Dynaamisten KET-altaiden määrittely osakoontityöpisteille

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2024

Valtteri Niemi

Tarkastaja: Professori Janne Huiskonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Valtteri Niemi

Dynaamisten KET-altaiden määrittely osakoontityöpisteille

Tuotantotalouden diplomityö

2024

69 sivua, 24 kuvaa, 1 taulukkoa ja 0 liitettä

Tarkastaja: Professori Janne Huiskonen, TkT

Avainsanat: dynaaminen KET, tuotannonohjaus, välivarastointi

Laivanrakennus on suuri projektikokonaisuus, jonka aikatauluketju on pitkä ja monimutkainen. Suuren matkustajaristeilijän terästyöt kestävät yli vuoden, ja uniikin projektiluonteen vuoksi se aiheuttaa paljon kysynnänvaihtelua projektin edetessä. Erilaista kysynnän vaihtelua telakalla taas tarvitsee tasata välivarastoinnilla ja nostamalla keskeneräisen työn määrää telakka-alueella. Lopputuloksena on, että fyysinen varastointitila käy ajoittain erittäin ahtaaksi ja aiheuttaa merkittäviä haasteita logistiikalle, joka lopulta heijastuu myös tuotannon tekemiseen. Yksi pala tätä kokonaisuutta on useiden metrien kokoisten teräksisten osakoontien liian aikainen tuotannon aloitus, joiden turha välivarastointi on lopulta osa ongelmaa.

Osakoontien KET oli tutkimuksen lähtöasetelmassa määritelty vakioksi, mikä johti siihen, että suuren kysynnän vaihtelun takia osakoonteja saattoi välillä olla tarpeettoman paljon valmiina välivarastossa, kun kysyntä laski. Tämän vuoksi tässä diplomityössä tukittiin, kuinka tuotantoa voidaan ohjata dynaamisilla KET-rajoituksilla, jotka mukautuvat paremmin isoon kysynnän vaihteluun.

Toimeksiantona tehdyssä diplomityössä tarkasteltiin ensiksi varastoinnin ja tuotannonohjauksen perusperiaatteita, jotta ymmärrettiin turhan välivarastoinnin vaikutukset ja tuotannon keskeisimmät työnvapautusmenetelmät imuohjauksessa. Tämän jälkeen vastattiin tutkimuskysymyksiin, eli mitä kaikkea dynaamisen KET:n määrittelyssä täytyy huomioida, sekä kuinka dynaamisen KET:n laskentamalli voidaan käytännössä näiden havaintojen perusteella toteuttaa. Lopputuloksena saatiin dynaamisesti mukautuva KET-malli, joka perustuu ennustettavan pullonkaulavaiheen kysyntään. Kyseisen mallin avulla jatkossa voidaan varmistua siitä, että välivarastointia tehdään ainoastaan todellisen kysynnän mukaan, ja samalla selkeytetään myös tuotannonjohtamista osakoontien osalta.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Valtteri Niemi

Defining dynamic WIP-levels for subassembly workstations

Master's thesis

2024

69 pages, 24 figures, 1 tables and 0 appendices

Examiners: Professor Janne Huiskonen, D.Sc. (Tech.)

Keywords: Dynamic WIP, production management, buffer storage

Shipbuilding is a large-scale project with a long and complex schedule. Steelwork for a large passenger cruise ship can take over a year, and the unique project nature causes significant demand fluctuations. To manage these, shipyards rely on buffer storage and increased work-in-progress, which can lead to tight storage spaces and logistical challenges that in the end can affect production. Premature production of large steel subassemblies further exacerbates the problem by increasing unnecessary buffer storage.

In this thesis, subassembly WIP-levels were initially fixed, causing excessive inventory in completed subassemblies during periods of low demand. To address this, the study explored dynamic WIP constraints that can adapt better to demand fluctuations.

In this commissioned thesis, the research first examined the fundamental principles of storage and production control to understand the impact of unnecessary buffer storage and the key production release methods in pull-based systems. The research then addressed topics about the factors that needed to be considered when defining a dynamic WIP and how a practical calculation model for dynamic WIP was finally developed based on these observations.

The resulting model is a dynamically adaptive WIP model that is based on the demand of a predictable bottleneck work stage. Using this model, future buffer storage can be limited to align with actual demand, while also streamlining production management for subassemblies.

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

BEF	Baseline finish date, työn suunniteltu päättymispäivä
BES	Baseline start date, työn suunniteltu aloituspäivä
CONWIP	Constant Work in Progress
ERP	Toiminnanohjausjärjestelmä
Kanban	Visuaalinen työnhallintajärjestelmä
KET	Keskeneräinen tuotanto (WIP)
Lean	Liiketoiminnan ja tuotannon hallinnoinnin filosofia
Lohko	Suurlohkot kootaan lohkoista, joita valmistetaan osakoonneista ja paneelista
Lohkotehdas	Lohkoja tehdään massatuotantona lohkotehtaassa
Nestaus	Levyosien sijoittelua materiaaliarkille
Osalohko	Lohkot pilkotaan yleensä 3–4 osaan osalohkoiksi
Osakoonti	Osakoonnit ovat teräslevyistä ja -profiileista tehtäviä pieniä koonteja
Suurlohko	Laiva rakennetaan yhdistämällä suurlohkoja toisiinsa
Tuorereitti	Samanlaiset työpisteet ryhmitellään saman tuotereitin alle
Työpiste	Työpisteissä tehdään erilaisia koonteja lohkotehtaassa
WIP	Work in Progress (KET)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

(Symboli- ja lyhenneluettelo)

Dynaamisten KET-altaiden määrittely osakoontityöpisteille 5
1 Johdanto 7
1.1 Tausta 7
1.2 Tavoitteet ja rajaus 8
1.3 Tutkimuksen toteutus 9
1.4 Tutkimuksen rakenne 10
2 Varastot ja niiden hallinta 12
2.1 Varastojen ja varastonhallinnan tarkoitus 12
2.2 Varaston ohjauksellinen luokittelu 13
2.3 Erilaiset varastotyypit varastoitavan tuotteen perusteella 15
2.4 Varastojen hallinnan ristiriidat 16
2.5 Varastointiin liittyvät kustannukset 17
2.5.1 Varastonpitokustannukset 17
2.5.2 Tilaus- ja asetuskustannukset 18
2.5.3 Puutekustannukset 18
2.6 Puutekustannus ja palveluaste varaston hallinnassa 18
3 Tuotannonohjaus, keskeneräisen työn hallinnointi ja työn kuormittaminen 22
3.1 Työntö- ja imuohjaus 22
3.2 Kanban 23
3.3 CONWIP 24
3.4 Kanban ja CONWIP ohjausten erot 25
3.5 Pullonkaulaohjaus 26
3.6 CONWIP-korttien määrän määrittely tuotantoon 27
3.7 Töiden vapauttaminen tuotantoon 28
3.7.1 Välitön tilausten vapauttaminen 29
3.7.2 Eräpäiväpohjainen tilausten vapauttaminen 29
3.7.3 KET-rajoitteinen tilausten vapautus 30

3.7.4 Tilausten vapauttaminen työpistekohtaisella kuormantasapainolla 31
3.7.5 Töiden vapauttamisen tarkkuus 31
3.8 Tuotannon kapasiteetti ja kuormittaminen 32
4 Tuotannonohjaus ja terästyöprosessit telakalla sekä lohkotehtaassa 34
4.1 Tuotannonohjauksen erityispiirteet laivanrakennuksen terästöissä 34
4.2 Nykyinen tuotantoprosessi ja tuotannonohjauksen periaatteet 37
4.3 Työpisteet ja niiden kapasiteetit 39
4.4 Nykyinen johtamiseen käytetty mittaristo 40
5 Osakoontien KET-laskennassa huomiotavat tekijät 42
5.1 Dynaamisten KET-altaiden tarkoitus 43
5.2 Kysynnän ennustettavuus 44
5.3 Minimipuskurivarasto 45
5.4 Ennustetun kysynnän vaikutus puskuritasojen määrittelyyn 46
5.5 Varastonpitokustannusten huomiointi puskuritasojen määrittelyssä 46
5.6 Kysynnänvaihtelu laivaprojektin edetessä 47
5.7 Nykyinen varastointikapasiteetti ja ongelmat sen ylikuormittamisessa 50
5.8 Osakoontivalmisvaraston koontien epätäydellinen koostumus 50
5.9 Epätäydelliset suunnitellut kestot ja niiden vaikutukset varastointiin 52
5.10 Nykyinen suunniteltu baseline -aikataulu 53
5.10.1 Baseline -aikataulu luonti 53
5.10.2 Baseline -aikataulun käytännön toteutuminen pitkällä aikavälillä 54
5.10.3 Baseline kuormituksen mukauttaminen todelliseen kysyntään 55
5.11 Pullonkaulan huomiointi KET-laskennassa 57
6 KET-altaiden laskentakaava ja sen implementointi 59
6.1 Saatavissa oleva ja laskentaan tarvittava data 59
6.2 KET-altaiden koon laskennan vaiheet 60
7 Johtopäätökset 64
7.1 Työn tulokset 64
7.2 Jatkotoimenpide- ja kehitysehdotukset 65
8 Yhteenveto 66
Lähteet 68

1 Johdanto

Tämän diplomityön tarkoituksena on määritellä dynaamiset osakoontien KET-allastasot Kanban-periaatteella tapahtuvaan työn hallintaan Meyer Turun telakalle. Päämääränä on määrittää laskentaperusteet ja kaava, jonka avulla määritellään päivittäin vaihtelevien dynaamisten KET-altaiden koot, jotka tasaavat ja samalla puskuroivat töitä seuraaville työvaiheille. Tavoitteena on, että Kanban-periaatteella toimivat osakoontien KET-allastasot mukautuvat mahdollisimman hyvin aina sen hetken tuotantotilanteeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että työlupia pitäisi olla aina sopivasti, niin että tuotanto virtaa tasaisesti, mutta kuitenkin niin, että töitä ei tehdä turhaan valmiiksi enempää, mitä kysyntä ja siihen liittyvä vaihtelu vaativat. KET-altaaseen sisältyvät aloitusluvalliset työt, keskeneräiset työt ja valmiit seuraavaa vaihetta välivarastossa odottavat työt.

1.1 Tausta

Toimeksiantajayrityksessä Meyer Turku Oy:ssa ja sen lohkotehtaassa ollaan siirrytty muutamia vuosia sitten osittaiseen imuohjaukseen, jossa jokainen työvaihe tekee suoraan asiakkaan eli seuraavan työvaiheen tarpeeseen. Näin toimivat myös lohkotehtaassa tapahtuvat osakoonnit, joita valmistetaan imuperusteisesti erilaisilla työpisteillä. Näiden työpisteiden kysynnän vaihtelun tasaamiseen, on määritelty KET-altaat, joilla puskuroidaan työtä niin, että seuraavalla työvaiheella on aina edellytykset tuotantoon ja työpisteellä on tasaisesti tehtävää työtä. Nämä KET-altaat tarkoittavat käytännössä sitä, että työtä voidaan aloittaa ja tehdä valmiiksi varastoon, niin monen laskennallisen työtunnin edestä, kuin KET-altaisiin mahtuu.

Lähtötilanteessa nämä KET-altaat ovat määritelty kestämään karkeasti ehkä viikon tai kahden keskimääräisen kysynnän, kun kaikki aloitusluvallinen työ on valmiina. Nykyiset vakiotyötuntimäärän perusteella lasketut KET-altaat ovat yksinkertaiset ymmärtää ja määrittää, mutta ne eivät osaa huomioida vaihtelevaa kysyntää millään tapaa. KET-altaat, jotka eivät osaa mukautua kysyntään, johtavat siihen, että koonteja ei päästä aina aloittamaan riittävän aikaisin kysyntään ja työpisteen kapasiteettiin nähden, jos työtä vapautetaan liian vähän tehtäväksi. Vastaavasti jos töitä vapautetaan liian paljon, tehdään työluvallisia töitä liian

aikaisin varastoon odottamaan, joka kuormittaa logistiikkaa, sitoo pääomaa, aiheuttaa muita varastointikustannuksia ja ennen kaikkea vie resursseja tärkeämmiltä töiltä.

