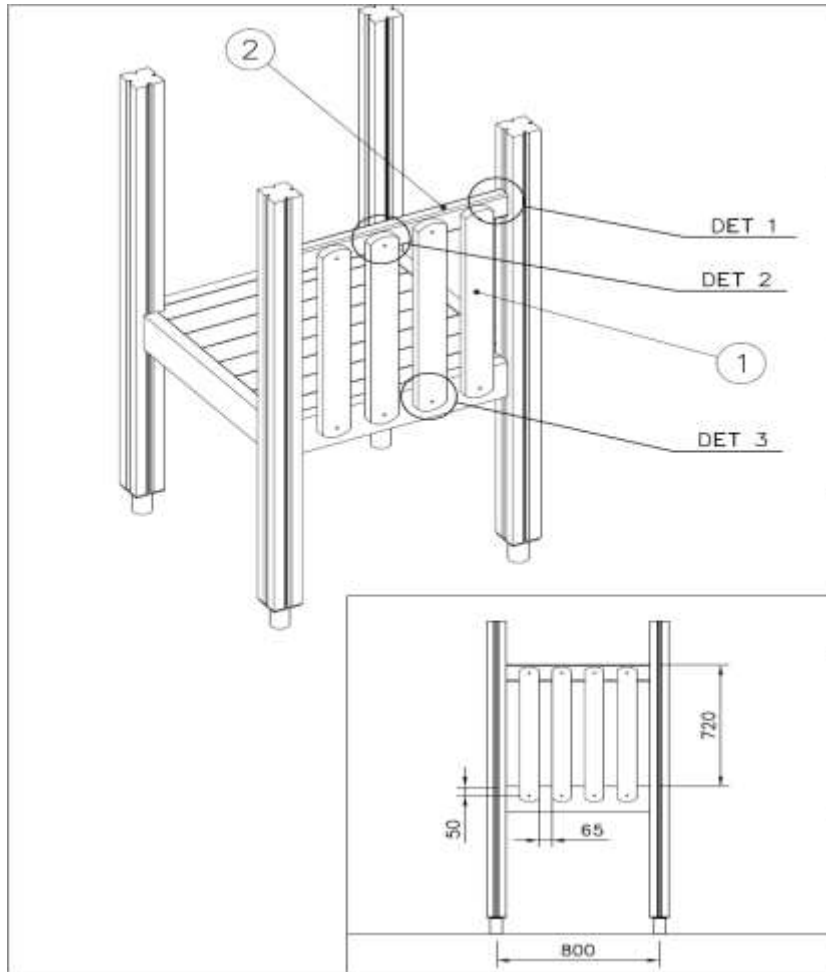
703343 6 x 4

900240 (8x70 ruuvi) 6 x 8

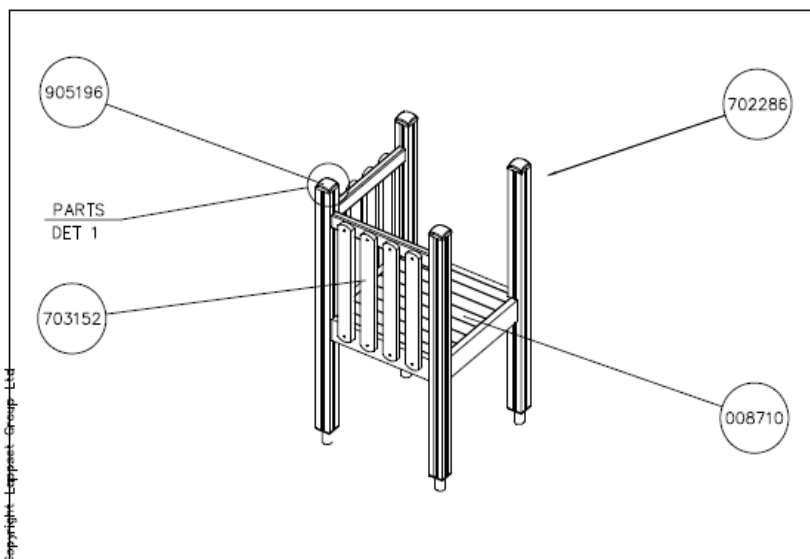
Output:

Runko kaiteilla **x 6**

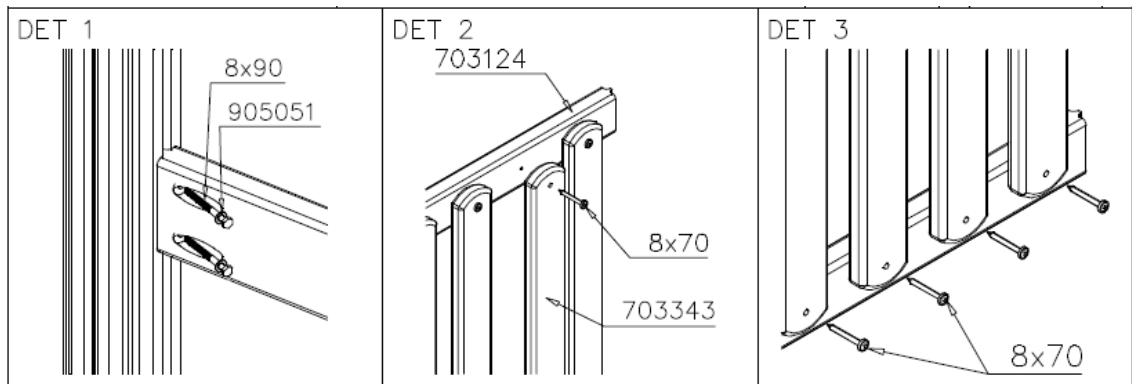
(R1:Y2 + K1 x 6)



© Lappset



© Lappset



© Lappset

Kaiteiden laudat ruuvataan kiinni poikkilautoihin prosessin ohjeiden DET1, DET2 ja DET3 osoittamalla tavalla.

DET1/DET2	Luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703343	lauta	puu	704	-	500		24
703124	lauta	puu	770	-	1000		6
900240	ruuvi	metalli	90	8	30		48
909238	ruuvi	metalli	70	8	30		24
905051	prikka	metalli	-	24	7		24

K2 - Katon ja kahvan asennus

Input:

R1:K1

703136 x 2

909104 (12x160 pultti) x 4

905090 (45 prikka) x 4

980154 (24/13 prikka) x 4

909248 (M12 mutteri) x 4

905115 (30 prikka) x 4

703137 x 8

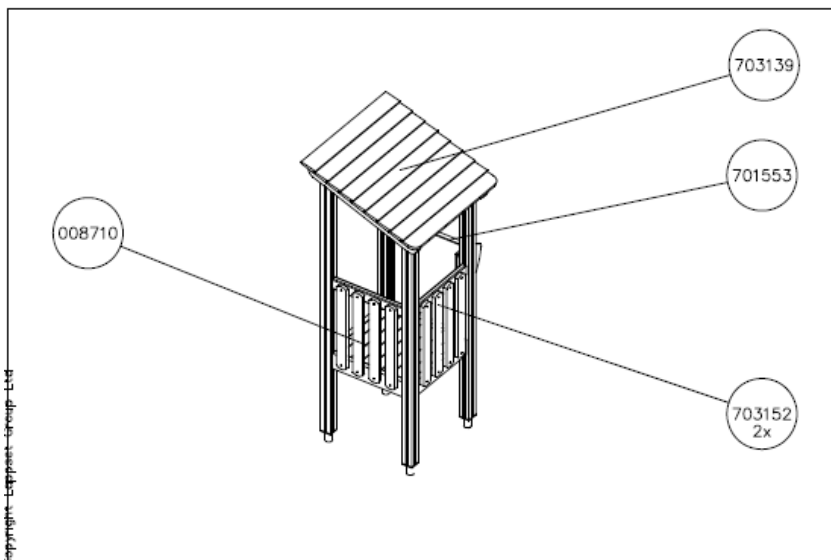
Output:

Katettu tornirunko

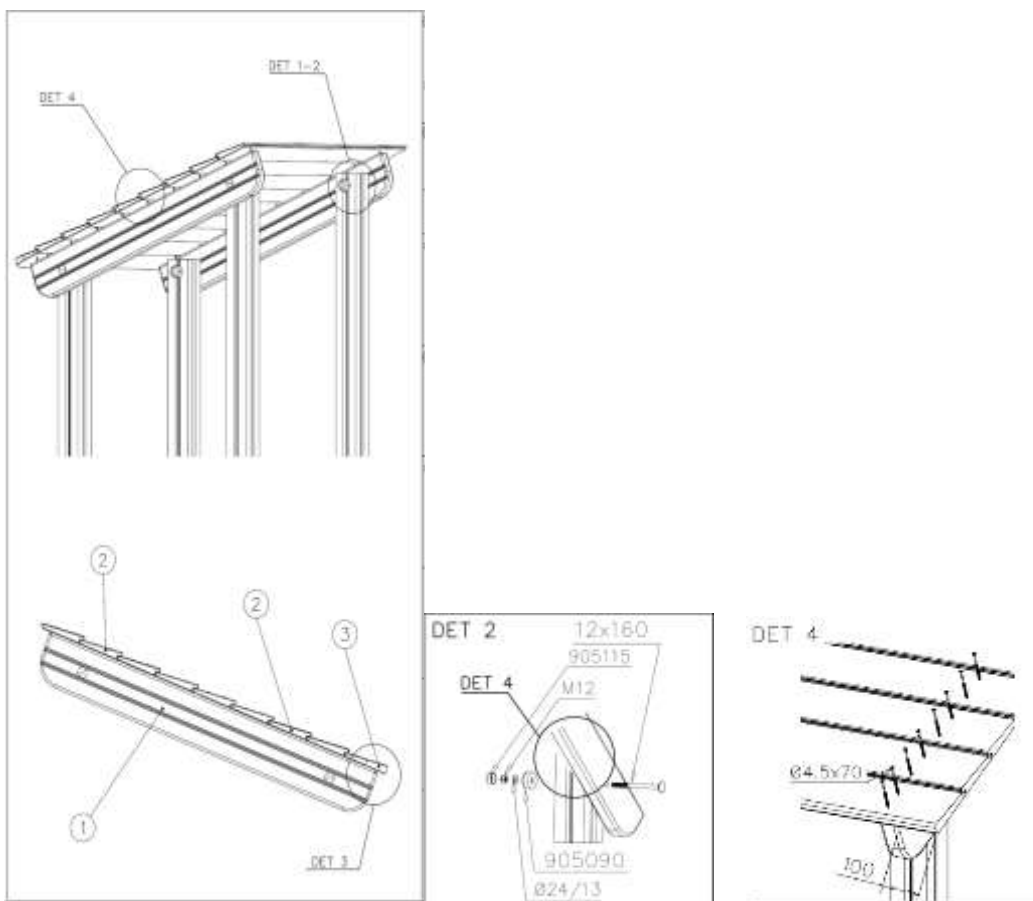
(R1:K1 + K2)

703139 x 1










980101 (4.5 x 70 ruuvi) x 36



© Lappset



© Lappset

① 703136	PCS	② 703137	PCS
	2		8
L 1135		L 1185	
③ 703138	PCS	④ 980101	PCS
	1		36
L 1185		Ø4.5x70	
⑤ 980154	PCS	⑥ 909104	PCS
	4		4
Ø24/13		M12x160	
⑦ 909248	PCS	⑧ 905090	PCS
	4		4
M12		Ø45	
⑨ 905115	PCS		PCS
	4		
Ø30			

© Lappset

Kattolaudat kiinnitetään pultattuihin kattoreunalautain ohjeiden DET2 ja DET4 osoittamalla tavalla.