Tähän ongelmaan ollaan myös käytännössä törmätty tuotannon johtamiseen liittyvissä palavereissa, joissa ollaan havahduttu esimerkiksi siihen, että nopealla tarkastelulla varastossa olevien aloitusluvallisten töiden prosentuaalinen osuus on ollut hälyttävän pieni, mutta tarkemmalla työjonon tutkimisella huomataan, että päivämäärällisesti työtä on aivan riittävästi valmiina seuraavien vaiheiden tarpeisiin. Vastaavasti työluvat ovat voineet olla loppu, mutta silti työpisteillä on voinut olla huoli saada työt aloitetuksi riittävän aikaisin tarpeeseen nähden. Tämä kaikki on johtanut siihen, että tuotannon johtaminen ja ohjaaminen on ollut hankalaa, koska ikinä ei ole voitu luottaa KET-altaiden prosentuaalisiin täyttöasteisiin, vaan tilannetta on tarvinnut tutkia aina syvemmin. Koska tuotannon todellista tilannetta ei ole pystynyt hetkessä silmäilemään täyttöasteista, on myös muuttuneisiin tuotantotilanteisiin reagoiminen ollut hidasta.

Tärkein päämäärä diplomityöllä on synnyttää KET-altaiden avulla työlupia, niin että resurssit ohjautuvat automaattisesti sinne missä on hitain työvaihe ja eniten työlupia, samalla kuitenkin pitäen työpisteiden työmäärät tasaisen virtaavana. Samalla myös tuotantoa on helpompi johtaa, kun KET-altaat ja aloitusluvat töille säätyvät todellisen kysynnän mukaan ja nähdään suoraan työlupien ja valmiiden töiden määrästä tuotereitin taikka työpisteen tilanne.

Tärkeä päämäärä diplomityölle on myös helpottaa logistiikan toimintaa työlupia rajaamalla, sillä telakka-alue on käymässä jatkuvasti ahtaammaksi laivojen suurusluokkien kasvaessa ja varastointiin käytettävään tilaan käytetään entistä enemmän huomiota. Suuren kuormituksen aikana telakan osakoontien varastointiin käytettävää piha-aluetta joudutaan ahtaamaan täyteen niin, että liiallinen työnvarastointi vähintäänkin hidastaa logistiikan toimintaa, mikä epäsuorasti vaikuttaa myös tuotannon tehokkuuteen.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Työn tavoitteena on määrittää laskentakaava ja muuttujat, joiden avulla voidaan määritellä dynaamiset KET-allastasot eri osakoontien tuotereiteille. Tarkoituksena on kuvata, miten nykyinen ohjaustapa toimii ja miten sillä hallitaan tuotantoa, mitkä eri tekijät vaikuttavat

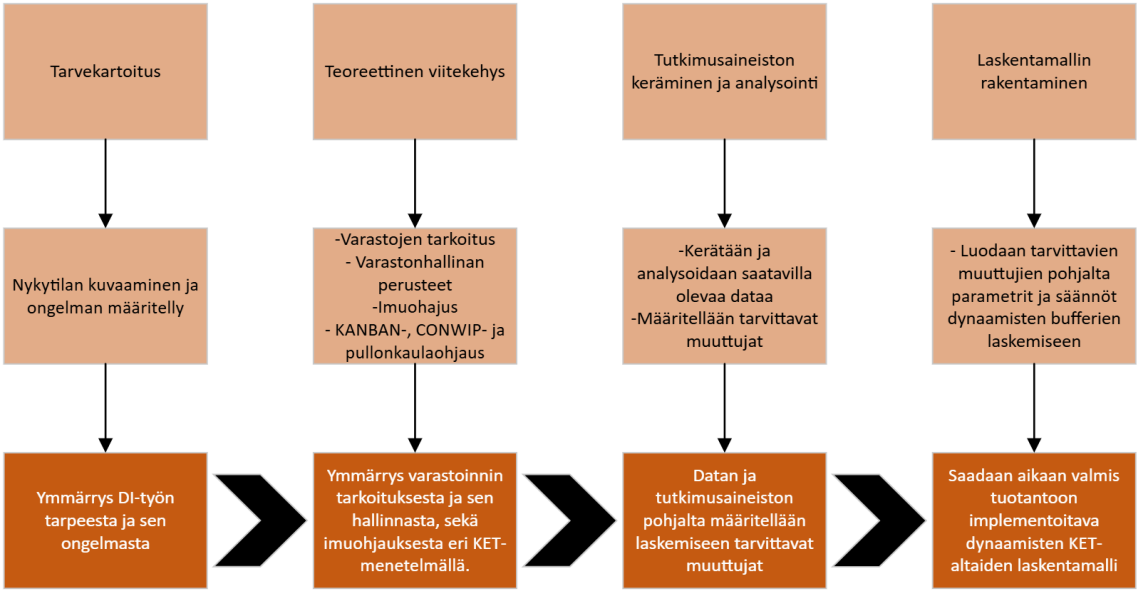
KET-altaan määrittelyyn dynaamiseksi, ja kuinka näiden KET-allastason määrittelyyn vaikuttavien asioiden avulla määritellään optimaaliset dynaamisesti KET-altaat. Tarkoitus on keskittyä toimeksiantajayrityksessä ainoastaan osakoontien valmisosakoontivarastoihin, jotka puskuroivat osakoonnin jälkeisiä vaiheita. Osakoonteja edeltävässä vaiheessa, osavalmistuksessa, ohjaus tapahtuu hyvin samoilla KET-allasperiaatteilla, mutta sen määrittely on tästä työstä rajattu pois. Osavalmistusta käsitellään kuitenkin hieman myös tässä diplomityössä, sillä valmiiden varastossa pidettäviä osakoontien määrä vaikuttaa suoraan myös siihen kuinka paljon valmiita osavalmistuksen teräsosia valmistetaan puskuriin odottamaan.

Näiden asioiden pohjalta tässä opinnäytetyössä pyritään löytämään vastaukset kahteen alla olevaan tutkimuskysymykseen.

1. Mitä asioita tarvitsee huomioida osakoontien dynaamisten KET-altaiden määrittelyssä?
2. Millä laskentaperiaatteilla osakoontien KET-altaiden laskennasta voidaan tehdä dynaamista?

1.3 Tutkimuksen toteutus

Tämä tutkimus on empiirinen tutkimus. Tutkimuksen tarkoitus on kuvata varastoinnin ja tuotannonohjauksen nykytilaa ja sen ongelmia, peilaamalla niitä erilaiseen varastonhallinnasta ja tuotannonohjauksesta kertovaan tieteelliseen kirjallisuuteen. Tämän jälkeen perehdytään tarkemmin kyseiseen kirjallisuuteen ja hahmotellaan teoreettinen viitekehys, kuinka nykytilanteen ongelmaa voidaan lähteä ratkaisemaan. Teoreettisen ymmärryksen jälkeen tarvitaan tuotannon toimimisesta dataa, josta voidaan tutkia paremmin mitkä asiat vaikuttavat KET-altaiden määrittelyyn ja millä ne pitää huomioida dynaamisten allastasojen määrittelyssä. Dataa saadaan toiminnanohjausjärjestelmästä ja erilaisista tietokannoista, joista voidaan tutkia esimerkiksi kysynnän vaihtelua eri aika jaksoilla. Lisäksi tarvitaan ymmärrystä nykyisestä tuotannonohjauksen toiminnasta ja mahdollisista sen luomista rajoitteista. Lopulta havaintojen ja tutkimuksen pohjalta luodaan laskentamalli, jonka avulla voidaan laskea uudet KET-allastasot.



Kuva 1. Opinnäytetyön vaiheet

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tämän tutkimuksen rakennetta on kuvattu Input/Output kaaviossa. Kaaviossa on esitetty tutkimuksen eri vaiheet, mitä kussakin luvussa koitetaan selvittää ja mitä niistä pitäisi syntyä lopputuloksena. Opinnäytetyössä käydään ensin läpi varastoja ja niiden tarkoitusta. Tarkoituksena ymmärtää paremmin mitä erilaisia varastoja organisaatiossa voidaan tarvita ja mitä tarvetta varten. Samalla ymmärretään paremmin, miten varastoja yleensä ohjataan ja miksi varastojen liiallisten tasojen pitäminen ei ole yritykselle kannattavaa. Tämän jälkeen käydään läpi tuotannonohjauksen ja keskeneräisen työn hallintaa, josta saadaan ymmärrystä, kuinka turhaa varastointia voidaan vähentää työnhallinta menetelmillä kuten Kanban, CONWIP ja pullonkaulaohjaus -periaatteilla. Tämän jälkeen tutkitaan tarkemmin, miten lohkotehtaassa tuotannonohjaus toimii ja minkälaisia erityispiirteitä sillä on. Kun ymmärretään enemmän varaston hallinnasta, tuotannonohjauksesta ja lohkotehtaan tuotannosta, voidaan tutkia mitä asioita mahdollisesti pitää ottaa huomioon KET-altaiden määrittelyssä. Kun ollaan saatu riittävä ymmärrys asioista, joita KET-altaan laskennassa täytyy huomioida, voidaan lopulta hahmotella periaatteita, jolla laskenta käytännön tasolla jatkossa tapahtuu.

Taulukko 1. Input/Output taulukko

Input	**Otsikko**	**Output**
Impulssi toimeksiantajalta.	Johdanto.	Pohjustus miksi diplomityölle on tarve ja mitä työssä tehdään.
Miksi työtä voi tarvita varastoida tuotannossa?	Varastot ja niiden hallinta.	Ymmärretään, miksi varastointia voidaan tarvita ja miksi sitä pitää hallita.
Miten varastointi kytkeytyy tuotannonohjauksen periaatteisiin?	Tuotannonohjaus ja keskeneräisen työn hallinnointi.	Ymmärretään, miten tuotannonohjaus kytkeytyy välivarastointiin.
Miten tuotannonohjaus toimii toimeksiantaja yrityksessä?	Tuotannonohjaus ja prosessit telakalla.	Ymmärretään miten tuotanto ja tuotannonohjaus käytännössä toteutuu telakalla.
Mitä asioita täytyy ottaa huomioon KET-altaiden laskennassa osakoonneille?	Osakoontien KET-allastasoihin vaikuttavien tekijöiden listaus ja analysointi	Saadaan käsitys laskennan kannalta merkityksellisistä asioista.
Kuinka KET-altaan laskenta tapahtuu?	KET-altaiden laskentakaava ja sen implementointi	Lopputuloksena määritellään KET-laskentaperiaatteet tarpeellisten tietojen pohjalta.

2 Varastot ja niiden hallinta

Tässä luvussa käsitellään keskeisempiä varastointiin ja varastonhallintaan liittyviä asioita, kuten varastoinnin tarkoitusta, varastoinnista aiheutuvista kustannuksista ja varastonhallinnan menetelmiä. Tämän luvun tarkoituksena on antaa ymmärrystä siihen, mistä syistä välivarastointia telakalla mahdollisesti tehdään, mitä erilaisia kustannuksia varastointi aiheuttaa ja millä menetelmillä voidaan löytää tasapainoinen varastointimalli, joka huomioi telakan varastointitarpeet ja kustannukset. Lisäksi tämä luku toimii pohjustuksena sille, miksi ylipäätään tarvitsee säädellä valmiiksi tehdyn varastoidun työn määrä dynaamisilla KET-altailla.