DET1-4	Luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703136	reunalauta	puu	1135	-	1000		2
703137	kattolauta	puu	1185	-	500		8
703138	kattolauta	puu	1185	-	500		1
980101	ruuvi	metalli	70	4.5	7		36

980154	prikka	metalli	-	13	7		4
909104	pultti	metalli	160	12	150		4
909248	mutteri	metalli	-	12	15		4
905090	prikka	metalli	-	45	50		4
905115	prikka	metalli	-	30	15		4

P1 - Portaikon asentaminen

Input:

R1:K2

703330 x 2

703304 x 2

703301 x 1

900240 (8x70 ruuvi) x 4

980128 (7x40 ruuvi) x 3






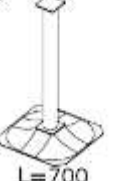




909233 (8x100 ruuvi) x 2

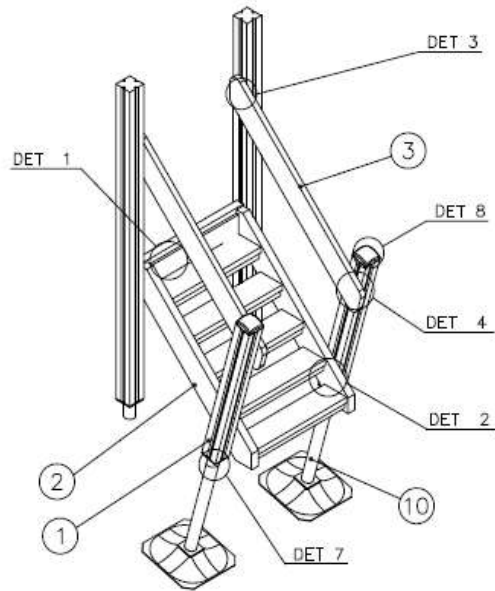
905051 (24/8.4 prikka) x 2

Output:

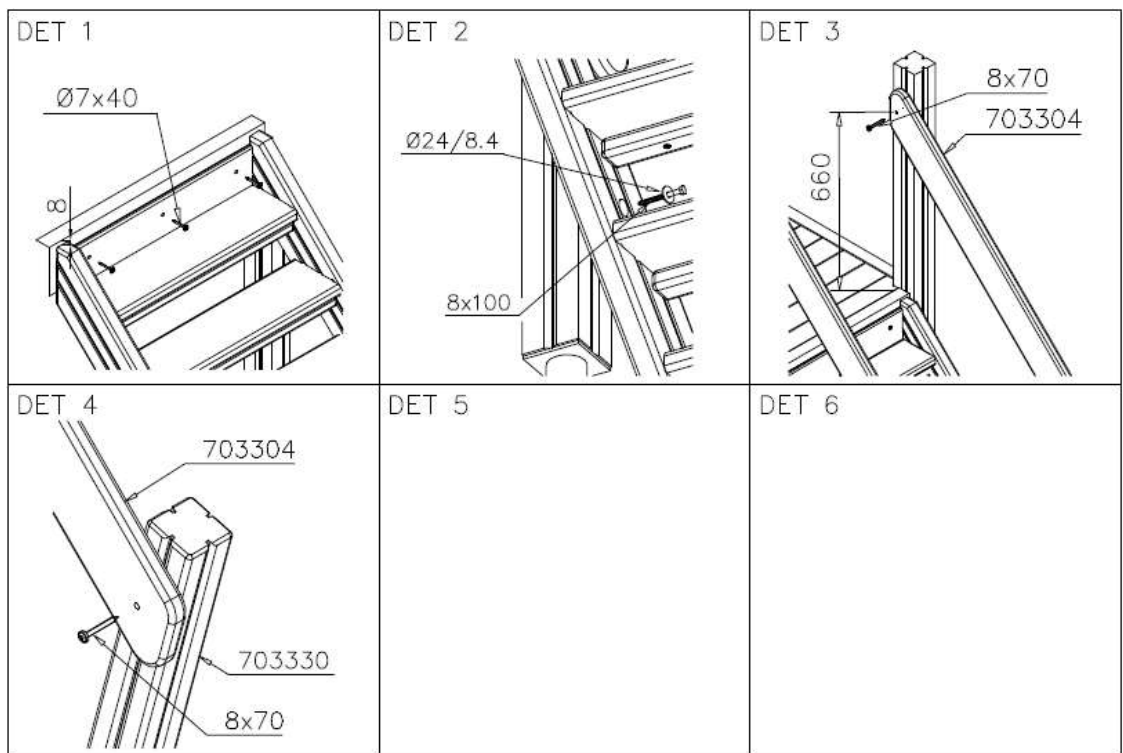
Tornirakenne portaikolla

(R1:K2 + P1)

① 703330  93x93x900 PCS 2	② 703301  145x700x1110 PCS 1	③ 703304  32x145x1265 PCS 2	④ 900240  Ø8x70 PCS 4	⑨ 909233  8x100 PCS 2	⑩ 909521  L=700 PCS 2
⑤ 905051  Ø24/8.4 PCS 2	⑥ 905104  M10 PCS 8	⑪ 909866  M8x60 PCS 2	⑫ 980128  Ø7x40 PCS 3		



© Lappset



© Lappset

Porrasosa kiinnitetään kiipeilytelineeseen portaiden yläpäästä kolmella ruuvilla 980128, ja portaiden kaiteet kiinnitetään telineen ja portaikon paalujen väliin ohjeiden DET2-DET4 osoittamalla tavalla.

DET1-4	luokka	materiaali	pituus (mm)	Leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703330	paalu	puu	900	93	3500		2
703301	portaavat	puu	1110	400	15000		1
703304	lauta	puu	1265	145	2500		2
900240	ruuvi	metalli	70	8	30		4
905051	prikka	metalli	-	8.4	7		2
905104	holkki	muovi	-	-	5		8
909233	ruuvi	metalli	100	8	30		2
909511	tolppa	metalli	700	-	4000		2
909519	jalusta	metalli	-	-	5000		2
909639	pultti	metalli	-	-	20		8
909637	mutteri	metalli	-	-	2		16
909638	prikka	metalli	-	-	1		16
909866	pultti	metalli	60	8	20		2
980128	ruuvi	metalli	40	7	10		3

Prosessi 9 - Liukumäen asentaminen

Input:

R1:P1

703298 (liukumäki) x 1

901879 (liitososa) x 2

701927 (tukirauta) x 2

901916 (putki) x 2

980154 (24/13 priikka) x 4

909349 (12x40 pultti) x 4

901115 (lenkipultti) x 4

Output:











Torni liukumäellä

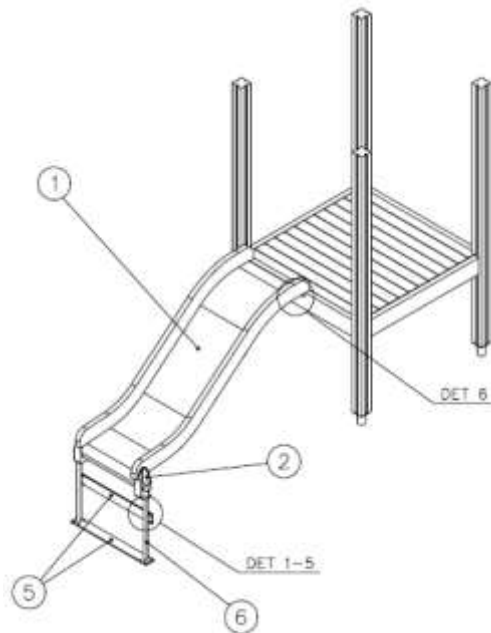
(R1:P1 + P2)