2.1 Varastojen ja varastonhallinnan tarkoitus

Toimitusketjun varastot koostuvat yleisesti raaka-aineista, komponenteista, puolivalmisteista ja valmiista tuotteista. Varastojenhallinta voidaan ajatella koostuvan tuotantoa tukevista raaka-aineista ja keskeneräisistä tuotteista, tukitoiminnoista kuten huolloista, korjauksista ja käyttötarvikkeista, sekä asiakaspalvelusta lopputuotteiden ja varaosien avulla. (Ross 2015, 309–310.) Ross esittää, että varastojen päätehtävä on mahdollistaa yritysten vastata asiakkaiden vaatimuksiin. Näiden lisäksi hän mainitsee varastojen mahdollistavan useita tärkeitä asioita yrityksessä, joita ovat:

1. Kysyntäpuskurin luominen. Ideaalitilanteessa puskuriin varastointi on turhaa, mutta usein käytännössä sitä tarvitaan, koska toimitusprosessi ei ole riittävän joustava toimittamaan ja materialisoimaan lopputuotetta juuri sillä hetkellä vaihtelevaan kysynnän tarpeisiin.
2. Kysynnän epävarmuuteen varautuminen. Epävarmuuteen varautuminen täytyy tehdä puskuroimalla raaka-aineita, komponentteja ja valmiita tuotteita, kun ennusteista huolimatta ei tiedetä tarkkaa kysyntää.
3. Toimituksen epävarmuuteen varautuminen. Toimittajalta ostettu varastontäydennys voi olla myöhässä useasta ennalta-arvaamattomasta syytä, jotka saattavat aiheuttaa

puutetilanteen tai toimituksen myöhästymistä. Tämänlaisiin tilanteisiin voidaan varautua varastoilla.

4. Edullisten eräkokojen ostaminen. Voi olla esimerkiksi tilanne, missä ostettava tuote on poikkeuksellisesti edullinen, tai tuotetta saa ostettua edullisemmin isoina eräkokoina. Tällöin voi olla kannattavaa varastoida tuotetta enemmän kerralla, kuin sen hetkinen kysyntä on.
5. Prosessien joustavuus. Ylimääräiset varastot tekevät yrityksistä joustavampia yllättävää kysyntää kohdatessa, tekevät tuotannonsuunnittelun aikataulutuksesta joustavampaa, mahdollistavat ekonomisten eräkokojen hyödyntämisen ja mahdollistavat nopeamman tuotannon palautumisen ennalta-arvaamattomissa laite-, työntekijä- ja raaka-aineongelmissa. (Ross 2015, 315–316.)

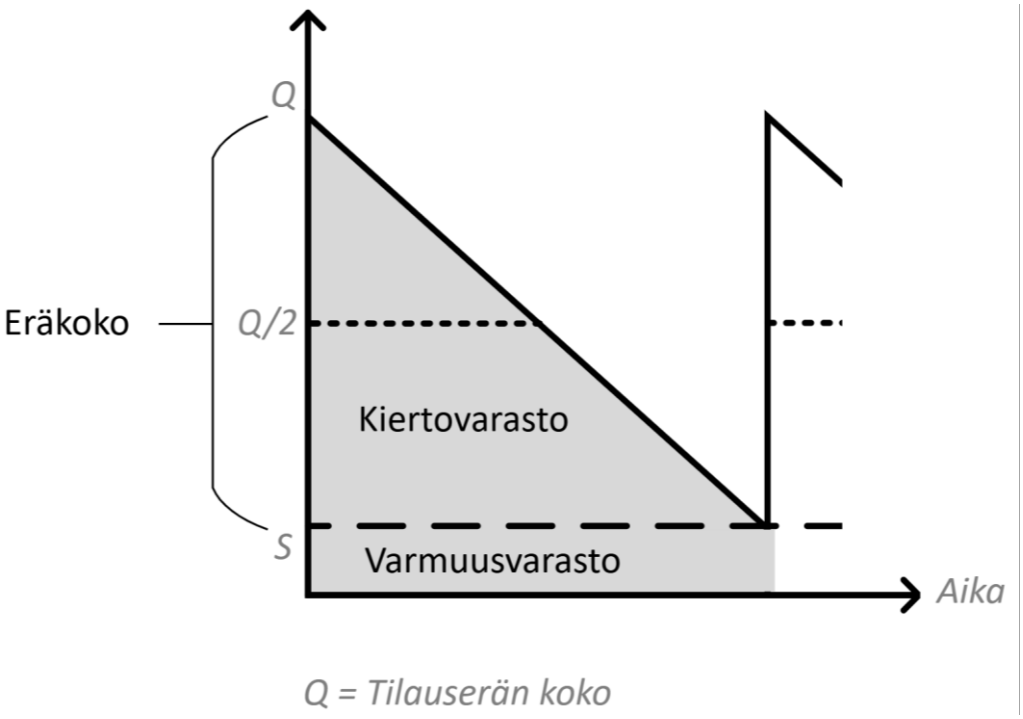
Varastojen hallintaan tarvittavan varastojen hallintasysteemin tarkoituksena puolestaan on määrittää koska ja kuinka paljon varastoja täytyy täydentää. Varastojen hallintasysteemi tekee päätöksen perustuen nykyiseen varastotasoon, ennustettuun kysyntään ja muihin kustannuksia aiheuttaviin asioihin vedoten. (Axsäter 2015, 39–40.)

2.2 Varaston ohjauksellinen luokittelu

Kirjallisuus esittää perinteisesti viisi erilaista toimintoa, joihin varastoa tarvitaan. Näitä ovat kiertovarastot, turvavarastot, ennakointivarastot, prosessivarastot ja suoja/spekulatiiviset varastot.

1. Kiertovarastot. Ne aiheutuvat varaston täydennyseräkoista, joita syntyy, kun varastotäydennyksiä joudutaan ostamaan, tuottamaan ja valmistamaan usein erissä. Tasapainoteltaessa yksittäisen tilaus- ja tuotantokustannuksen sekä varastonpitkokustannuksen välillä, taloudellisin valinta on lopulta usein tietty eräkoko.
2. Varmuusvarastot. Tätä varastotoimintoa tarvitaan turvaamaan yllättävät vaihtelut kysynnässä ja epävarmuudet toimituksessa. Jos vaihtelua kysynnässä ja toimituksessa ei olisi, riittäisi pelkkä kiertovarasto tyydyttämään asiakkaiden tarpeet. Kuitenkin ennalta arvaamatonta vaihtelua usein tapahtuu ja siihen tarvitaan varmuusvarastoja.

Riittävät varmuusvarastotasot määritellään vaihtelun voimakkuuden, varaston täydentämiseen tarvittavan toimitusajan ja varastoon halutun palvelutason perusteella. (Ross 2015, 319–320.)



Kuva 2. Kierto- ja varmuusvarastotasot

3. Ennakointivarastot. Varastoja täydennetään tyypillisesti jo hieman etukäteen, kun tiedossa on kausialennus, markkinointikampanja tai muu odotettavissa oleva muutos kysyntään tai toimitukseen. Tämänlaisella varastoinnilla voidaan varautua isompiin kysyntäpiikkeihin, jotta pystytään myös silloin vastaamaan asiakkaiden tarpeisiin. (Ross 2015, 319–320.)

4. Prosessivarastot. Prosessivarastoilla tarkoitetaan esimerkiksi kuljetuksessa, tuotannossa tai jakelussa olevaa varastoa (Logistiikan Maailma 2024). Kuljetusvarastoja tarvitaan koska varastonimikkeiden liikuttelu vaatii aina aikaa. Kuljetusvarastointia on kaikki varastointi, jossa nimikettä kuljetetaan esimerkiksi rekalla, junalla tai laivalla paikasta toiseen. Kuljetusvarastot on huomioitava, kun arvioidaan varaston riittävyyttä kysyntään, sillä ne sitovat varastoa kuljetuksen ajaksi. (Ross 2015, 319–

320.) Teollisuudessa prosessivarastot riippuvat tuotannon läpimenoajasta ja tuotannon eri vaiheiden välillä pidettävästä välivarastosta (Logistiikan Maailma 2024).

5. Suojavarastot. Tämänlaisia varastoja haalitaan tilanteessa, jossa on tilapäisesti markkinoilla tilanne, jossa varaston täydentäminen on normaalia edullisempaa, toimittajan pelätään menevät lakkoon tai muun ennalta arvaamattoman tapahtuman pelätään tapahtuvan. Tämänlainen varastointi vaatii vankkaa ymmärtämistä hintatrendeistä ja riskeistä, ja sen onnistumista mitataan voittoprosentilla tai sijoitetun pääoman tuotolla. (Ross, 2015, 319–320.)

Opinnäytetyössä keskitytään kierto- ja varmuusvarastointiin, sekä mahdollisesti ennakointivarastoihin, koska työn pääfokus on arvioida sopivia varmuusvarastotasoja, joita käytetään puskuroimaan seuraavien työpisteiden työvaiheita. Lisäksi ennakointivarastot ovat siinä mielessä relevantteja työlle, että ennen työn aloittamista usko on ollut, että yhden laivan rakentamisen aika saattaa tapahtua tämänlaisia isompia vaihteluita eri tuotereittien kysynnässä. Kierto tai kuljetusvarstoja ei varsinaisesta tarvitse isommin huomioida, koska välivarastona toimivia KET-altaita täytetään lähestulkoon yksittäinen tuote kerralla, ilman pitkäkestoisempaa kuljetusvarastoa.

2.3 Erilaiset varastotyypit varastoitavan tuotteen perusteella

Kun puhutaan varastoista, on ymmärrettävä erilaiset varastotyypit, näitä on yhteensä viittä erilaista tyyppiä; raaka-ainevarastot, KET-varastot, puolivalmistevarastot, valmiiden tuotteiden varastot ja MRO (Maintenance, Repair, and Operations) –varastot. (Gattorna 2016, 190.)

1. Raaka-ainevarastot. Raaka-aineita ovat yrityksen ulkopuolelta hankittavat materiaalit, joita käytetään yrityksen tuotantoprosessissa. Raaka-ainevarastoja tyypillisesti täydennetään isoissa erissä, jotta voidaan hyödyntää eräkoista saatavaa hyötyä toimituksissa. (Gattorna 2016, 190.)

2. KET-varastot eli keskeneräisten tuotteiden valmistamiseen käytetyt materiaalit. Kun raaka-aine siirtyy varastolta prosessoitavaksi tuotantoon, on se silloin osa KET:iä. Keskeneräisen työn määrä vaihtelee suuresti eri toimialoittain ja sitä pystytään vähentämään pienentämällä läpimenoaikoja. Tyypillinen yritysten virhe on keskittyä

yksittäisten työpisteiden korkeaan käyttösuhteeseen, joka aiheuttaa ainoastaan korkeita KET-tasoja ja hankaloittaa vaihtuvaan kysyntään reagoimista. Tämän takia raaka-aineita pitäisi vapauttaa tuotantoprosessiin ainoastaan hitaimman pullonkaula-tuotantovaiheen mukaan. (Gattorna 2016, 190.) KET-varastot ovat myös tämän lopputyön kehityksen kohde, joten yllä mainitut asiat on hyvää pitää mielessä KET-varastoja laskettaessa.

3. Puolivalmistevarastot. Puolivalmisteita ovat raaka-aineet, joita ollaan prosessoitu, valmistettu tai koottu välitason osiksi tai osakoonneiksi ja joita varastoidaan väliaikaisesti myöhempää tuotannon vaihetta varten (Gattorna 2016, 190). Tässä työssä aiheena oleva osakoontien työlupien vapauttaminen ja varastointi, on tällaista puolivalmisteiden varastointia.

4. Valmiiden tuotteiden varastot. Valmiit tuotteet ovat hyödykkeitä, joita voidaan myydä asiakkaalle sellaisenaan. Tyypillisesti niitä varastoidaan lähellä asiakkaita, jotta toimitusajat pysyvät lyhyenä ja kuljetuskustannukset pienenä. (Gattorna 2016, 191.)

5. MRO-varastot. Kunnossapito-, korjaus- ja käyttövarastoa tarvitsevat kaikki yritykset sujuvien päivittäistoimintojen operointiin. Näitä ovat kaikenlaiset tyypillisesti edulliset bulkkitavarat, kuten toimistotarvikkeet ja varaosat. (Gattorna 2016, 191.)

2.4 Varastojen hallinnan ristiriidat

Varastojen hallintaa ei pysty kokonaan irrottamaan muista toiminnoista, kuten hankinnasta, tuotannosta ja markkinoista itsenäiseksi toimijaksi, sillä näillä on usein omat näkemykset varastoista. Hankinta toivoo pystyvänsä ostamaan suuria eräkokoja määräalennusten toivossa, tuotanto toivoo suuria valmis- ja raaka-ainevarastoja tuotantokatkosten minimoimiseksi ja markkinointi puolestaan toivoo isoja varastoja hyvän palvelutason ylläpitämiseksi. Varastojenhallinnan tavoitteena onkin löytää tasapaino erilaisten toimintojen välille. Tämän tasapainon löytämiseksi Ross esittää kuusi eri kysymystä, jotka ovat seuraavat: (Ross, 2015, 312.)

1. Mikä on optimaalinen tasapaino varastotasojen ja asiakaspalvelun välillä?

2. Minkä tasoista hallintaa yrityksen tulisi luoda jakelukanaviensa varastoihin?

3. Millaisissa olosuhteissa varastonhallintaa tulisi muuttaa?
4. Mikä on optimaalinen tasapaino varastosijoituksen ja siihen liittyvien kustannusten välillä?
5. Mikä on optimaalinen tasapaino varastosijoituksen ja täydennyskustannusten välillä?
6. Mikä on optimaalinen tasapaino varastosijoituksen ja kuljetuskustannusten välillä?

Relevanteinta osakoontien KET-altaiden tarkastelun näkökulmasta on ensimmäiseksi mainittu optimaalisen tasapainon löytäminen varastotasojen ja asiakaspalvelun välillä. Ross (2015, 312) toteaakin, että tämä kysymys on yksi yrityksen perustavanlaatuisista kysymyksistä, sillä yrityksen täytyy päättää, minkälaisia varastoinnin kustannuksia ollaan valmiita sietämään paremman palveluasteen takia. Tämä on tietysti myös olennainen kysymys KET-altaiden koon määrittelyssä. Kuinka paljon tuotannon voidaan antaa tehdä työtä valmiiksi, suurempien varastointikustannusten valossa?

2.5 Varastointiin liittyvät kustannukset

2.5.1 Varastonpitokustannukset

Varastonpito aiheuttaa vaihtoehtokustannuksia siihen sitoutuneen pääoman myötä. Varastonpitokustannukset ovat suoraan riippuvaisia varaston koosta, arvosta ja siitä kuinka kauan tuotteita pidetään varastossa (Ross 2015, 328.) Varastoihin sitoutuneen pääoman hinta liittyy tyypillisesti vaihtoehtoisten investointien tuottoon, muttei kuitenkaan ole identtinen koska vaihtoehtoisilla sijoituksilla on myös omat riskinsä (Axsäter 2015, 38). Vaihtoehtoisten investointien tuottoa verratessa on hyvä miettiä, mikä olisi pääomantuottoaste, jos pääoma sijoitettaisiin toisiin projekteihin varaston sijaan ja mitä maksaisi, jos varastojen ylläpitoon pitäisi lainata rahaa muualta (Ross 2015, 328).

Pääomakustannus on usein valtaosa varastonpitokustannuksista, mutta varastonpitoon liittyy paljon muitakin kuluja. (Axsäter 2015, 38). Paljolti varastoitavasta tuotteesta ja toimialasta riippuen pääomakustannus ei aina ole suurin varastonpitokustannuksista. Axsäter (2015, 38), sekä Erick C. Jones (2020, 141) luettelee pääomakustannusten lisäksi muita kustannuksia,

joita ovat hallinta-, varastointi-, vahinko- ja vanhentumis-, vakuutus-, arvonalenemis-, varkaus-, sekä verotuskustannukset. Varastonpitokustannukset lasketaan tyypillisesti prosenttiosuutena varastoitavien tavaroiden arvosta. (Axsäter 2015, 38).

2.5.2 Tilaus- ja asetuskustannukset

Varastointiin liittyy usein eräkoista riippumattomia kiinteitä kustannuksia. Tuotannossa näitä ovat asetus- ja opettelukustannukset. Muita kuluja ovat tilausten hallinnoinnista aiheutuvat kustannukset, ja kustannukset, jotka aiheutuvat kuljetuksista ja materiaalien hallinnoinnista. (Axsäter 2015, 38). Näitä kustannuksia myös osakoonneissa on, mutta niitä ei tässä työssä tarkemmin oteta huomioon.

2.5.3 Puutekustannukset

Puutekustannuksia aiheutuu, kun tavaraa ei pystytä toimittamaan kysynnän vaatimalla tavalla. Kun puutetilanne tapahtuu asiakkaan kanssa, voi tilanne olla se, että asiakkaalle toimitetaan puuttuvat tavarat jälkitoimituksena, josta aiheutuu kustannuksia, tai huonoimmassa tilanteessa asiakas vaihtaa kokonaan toimittajaa. Tuotannon puutetilanteista aiheutuvat kustannukset ovat vielä hankalampia arvioida, sillä ne voivat aiheuttaa negatiivisia seurauksia pitkälle tuotantoketjuun esimerkiksi myöhästymisten ja uudelleen aikataulutusten muodossa. Jossain tapauksessa kuitenkin puutekustannukset ovat helppoja arvioida, kun puute voidaan korjata ostamalla esimerkiksi puuttuva tavara kalliimmalla muualta. (Axsäter 2015, 39.) Telakan tapauksessa puutekustannusta on erittäin vaikea arvioida, sillä korvaavaa osakoontia ei pysty ostamaan mistään, ja yhden myöhästyneen osakoonnin vaikutukset voivat periaatteessa yltää pitkälle monimutkaiseen tuotantoketjuun.

2.6 Puutekustannus ja palveluaste varaston hallinnassa

Määritettäessä sopiva varmuusvarastotaso taikka tilauspiste, voidaan määrittely pohjauttaa joko valittuun aiemmin mainittuun puutekustannukseen tai palveluasteeseen (Axsäter 2015, 79). Axsäter määrittelee puutekustannuksien osalta kaksi laskutapaa:

b_1 = *Puutekustannus per yksikkö ja aikayksikkö*

b_2 = Puutekustannus per yksikkö

Ensimmäisen tavan b_1 tyyppinen puutekustannus on relevantti esimerkiksi silloin kuin koneen varasosa on loppu ja asiakakkaan odotusaika pitenee ja kustannukset syntyvät suhteessa asiakkaan odotusaikaan. Toisen metodin b_2 tyyppinen tilanne voi syntyä silloin kun puutetilanteet voidaan korvata suuremmilla kuluilla esimerkiksi ylitöiden muodossa. Ammattilaiset kokevat usein hankalaksi puutekustannuksen hinnan määrittelyn, mutta toisaalta se mahdollistaa tasapainon löytämisen puute- ja varastonpitokustannusten välillä. (Axsäter 2015, 80.)

Käytännössä on siis usein helpompaa laskea palveluaste kuin puutekustannustaso, ja siksi usein käytetäänkin palveluastetta määrittelemään varastotasoja (Axsäter 2015, 79). Palveluasteelle Axsäter antaa kolme erilaista määritelmää.

S_1 = Todennäköisyys että varastot eivät lopu tilaussyklin aikana

S_2 = ”Täyttöaste” – se osuus joka kysynnästä voidaan välittömästi tyydyttää saatavilla olevalla varastolla

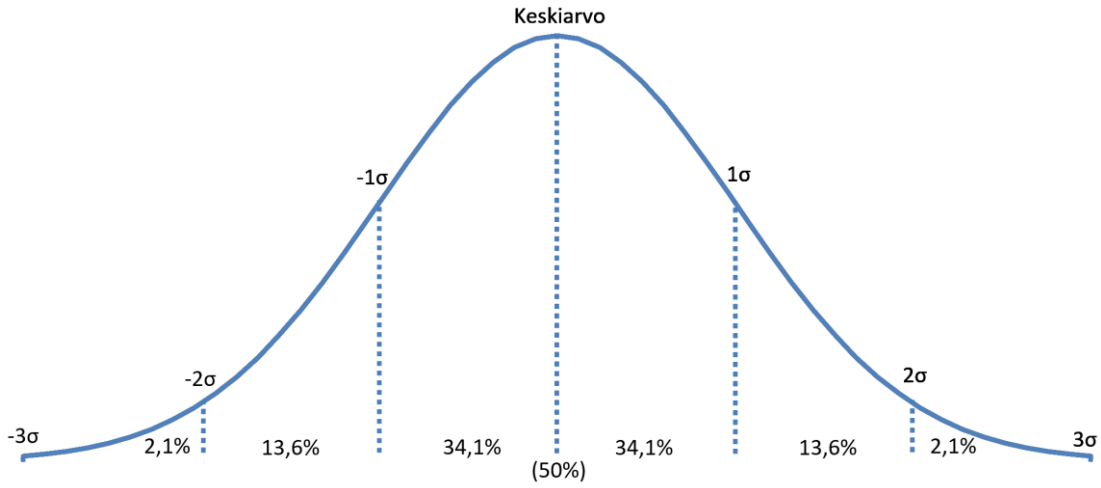
S_3 = ”Valmiusaste” – se ajallinen osuus, kun varastosaldo on positiivinen

Ensimmäinen S_1 määritelmä kuvastaa millä todennäköisyydellä tilaus saapuu ennen kuin varastot loppuvat kesken. Se on yksinkertainen määritelmä käyttää, mutta se ei kuitenkaan huomioi lainkaan eräkokoja. Täyttöaste S_2 ja valmiusaste S_3 hankaloittavat tilauspisteiden määritelmää, mutta ne antavat paremman kuvan asiakkaan palvelusta. Nämä kaksi tapaa ovat jatkuvan kysynnän tilanteessa yhtä hyviä, mutta kun asiakas tilaa useamman kappaleen kerralla, varastot eivät välttämättä riitä kattamaan suurta tilausta. Valmiusaste S_3 voi olla suuri, jos varastossa on jatkuvasti vähän varastoa, mutta täyttöaste S_2 voi silti olla pieni, jos asiakkaat tilaavat suuri eriä kerralla. Palveluastetta taikka tasoa voidaan myös toki määritellä monilla muillakin tavoilla kuten keskimääräisellä asiakkaan odotusajalla. (Axsäter 2015, 79.)

Telakan kontekstissa tarkasteltuna relevantein on ensimmäinen määritelmä S_1, jossa ohjaus pohjautuu siihen näkökulmaan, että varastoilla pystytään lähtökohtaisesti aina heti vastaamaan kysyntään, pois lukien tietoisesti palveluastetasolla määritelty puutemahdollisuus. Täyttöaste S_2 ja valmiusaste S_3 puolestaan lähtevät enemmän siitä ajatuksesta, että varastoilla ei tarvitsekaan aina vastata suoraan kysyntään. Jos mietitään siis mitä puutetilanne osakoonneissa käytännössä aiheuttaisi, ilmeisintä olisi mahdollinen aloituksen myöhästyminen tyypillisesti seuraavana vaiheena olevan lohkonkoonnin osalta. Yksittäinen puuttuva

osakoonti voi hyvällä tuurilla olla merkityksetön lohkon kokoamiselle, jos sitä ei koontiohjeissa tarvitse asentaa heti ensimmäisten joukossa. Kuitenkin huonolla tuurilla se vaikuttaa suoraan lohkon valmistumiseen, ja jollei lohkonkoontia erikseen miehittämällä nopeuteta, valmistuu se myöhässä ja mahdollisesti varaa paikan seuraavaksi aloitettavalta lohkolta. Suunniteltua myöhemmin valmistuva lohko myös johtaa siihen, että varustelutyöt pääsevät alkamaan myöhässä ja tämä taas voi huonolla tuurilla myöhästyttää seuraavaa suurlohkonkoontivaihetta. Tämä myöhästymä voi periaatteessa yltää kaikkiin tuotannon vaiheisiin lohkonkoonnista eteenpäin. Onneksi usein on todennäköisempää, että päivän tai parin myöhästynyt yksittäinen osakoonti ei vaikuta niin paljoa, etteikö lohkolla olisi mahdollisuutta valmistua aikataulussa. Tämän vuoksi S_1-menetelmän palveluaste ajattelu sopii siis parhaiten osakoontien varastoinnin kontekstiin, koska lähtökohta on, että osakoontien kysyntään saadaan lähes aina vastattua.