980151 (16/8.4 prikka) x 8

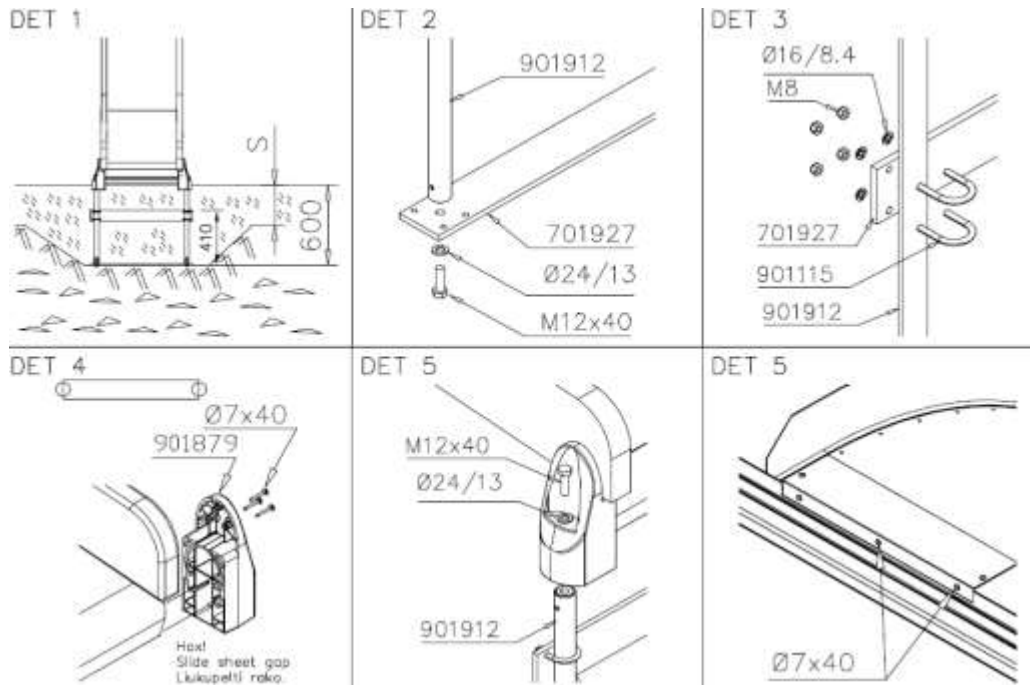
980150 (8 mutteri) x 8

980128 (7x40 ruuvi) x 9

① 703298	PCS 1	② 901879	PCS 2
			
③ 980128	PCS 9	④ 901115	PCS 4
			
Ø7x40		M8	
⑤ 701927	PCS 2	⑥ 901916	PCS 2
			
⑦ 980154	PCS 4	⑧ 909349	PCS 4
			
Ø24/13		M12x40	
⑨ 980150	PCS 8	⑩ 980151	PCS 8
			
M8		Ø16/8.4	



© Lappset



© Lappset

Liukumäki kiinnitetään maahan upotettuihin tukirautoihin liitososan 901879 avulla ja liukumäen yläpää kiinnitetään kiipeilytelineeseen ohjeen DET6 mukaisesti.

DET1-4	Luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
703298	liukumäki	muovi	-	-	20000		1
901879	liitososa	muovi	-	-	100		2
980128	ruuvi	metalli	40	7	10		12
901115	lenkkipultti	metalli	-	-	15		4
701927	tukirauta	metalli	-	-	500		2
901916	putki	metalli	-	-	500		2
909349	pultti	metalli	40	12	40		4
980150	mutteri	metalli	-	8	5		8
980154	prikka	metalli	-	24	7		12
980151	prikka	metalli	-	16	5		26

Prosessi 10 - paalujen suojakuorien asennus

Input:

R1:P2

Output:

905196 (kuorirunko) x 1

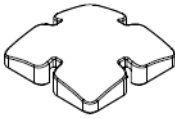
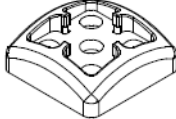

x 6

905138 (kuorikansi) x 1

Valmis Clover Tower -kiipeilyteline

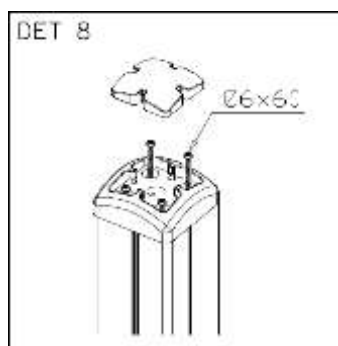
980131 (6x60 ruuvi) x 4

(R1:P2 + P3)

7	905138	PCS	8	905196	PCS	13	980131	PCS
		2			2			8
20x69x69			36.5x95x95			Ø6x60		

© Lappset

Kiipeilytelineen paalujen päät suojataan suojakuorilla ohjeen DET8 osoittamalla tavalla, ja ”Clover Tower” –kiipeilyteline on saatu koottua valmiiksi.



© Lappset

DET8	luokka	materiaali	pituus (mm)	leveys (mm)	paino (g)	info	lkm
905196	kuorirunko	muovi	95	95	30		6
905138	kuorikansi	muovi	69	69	20		6
980131	ruuvi	metalli	60	6	25		24