Ensimmäisessä S_1-menetelmässä varastojenhallinta pohjautuu varmuusvarastojen palvelutasoon, ja todennäköisyyteen, etteivät varastot lopu täydennyssyklien välissä. Korkea palveluaste palvelee asiakkaan vaihtelevaa kysyntää hyvin, mutta sitoo paljon varastoja, ja vastaavasti matala palveluaste sitoo varastoja vähän, mutta vastaa huonosti asiakkaan vaihtelevaan kysyntään. Palveluasteprosentin määrittelyä varten tarvitaan kysynnän standardipoikkeama eli keskihajonta (σ), joka saadaan todellisen kysynnän poikkeamasta keskimääräiseen kysyntään verrattuna. Määrittelyyn tarvitaan myös ymmärrystä normaalijakaumasta tilastollisen keskiarvon ympärillä *n* jakson aikana, jossa tilastollisesti otokset keskittyvät keskimääräisen kysynnän ympärille. Tilastollisesti yksi standardipoikkeama (±1 σ) sisältää 68,27 % keskiarvon ympärillä olevista otoksista, kaksi standardipoikkeamaa (±2 σ) 95,45 % ja kolme standardipoikkeamaa (±3 σ) 99,73 %. (Ross 2015, 372–374.)



Kuva 3. Normaalijakauma

Eli esimerkiksi jos nimikkeen varmuusvarastot ollaan määritelty yhden keskihajonnan mukaan, on todennäköisyys koko nimikkeen loppumiseen keskiarvon alla oleva osuus 50% summattuna yksi keskihajonta 34,1% ($68{,}27/2 = 34{,}1$), josta tulee todennäköisyydeksi ja palveluasteeksi yhteensä 84,1% ($50 + 34{,}1 = 84{,}1$). Tai vastaavasti, jos varastot määritellään kahden keskihajonnan (2 σ) perusteella, tulee palveluasteeksi $50\% + 47{,}7\%$ eli 97,7 %. (Ross 2015, 374.) Käytännössä tämä siis tarkoittaa sitä, että jos halutaan että 97,7 % todennäköisyydellä nimike ei lopu täydennyssyklien välissä, täytyy varmuusvarastoja olla kahden standardipoikkeaman verran ylimääräistä kysynnänkeskiarvon mukaan laskettavan kiertovaraston lisäksi.

3 Tuotannonohjaus, keskeneräisen työn hallinnointi ja työn kuormittaminen

Tässä luvussa käsitellään osakoontien tuotannonohjaukseen liittyviä keskeisimpiä käsitteitä. Keskeisimpänä asiana käydään läpi keskeneräisen työn hallinnointiperiaatteita teoriatasolla, ja miten sopivaa tasapainoa keskeneräiselle työmäärälle voidaan lähteä hakemaan.

3.1 Työntö- ja imuohjaus

Työntöohjaus on tyypillistä, kun käytetään MRP I (Material Requirements Planning) tai MRP II (Manufacturing Resource Planning) suunnittelua (Spearman, Woodruff & Hopp 1990, 880) ja näiden pohjalle myös ERP-systeemit pohjautuvat. MRP:ssä on kuitenkin omat ongelmansa, sillä MRP ei aina osaa luoda todenmukaisia suunnitelmia ja se käyttää kiinteitä läpimenoaikoja, jotka eivät tasapainotu kapasiteetin käytön mukaan. Luontaisesta vaihtelusta ja ruuhkaisten tilanteiden ennakoinnista johtuen, läpimenoajat arvioidaan usein pessimistisesti, joka johtaa tilanteeseen, että työtä pitäisi olla teoriassa valmiiksi tehtynä varastoon, mutta sen sijaan päädytäänkin tekemään montaa työtä kerralla, joka johtaa suurin KET-tasoihin. (Spearman ym. 1990, 880.)

Imupohjainen ohjaus taas ei aikatauluta mitenkään töiden aloittamista, vaan siinä puolestaan annetaan lupa tuotannolle. Tyypillinen esimerkki imuohjauksesta on Kanban, jossa osien käyttö seuraavassa työpisteessä antaa aiemmalle työpisteelle luvan valmistaa lisää osia ja aiemman työpisteen työn aloitus antaa luvan sitä edeltäville vaiheille ja niin edespäin. On lisäksi myös muistettava, että imu- ja työntöohjaus eivät myöskään ole toisiaan pois sulkevia ohjausmenetelmiä, vaan niitä voidaan käyttää yhdessä. (Spearman ym. 1990, 880.)

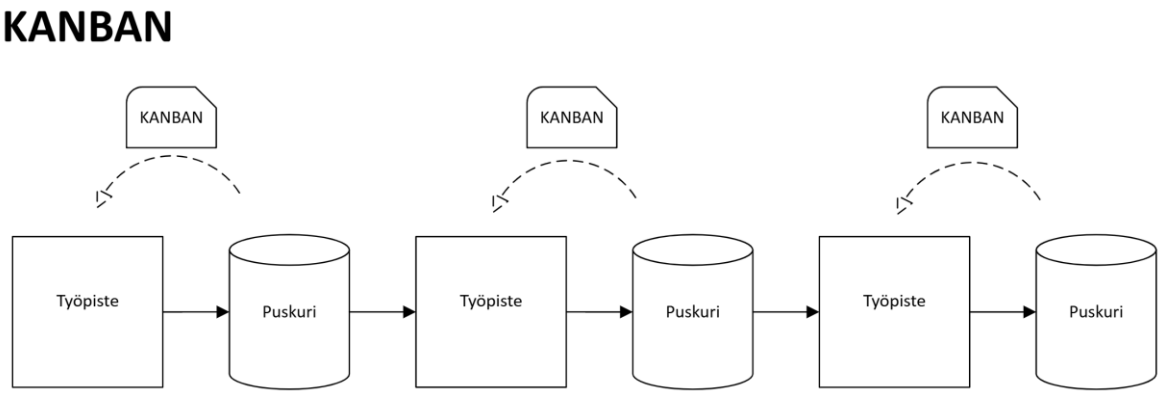
Mitä tulee imuohjaukseen, Sperman ym. (1990, 881) pitävät sitä yleisesti parempana kuin työntöohjausta, johtuen ympäristö-, jonotus- ja ohjausvaikutuksista. Imuohjauksessa tyypillisesti vähennetään Kanbanien ja keskeneräisen työn määrä, mikä tuo paremmin esille tuotannon ongelmia ja pakottaa tuotantoympäristön paremmin mukautumaan aiemmin piilossa oleviin ongelmiin. Imuohjauksen keskeneräisen työn rajoittaminen pakottaa myös työn odottamaan työjonoissa, kun KET-raja on saavutettu, mikä vähentää keskeneräistä työmäärää

tuotannossa, lyhentäen tuotannon läpimenoaikoja ja pienentäen vaihtelua läpimenoajassa. Kolmas hyöty imuohjauksessa on, että siinä hallitaan KET:n määrä, eikä tuotannon outputin määrä niin kuin työntöohjauksessa. KET:n optimointi puolestaan on paljon yksinkertaisempaa ja vähemmän virheherkkää, kuin työntöohjauksessa outputin säätö. (Spearman ym. 1990, 881–883.)

3.2 Kanban

Kanban on osa Toyta Production System (TPS) järjestelmään, joka luotiin ensisijaisesti varastotasojen, tuotannon ja komponenttien toimitusten hallintaan (Muris & Moacir 2010, 1). Kanban tarkoittaa japaniksi korttia (Lödding 2013, 183). Kanban on aikataulutus- ja fyysinen toimitusjärjestelmä, joka mahdollistaa Leanin ja just-in-time periaatteet tuotannossa (Issar & Navon 2016, 69). Kanban systeemin kuvataan yleensä koostuvan korteista, joilla hallitaan tavaroiden, osien ja raaka-aineiden toimitusta tai valmistusta (Muris & Moacir 2010, 1). Kanbanissa voidaan ajatella olevan kaksi fyysistä sijaintia jokaiselle tarvittavalle tavaralle, kun ensimmäinen materiaalierä tai niin sanotusti Kanban on käytetty, korvataan se uudella Kanbanilla niin, että seuraavalla vaiheella on jatkuvasti saatavilla materiaalia (Issar & Navon 2016, 69). Usein Kanban-systeemiä ja kortteja käytetään kuvastamaan myös laajemmin vastaavanlaisia systeemejä yrityksissä, joissa materiaaleja hallitaan erilaisten korttien avulla, kuten tuotantotilausten, aikataulomakkeiden, materiaalilistausten ja tuoterakenteiden avulla (Muris & Moacir 2010, 1).

Tyypillisimmät kirjallisuudessa esitetyt Kanbanin muodot ovat yksi- ja kaksikortti Kanbanit. Yksi-kortti-Kanbanissa jokaiselle työpisteen variaatiolle on olemassa tietty määrä tuotanto-Kanbaneja. Nämä Kanbanit liikkuvat edestakaisin työaseman ja sen varaston välillä. Kanban valtuuttaa työpisteellä kyseisen variantin uudelleen tuotannon ja varastossa taas se identifioi kyseisen tuotevariantin muista. Kanbanista selviää vähintäänkin mihin työpisteeseen se kuuluu, mihin tuotevarianttiin se kytkeytyy, mikä on mahdollinen eräkoko ja mikä on kyseisen Kanbanin juokseva numerointitunnus. Kaksi-kortti-Kanbania käytetään sellaisissa tapauksissa, jossa tuotteen valmistus- ja kulutuspaikan välillä on huomattava välimatka. Kyseisessä Kanbanin variaatiossa käytetään tuotanto-Kanbanin lisäksi myös kuljetus-Kanbania, joka laukaisee materiaalisiirron tuotannon varastosta kuluttajan vastaanotto varastoon. (Lödding, 184–188.)



Kuva 4. Yksi-korttinen-Kanban kuvattuna

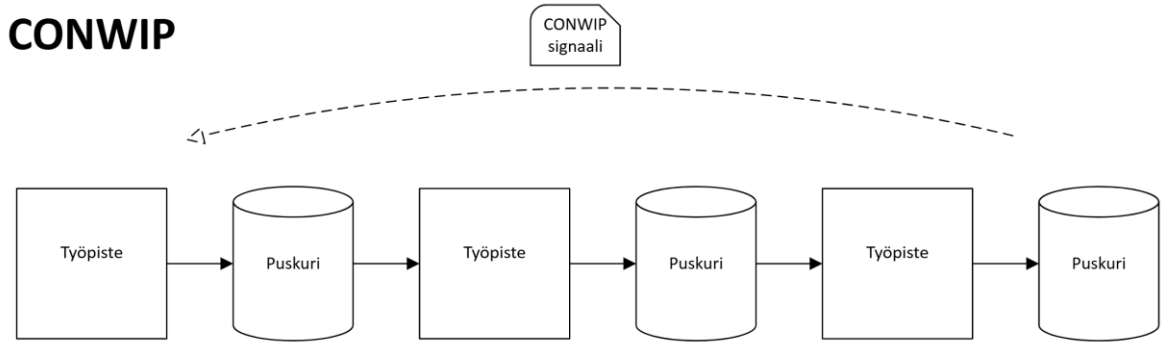
Toimiva Kanban-järjestelmä vaati toimiakseen jatkuvaa huoltamista ja visuaalista tarkastelua. Kanbania tulee jatkuvasti ”huoltaa” säätämällä sen kokoa tuotantomäärien vaihteluiden mukaan ja tekemällä siihen muutoksia suhteessa materiaalin kysynnän mukaan. Yllättävää kysyntää voi aiheutua tuotannossa muistakin asioista, kun kasvaneesta kysynnästä, esimerkiksi laatuvirheiden takia. Laatuvirheet tuotannossa aiheuttavat helposti ylimääräistä työtä ja vaihtelua tuotannossa, siksi laaduntarkastelulla voidaan myös vaikuttaa tasaisempaan kysynnän vaihteluun. (Issar & Navon 2016, 70–71.)

Toinen vaatimus visuaalisesta tarkastelusta tarkoittaa, että Kanban järjestelmän varastotasoja tulee visuaalisesti raportoida ja hallita jatkuvasti, jotta osien määrä voidaan tunnistaa ja hallita. Kanban lokerot tai varastot tulisi olla nähtävissä tuotannossa ja niiden pitäisi jatkuvasti olla 80–100 % täynnä, jotta voidaan nähdä helposti, että toimitus ja kysyntä ovat tasapainossa. Jos Kanban-taso tipahtaa alle 80 %, voi se olla merkki materiaalipuutteesta. Helposti nähtävissä ja havainnoitavissa oleva materiaalin tilanne auttaa tuotannon johtoa reagoimaan mahdollisiin materiaalipuutteisiin nopeammin. Myös esimerkiksi erilaiset visuaaliset raportoinnit värikoodein mahdollistavat sen, että muutkin, kun tuotantotiloissa liikkuvat pystyvät reagoimaan tilanteisiin nopeammin. (Issar & Navon 2016, 70–71.)

3.3 CONWIP

On olemassa useita erilaisia variaatioita Kanbanista, joita yritykset implementoivat omiin erityispiirteisiin ja tuotantovirtaukseen sopivaksi. Näistä yksi on CONWIP (Constant Work In Progress), joka voidaan suomentaa tarkoittamaan jatkuvaa työnkulkua, taikka jatkuvaa

työssä käytettävää materiaalivirtaa. (Pinto ym. 2018, 89). CONWIP itsessään on yleistetympi muoto Kanbanista ja Kanbanin tavoin käyttää vastaavanlaista signaaliperiaatetta töiden aloittamisille. (Spearman ym. 1990, 883). CONWIP:n käyttöperiaate on varsin yksinkertainen, se vapauttaa tuotantolinjastolle tilauksen heti, kun tuotantolinjan tai työpisteen KET laskee alle määritellyn rajan. Tämä tuotantoon vapautettava tilaus puolestaan vapautetaan prioriteettilistan perusteella. KET:n kokoa määritellään tuotannossa osien lukumäärällä, tilausten lukumäärällä tai suunniteltujen työtuntien pohjalta. (Lödding 2013, 335-336.)



Kuva 5. CONWIP kuvattuna

3.4 Kanban ja CONWIP ohjausten erot

Kanbanin ja CONWIP:n eroksi Spearman ym. (1990, 883) määrittelvät että Kanban-systeemissä jokainen kortti signaloi tietyn osan valmistamista ja CONWIP systeemissä puolestaan kortit jaetaan tuotantolinjalle eikä osanumerokohtaisesti. Lisäksi Spearman ym. (1990, 886) mainitsevat, että CONWIP soveltuu useampaan tuotantoympäristöön, toisin kun Kanban, johtuen alla listatuista syistä:

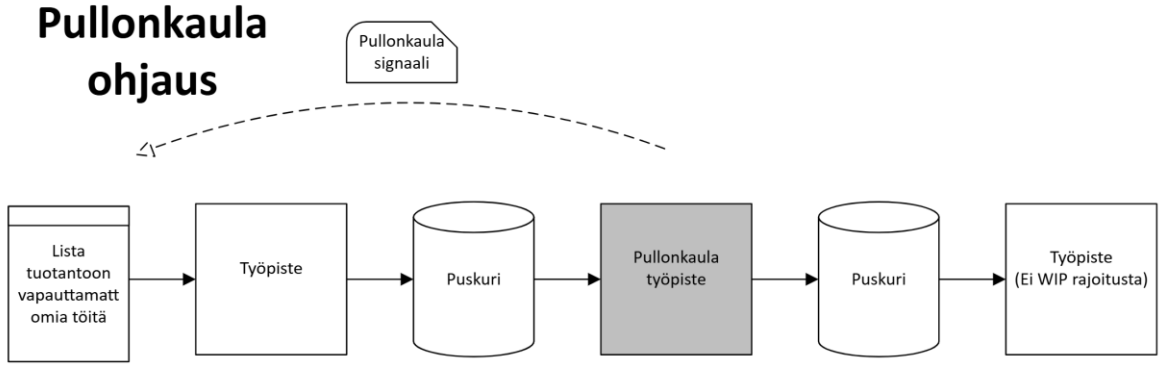
1. CONWIP ei vaadi jokaiselle osanumerolle omaa materiaalikonttia.
2. CONWIP soveltuu myös tuotanto-olosuhteisiin, joissa on merkittävät asetuskustannukset.
3. CONWIP mahdollistaa tuotannonohjaajan töiden uudelleen järjestelyn, koska käytössä on työjonot, joita voidaan hallita muualtakin, kun itse tuotantotiloissa.
4. CONWIP mahdollistaa teoriassa pienemmän KET tason, koska vapautetut työt keskittyvät yleensä pullonkaulaan, kun taas Kanbanissa pullonkaulaa edeltävät vaiheet ovat aina työllistettyjä. (Spearman ym. 1990, 886.)

Diplomityötä aloittaessa oletuksena oli, että osakoontien ohjaus perustuu CONWIP-menetelmään, mutta siinä on toisaalta ehkä enemmän perinteisen Kanban menetelmän piirteitä. Lohkotehtaan osakoontien ohjauksessa aloituslupia annetaan työtunteina tuotereiteille, jotka sisältävät yhden tai useamman työpisteitä niputettuna yhteen. Kuitenkin tuotereiteittäin niputetut työpisteet ovat yleensä lähinnä rinnakaisia työpisteitä, joilloin saman tuotereitin sisällä työtä ei kulje työpisteeltä toiseen, vaan ainoastaan yhden työpisteen kautta valmiskoontivarastoon. Tätä logiikkaa peilaten osakoontien ohjaus vaikuttaa enemmänkin yksi-korttiselta-Kanbanilta, sillä aloitusluvalla hallitaan lähinnä yhden työvaiheen työpisteitä, vaikka työtä jaetaankin fyysisesti erilaisille työpisteille. Toisaalta työtä ohjataan kuitenkin sähköisillä työjonoilla, joita tuotannon ohjaaja hallitsee ja uudelleen järjestelee jatkuvasti, mikä taas sopii ainakin Spearmann ym. (1990, 886) määrittelyssä paremmin CONWIP:n kuvaukseen. Lisäksi myöskään saman altaan alla olevat tuotereitin työpisteet eivät aina ole kuitenkaan puhtaasti rinnakkaisia vaiheita, vaan välillä osakoonti voi liikkua usean samassa tuotereitissa olevan työpisteen välillä. Joten tästä syystä molempia ajatuksia käsitellään tässä työssä, sillä CONWIP:kin kuitenkin lopulta pohjatuu Kanbaniin. Näiden lisäksi on myös tunnistettavissa että osakoontien tekemistä rajoittaa selkeästi lohkonkoonnin tekeminen, joten siksi on tarpeen myös tarkastella pullonkaulaohjausta seuraavassa kappaleessa.

3.5 Pullonkaulaohjaus

On olemassa myös CONWIP-tyylinen menetelmä hallita tuotantoa, jossa tuotannon hallinta tapahtuu ainoastaan pullonkaulavaiheeseen asti toisin, kuin mitä CONWIP-ajattelussa. Tästä käytetään kirjallisuudessa nimeä pullonkaulaohjaus ja se on periaatteeltaan hyvin lähellä niin sanottua drum-buffer-rope konseptia. Se on yksinkertainen tapa muuntaa pullonkaulavaihe tuotannonohjausmetodiksi ja erittäin käytännöllinen menetelmä juuri silloin, kuin pullonkaula on selkeästi nähtävissä. Pullonkaulaohjauksessa tuotanto jaetaan KET-menetelmällä hallittuihin osioihin pullonkaulavaiheeseen asti, jonka jälkeen tuotanto tapahtuu vapaasti virraten. (Lödding 2013, 347–348.) Pullonkaulaohjauksessa tavoitteena on, että pullonkaulavaiheella on aina työn edellytykset kunnossa, kuitenkin niin, etteivät sitä aiemmat vaiheet voi tehdä suuremmalla kapasiteetilla, kun mitä pullonkaulavaihe (Slack ym. 2022, 345). Siksi menetelmässä tuotantoprosessiin voidaan vapauttaa lisää työtä ainoastaan silloin, kun

pullonkaulavaihe saa työn valmiiksi ja vapauttaa Kanban tyylisen pullonkaulakortin. (Lödding 2013, 347–348.)



Kuva 6. Pullonkaulaohjauksen periaate

On olemassa myös malleja, jotka sopivat tuotantoon, jossa on useampia tunnistettuja pullonkauloja (Lödding 2013, 349). Lohkotehtaassa selkeitä pullonkauloja on vaikea määritellä, joten muita pullonkaulamalleja ei lähdetä enempää avaamaan. Kuitenkin tyypillisesti osakoonteja tehdään enemmän lohkonkoonnin tahtiin, kuin toisin päin, joten siinä voisi olla mahdollisuus hyödyntää KET-laskennassa myös pullonkaula-ajattelua.

3.6 CONWIP-korttien määrän määrittely tuotantoon

Lödding (2013, 341) esittelee ensimmäisenä CONWIP-korttien määrän määrittelyyn niin sanottuna toiminnallista menetelmää, jossa perusideana on hiljalleen vähentää KET:n kokoa. Hiljalleen pienentämällä KET:n kokoa paljastuu prosessin häiriötekijät, jotka voidaan ratkaista samalla. Alun perin KET:n altaan koko määritellään riittävän kokoiseksi niin, että tuotanto pyörii ongelmitta. Tämän jälkeen CONWIP-korttien määrää vähennetään ja havainnoidaan vaikuttaako vähennys tuotannon käyttöasteeseen tai onko se lähellä vaikuttaa siihen. (Lödding 2013, 342.) Yksi tapa havainnoida korttien vähentämisen vaikutusta tuotantoon on keskittyä sen työpisteen jonoon, jonka kapasiteetin käyttö on kriittisintä (Hopp 1996). CONWIP-korttien määrä voidaan alkuun määrittää tarkastelemalla, kuinka monta tilausta on implementointihetkellä tuotannossa, ja antaa kortteja yhtä paljon tuotantoon käytettäväksi, kun tarkasteluhetkellä tilauksia on. Toinen tapa määritellä CONWIP-korttien määrä alkuun on

peilata sitä tuotannon suunniteltuun läpimenoaikaan ja käyttää apuna Littlen lakia, joka suomennettuna on: (Lödding 2013, 342.)

$$läpimenoaika = \frac{keskeneräinen\ työ}{jaksoaika}$$

Keskeneräinen työ tarkoittaa CONWIP-korttien määrää. CONWIP-korttien määrä voidaan laskea siirtämällä jaksoaika yhtälön toiselle puolelle, ja kertomalla keskimääräinen läpimenoaika keskimääräisellä jaksoajalla.

Toiminnallinen menetelmä, jossa CONWIP-korteille asetetaan alustava taso, jota vähennetään, on yksinkertainen tapa määritellä CONWIP-korttien määrä. Sen hyviä puolia on, että se tuo jatkuvan parantamisen filosofiaa tuotantoon ja se perustuu todelliseen tuotantolinjastoon. Siinä on kuitenkin myös ongelmansa, sillä se vaatii usein pitkää tarkasteluaikaa ja logistista asemoitumista. Usein kuitenkin niin ei tehdä, kun CONWIP-kortteja vähennetään hiljalleen, vaan se perustuu usein korttien määrän asettavan tahon turvallisuuden tunteeseen. (Lödding 2013, 343.)

Nykyisten Kanban-korttien määrä on todennäköisesti implementoitu hyödyntäen tällaista toiminnallista mallia alkutason asettamisessa. Korttien määrää ollaan ajan myötä hieman hilattu ylös tai alaspäin tarpeen mukaan. Käytännön kokemus on tosin osoittanut, että nykyisen vakio KET:n määrän tuotannossa on saattanut joidenkin tuotereittien kohdalla olla selkeästi asetettu yläkanttiin tuotereitin valmisvaraston riittävyyttä tarkasteltaessa. Selkeästi aiemmin mainittua korttien määrän hiljalleen vähentämistä ja seurausten havainnointia ei olla ehkä tehty lähtötilanteessa riittävän pitkälle, sillä välillä työtä voidaan tehdä puskuriin turhankin pitkälle. Toisaalta, kun CONWIP-korttien määrä on ollut vakio, ei keskeneräisen työn määrää ole myöskään pystynyt vähentämään, sillä vakio KET-määrä on täytynyt olla riittävän iso myös hetkellisiin kysynnän nousuihin.

3.7 Töiden vapauttaminen tuotantoon

Tilauksen vapautuspiste tarkoittaa pistettä, jolloin tilaus vapautetaan tuotantoon valmistettavaksi. Samassa vaiheessa tyypillisesti myös materiaalit varataan tuotantotilaukselle. Kriteereitä tilausten vapauttamiselle tuotantoon voidaan yleisesti ottaen nimetä neljä erilaista.

1. Tilaukset voidaan vapauttaa heti tuotantoon niiden synnyttyä.
2. Tilaukset voidaan vapauttaa heti kun niiden suunniteltu aloituspäivämäärä saavutetaan.
3. Tilaukset voidaan vapauttaa, kun tuotannon tai työaseman kuormitus laskee alle suunnitellun arvon.
4. Tilaukset voidaan vapauttaa huomioimalla nykyiset ja tulevat työasemakohtaiset kuormitukset, jonka avulla saadaan kaikkia työasemia kuormitettua tasaisemmin. (Lödding 2013, 305–306)

3.7.1 Välitön tilausten vapauttaminen

Ensimmäinen tapa tilausten vapauttamisesta heti niiden synnyttyä sopii lähinnä varasto-ohjautuvaan tuotantoon, jossa tuotanto voi usein aloittaa työt heti tilauksen synnyttyä. Tilausohjautuvaan tuotantoon tämänlainen ohjaustapa harvemmin sopii, sillä välittömässä vapauttamisessa ei huomioida mitenkään keskeneräisen työn määrää, läpimenoaikaa tai tuotantokapasiteetin hyödyntämistä. Tämä aiheuttaa sen, että kiireellisimpiä töitä ei mitenkään huomioida tuotannossa, vaan tuotannossa on kerralla iso määrä kiireellisiä ja kiireettömiä tilauksia syömässä resursseja. Samalla myös läpimenoajat venyvät pitkiksi ja tilausten suunnittelu vaikeutuu. (Lödding 2013, 306.)

3.7.2 Eräpäiväpohjainen tilausten vapauttaminen

Toinen tapa vapauttaa tilauksia on vapautus suunnitellun aloituspäivämäärän perusteella. Tämänlainen vapautustapa sopii tuotantoon, jossa sisään tulevat tilaukset ja tuotannosta ulos tulevat valmiit tilaukset voidaan tarkasti suunnitella ja implementoida. Tämä tapa sopii huonosti tarkasteltavien osakoontien vapauttamiseen, sillä se ei sovellu tilanteeseen, jossa tuotanto ei pysty valmistamaan tarkasti suunnitellussa aikataulussa. Tilanteessa, jossa tuotantoaikataulusta poiketaan, tilausten vapauttaminen häiriintyy. Kun ollaan aikataulusta jäljessä, keskeneräisen tuotannon määrä kasvaa häiritsemään tuotantoa ja vastaavasti kun ollaan aikataulusta edellä, tuotantoon ei vapaudu riittävästi tai lainkaan työtä. (Lödding 2013, 306–308.)

3.7.3 KET-rajoitteinen tilausten vapautus

Kolmas tapa vapauttaa tuotantoa, on tapa, jolla nykyisin ohjataan osakoontien työmäärää ja valmisvarastoa. Siinä keskeneräisen työn maksimimäärällä ohjataan tuotantoa ja tilausten vapauttamista. Tämänlaisessa vapautustavassa tuotantoon vapautettava työmäärä vastaa aina tuotannon aikaan saamaa työmäärää. Tämänlaisella periaatteella pitkälti myös nykyinen Kanban pohjainen osakoontien KET-ohjaus toimii. Erona on lähinnä, että Kanban-periaatteen lisäksi tilausten vapauttamiselle on määritelty aikaikkuna, jonka jälkeen olevia tilauksia ei voi vapauttaa etukäteen. Lödding mainitsee useita hyviä puolia KET-pohjaiselle tilausten vapauttamiselle, joita ovat:

1. KET-ohjauksen määrittelyä on vaikea tehdä väärin, sillä liian pieni tai suuri KET yleensä hidastaa tuotantoa vain vähän.
2. Ohjaus sopeutuu automaattisesti tilanteeseen, jossa ei noudateta tuotannon aikataulua.
3. Läpimenoajat pysyvät säännöllisenä, kun tuotantoon vapautetaan aina tasaisesti työtä
4. Ohjaus suojaa suurilta kysynnän ja halutun toimitusajan vaihteluilta.
5. Tuotannon tai työpisteen kuorman ylittäessä kapasiteetin KET-ohjaus rajoittaa automaattisesti tuotantoon vapautettavia tilauksia, jolloin vapauttamattomia tilauksia voidaan vielä uudelleen priorisoida tai muuttaa asiakkaan toimesta.
6. Pullonkaula automaattisesti määrittää koko tuotannon tahdin, sillä tuotantoon ei voi vapautua tilauksia enempää, kuin mitä hitain vaihe pystyy ottamaan vastaan.
7. KET-ohjaus suojaa tuotantoa alikuormalta vapauttamalla automaattisesti töitä etukäteen.
8. Rajoitettu työmäärä sitouttaa myös vähemmän pääomaa verrattuna ohjaukseen, jossa tilauksen vapautetaan heti niiden synnyttyä tuotantoon. (Lödding 2013, 308–311.)

Useista hyödyistä huolimatta rajoitetulla KET-tasolla ohjaamisella voi myös olla huonoja puolia. Ensinnäkin KET-hallinta pitää koordinoida aikataulutuksen kanssa, sillä tilanteessa, jossa suunniteltu KET ylittää KET-hallinnan rajan tapahtuu väistämättä poikkeamaa todellisen prosessin ja aikataulun välillä. Tuotantoon voidaan myös saada korkeampi käyttöaste

vapauttamalla kaikki tilaukset heti suuremman KET-määrän johdosta, sen sijaan että tasoa rajoitettaisiin. Lisäksi KET-pohjainen ohjaus vapauttaa tuotantoon töitä liian aikaisin, mikä voi olla hyvä juttu alikuorman välttämiseksi, mutta se samalla sitoo myös pääomaa turhaan. (Lödding 2013, 308–311.)

3.7.4 Tilausten vapauttaminen työpistekohtaisella kuormantasapainolla

Viimeinen tapa tilausten vapauttamiseen on työpistekohtaisella kuorman tasaamisella. Se on erityinen muoto KET-pohjaiselle vapauttamiselle. Siinä työpisteen kokonais-KET sisältää kaikki tilaukset tuotantoon vapauttamisesta niiden valmistumiseen työpisteellä, huomioiden suoran työpisteen KET-tason ja epäsuoran edeltävien työpisteiden KET-tason. Tällä tavalla malli huomioi myös tulossa olevan KET:n, kun edeltävien työpisteiden KET-määrä on mallissa mukana. Tilauksen vapauttamiseen on olemassa useita eri variaatioita:

1. Tilaus vapautetaan tuotantoon, kun kaikki työpisteet putoavat alle KET-rajan
2. Tilaus vapautetaan tuotantoon, kun yksi työpiste putoaa alle KET-rajan
3. Tilauksia vapautetaan niin, että kaikkien työasemien kokonais-KET poikkeaa mahdollisimman vähän tavoitetasosta.

Tämänlainen ohjaus voidaan aikaisemman ohjaustavan tapaan yhdistää aikaikkunaan, joka määrittää kuinka pitkälle tilauksia voidaan vapauttaa ennakkoon. Huomioitavaa on, että toisin kuin yksinkertaisimmissa KET-ohjauksissa, vapautuu työpistekohtaisessa ohjauksessa työtä vaihtelevammassa sekvenssissä. (Lödding 2013, 312)

3.7.5 Töiden vapauttamisen tarkkuus

Töiden vapauttamisessa on tärkeää myös ymmärtää millä tarkkuudella töiden vapauttaminen tuotannossa tapahtuu. Työtä voidaan vapauttaa kerralla kokonaisen tilauksen verran matalalla yksityiskohtaisuudella tai työt voidaan vapauttaa ainoastaan yksittäisinä operaatioina korkealla yksityiskohtaisuuden tasolla. Kun vapautetun yksityiskohtaisuuden taso on matala, viitataan keskitettyyn KET-ohjaukseen ja vastaavasti kun yksityiskohtaisuuden taso on korkea, viitataan silloin hajautettuun KET-ohjaukseen. Näistä on olemassa myös hybridimalli,

jossa koko tilaus voidaan vapauttaa vasta, kun koko tuotannon KET-laskee, samalla kuitenkin pitäen työpistekohtaiset rajoitukset hajautetun KET-ohjauksen tavoin. (Lödding 2013, 314–315). Lohkotehtaassa yksi tilaus tarkoittaa käytännössä yhden osalohkon kaikkia koonteja. Näitä koonteja ei erikseen vapauteta, vaan osalohkon koonteja vapautetaan puhtaasti työpisteiden kuormitukseen ja niiden ryhmittymiin perustuvilla tuotereiteillä. Lohkotehtaassa voidaan ajatella vapauttamisen tapahtuvan yllä mainitulla hajautetulla KET-ohjauksella.

3.8 Tuotannon kapasiteetti ja kuormittaminen

Tuotannolla on kapasiteetti, jota kuormitetaan. Tuotannon kuormittaminen tarkoittaa sitä, kuinka paljon työtä työpisteelle ollaan allokoitu. Työpisteillä ja esimerkiksi niiden koneilla voi olla määritelty käytettävyysaika eli kapasiteetti, joka tarkoittaa, kuinka paljon kone on teknisesti ja ajallisesti käytettävissä esimerkiksi viikossa. Kuormittamisen kannalta tärkeämpää kuitenkin on seurata niin sanottua arvokasta käyttöaikaa, johon ollaan huomioitu myös seuraavia asioita:

1. Työpistettä ei voida aina kuormittaa, kuten viikonloppuisin tai lomapäivinä.
2. Työn vaihtoajat vähentävät käytettävyysaikaa.
3. Kone saattaa tyypillisesti olla huollossa prosentuaalisen osuuden käytettävyysajasta.
4. Koneella ei välttämättä ole aina työn edellytyksiä.
5. Koneesta voi syntyä osan ajasta laatuvirheellistä tuotetta. (Slack ym. 2022, 331–332.)

Pelkkä kapasiteetin tunnistaminen ei kuitenkaan riitä, vaan todellisuudessa kysyntä myös vaihtelee eri ajanjakosilla. Vaihtelua varten tarvitsee myös osata tasapainottaa kapasiteetti kysynnän mukaan. Yrityksen on myös tiedettävä mitkä ovat tuotannon pullonkaulat ja säädettävä kapasiteetteja niiden mukaan. (Ivanov ym. 2021. 274.)

Itse kuormittamista voidaan tehdä kahdella eri periaatteella rajoitetulla ja rajattomalla kuormituksella. Rajoitetussa kuormituksessa työtä voidaan ainoastaan kuormittaa ennustetun kapasiteetin rajoissa. Rajoittamattomassa kuormituksessa puolestaan kuormittamisella ei ole

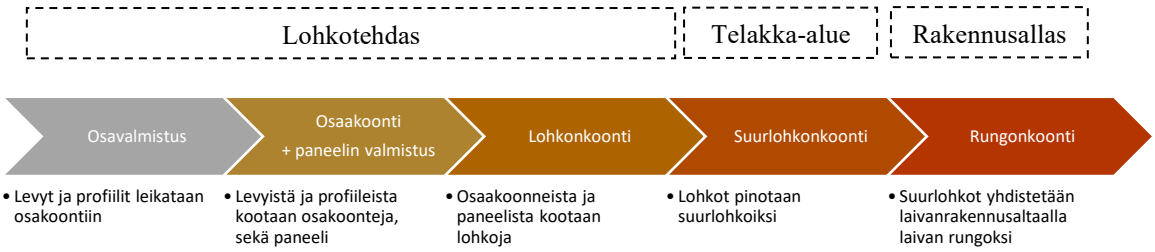
rajoitusta, vaan rajoittamatonta kuormaa koitetaan mahdollisimman hyvin tehdä pois. (Slack ym. 2022, 331–332).

Slack ym. (2022, 331–332) mainitsevat lisäksi, ettei rajoitettu kuormitus sovi monimutkaiseen tuotantoympäristöön, jossa on paljon erilaisia vaiheita, joilla on erilaiset kapasiteetit, sillä se tekee kuormituslaskelmoinnista haastavaa. Tämänlainen monimutkainen tuotantoympäristö myös telakka jossain määrin on, ja siellä tehtävät osakoonnit kuormitetaankin siksi rajoittamattomalla kuormituksella. Tästä syystä myös oletetaan, että osakoonneissa pystytään yleensä valmistamaan aina sille kuormitettu kysyntä esimerkiksi miehitystä lisäämällä, joka jossain määrin onnistuukin.

4 Tuotannonohjaus ja terästyöprosessit telakalla sekä lohkotehtaassa

4.1 Tuotannonohjauksen erityispiirteet laivanrakennuksen terästöissä

Laivanrakentaminen voidaan jakaa karkeasti viiteen eri vaiheeseen terästöiden osalta. Ensiksi teräslevyt ja profiilit esikäsitellään ja leikataan haluttuihin mittoihin, jotka lähetetään koottavaksi yleensä osakoonteihin. Osakoonneissa nimensä mukaan kootaan pienempiä osakokonaisuuksia osavalmistuksessa tehdyistä levyistä ja profiileista. Näitä valmiiksi tehtyjä osakoonteja puolestaan yhdistetään suurten teräksisten paneelien päälle lohkonkoonnissa yhden kansivälin korkuisiksi lohkoiksi. Suurlohkonkoonnissa lohkot nostetaan vielä päällekkäin useamman kansivälin korkuisiksi suurlohkoiksi, jotka maalauksen ja erilaisen varustelun jälkeen nostetaan rakennusaltaassa osaksi rakennettavaa laivaa. Alla olevaan prosessikaavioon on kuvattu laivan runkotuotannon terästöiden vaiheet, joista keskitytään tässä työssä lähinnä lohkotehtaassa tehtävään osakoontivaiheeseen.



Kuva 7. Terästyöprosessit telakalla

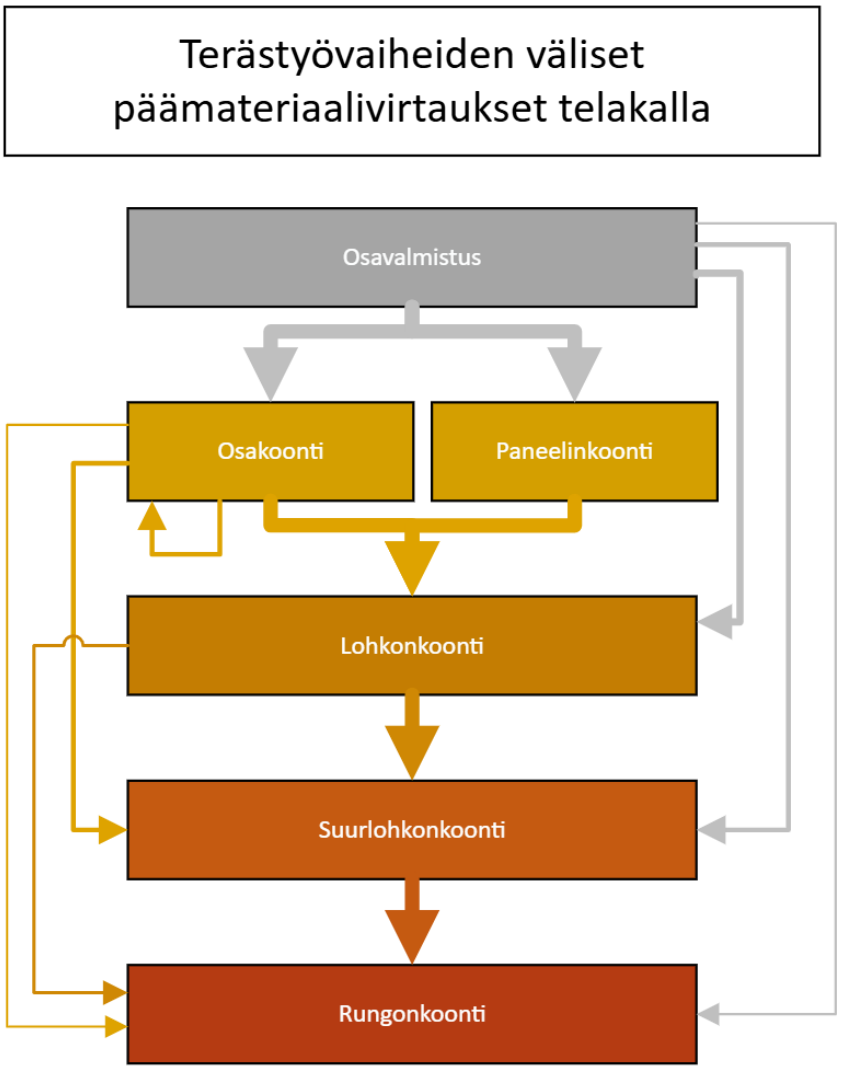
Jotta ymmärretään paremmin lohkotehtaan erityispiirteitä, on ymmärrettävä mitä erilaisia tuotannon perusajatuksia on olemassa. Hermann Lödding (2013, 99–101) esittää viisi erilaista tuotannonohjauksen perusajatusta, jolla tuotantoja voidaan lajitella. Näitä tuotannon perusajatuksia ovat:

- *Työpajojen toimintojen perusteella jaettu tuotanto*, jossa samankaltaiset työasemat integroidaan yhteen työpajaan ja virtaus tapahtuu työpajasta toiseen erissä. Eri prosessointiajan omaavat osat kuljetetaan yhdessä erässä työpajasta toiseen, jossa työntekijät erikoistuvat yhteen osa-alueeseen. Läpimenoaika on eräkokojen takia pitkä.
- *Virtauskeskeinen tuotanto*, jossa työasemat järjestetään päinvastoin, kun työpajatuotannossa, juurikin materiaalivirran perusteella. Materiaalit myös kuljetetaan yksittäin eikä erissä, tavoitteena erittäin lyhyt läpimenoaika. Tämänlainen tuotanto on tyypillisesti hyvin automatisoitu, kapasiteetti vakioitu, tuotevariaatiot vähäisiä ja tuotanto on häiriöherkkää.
- *Solu- tai ryhmätuotanto* sijoittuu kahden ylemmän välimaastoon. Siinä työasemat on järjestetty valmistettavien variaatioiden materiaalivirran perusteella. Solutuotannossa työntekijällä tyypillisesti on suuri rooli ja usein työntekijät operoivat kaikkia erilaisia työasemia valmistussolussa.
- *Paikan päällä tapahtuvassa tuotannossa* työasemat eli koneet tuodaan suurten työkappaleiden luokse. Eräkoko on pieni. Paikan päällä tapahtuvaa tuotanto käytetään esimerkiksi isojen koneiden tai laivojen rakentamisessa.
- *Työpöytäperusteinen tuotanto* kulminoituu työntekijään, joka prosessoi osaa työpöydällä. Työpöydällä tehdään usein useita toimintoja peräkkäin tai monimutkaisia yksittäisiä toimintoja. Yleensä yksittäinen osa käsitellään kokonaan, jolloin läpimenoajat ovat pienet. Teollisuudessa työpöytäperusteista tuotantoa käytetään yleensä kokoonpanotehtävissä. (Lödding 2013, 99–101.)

Lohkotehtaan tapauksessa voidaan ajatella, että osavalmistus on pitkälti koneiden avulla automatisoitua virtauskeskeistä tuotantoa. Osavalmistuksessa tuotantokapasiteetti on pitkälti vakiota ja tuotantohäiriöherkkää, ja materiaalivirtaus on tuotantoprosessin keskiössä. Osakoonti ja lohkonkoonti taas voidaan ajatella olevan työpöytäperusteista tuotantoa, sillä niissä osakoonti ja lohkonkoonti suoritetaan yhdessä työpisteessä. Osakoonnin ja lohkonkoonnin työpisteissä tehdään peräkkäin monta monimutkaista peräkkäistä vaihetta ja koonti tehdään alusta loppuun yhdessä työpisteessä.

Jokainen työvaihe ketjussa työntää imuohjaukseen perustuen niin paljon valmiita tuotteita oikeassa järjestyksessä ulos, kuin mahdollista. Osavalmistuksessa outputtien maksimimäärää rajoitetaan osamääräisillä KET-rajoitteilla ja osakoonnissa outputtia rajoitetaan puolestaan koontityötuntien KET-rajoitteilla. Lohkonkoontia, suurlohkonkoontia ja rungonkoontia ei rajoiteta vastaavanlaisilla ohjaussäännöillä, vaan niiden aloitettavaa työnmäärää rajaavat muut asiat kuten rakennuspaikat, nosturikapasiteetti ja vapaana oleva miehitys.

Päämateriaalivirtaus terästöissä seuraa pitkälti aikaisempaa terästöiden prosessikaaviota, mutta näiden viiden vaiheen välillä on olemassa myös materiaalivirtauksia, joissa jonkin työvaiheen yli hypätään tuotannossa. Alla olevaan kuvaajan on hahmoteltu terästyövaiheiden välisiä materiaalivirtauksia ja niiden voimakkuuksia on hahmoteltu nuolien paksuuksilla.



Kuva 8 Terästöiden materiaalivirtaukset telalla

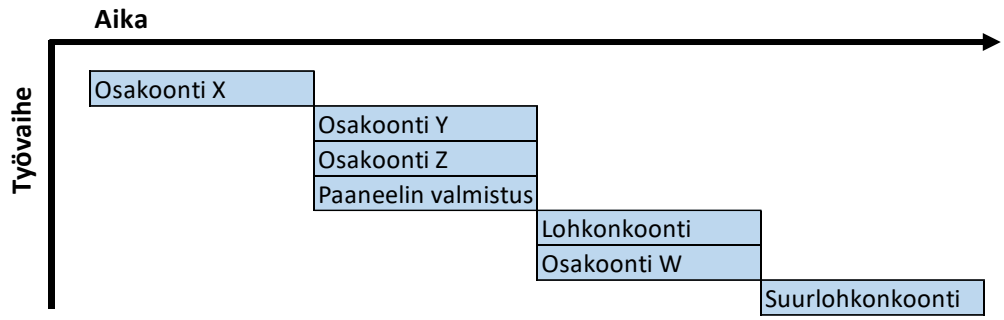
Materiaalivirtauskuvaajasta voidaan huomata, että seuraavan työvaiheen yli hyppääviä materiaalivirtauksia on enemmän lähinnä osavalmistuksella ja osakoonneilla. Tutkittavista osakoonneista suurin osa valmiista koonneista menee lohkonkoontiin, mutta osa koonneista menee myös välillä toiseen osakoontiin, suurlohkonkoontiin ja harvinaisissa tilanteissa myös rungonkoontiin asti. Epätavalliset materiaalivirtaukset eivät kuitenkaan sinänsä vaikuta osakoontien KET-allaskoon määrittelyyn, sillä toiseen osakoontiin menevät, lohkonkoontiin menevät, suurlohkonkoontiin menevät ja mahdollisesti rungonkoontiin menevät osakoonnit voidaan kaikki ajoittaa ja ohjata samalla tavalla. Näin osakoonnit valmistuvat suunnitelmassa aina edeltävänä päivänä ennen seuraavan vaiheen suunnitelmallista aloitusta, johon osakoonteja tarvitaan.

4.2 Nykyinen tuotantoprosessi ja tuotannonohjauksen periaatteet

Osakoonteja ohjataan nykyisillään siis pitkälti Kanban-periaatetta noudattaen, jossa tuotantoon vapautetaan jatkuvasti tilauksia niin, että Kanban korttien eli vapautettujen työtuntien määrä pysyy vakiona osakoontien KET-altaissa.

Tarve tietyissä työpisteessä ja tuotereiteissä tehtäville osakoonneille muodostuu työnsuunnittelussa, jossa rakennustapaa ja työpisteiden rajoituksia seuraten jaetaan työstettävän lohkon eri osa-alueet sopiviksi osakoonneiksi. Työnsuunnitteluvaihe on ajoitettu valmistuvan noin kuukausi ennen osakoontien suunniteltua alkamista. Kun työnsuunnittelu valmistuu, tiedetään tarkalleen, mitkä osakoonnit toimitetaan mihinkin vaiheeseen, ja kuinka paljon kunkin koonnin valmistamiseen arvioidaan kuluvan suunnitelmallisia työtunteja.

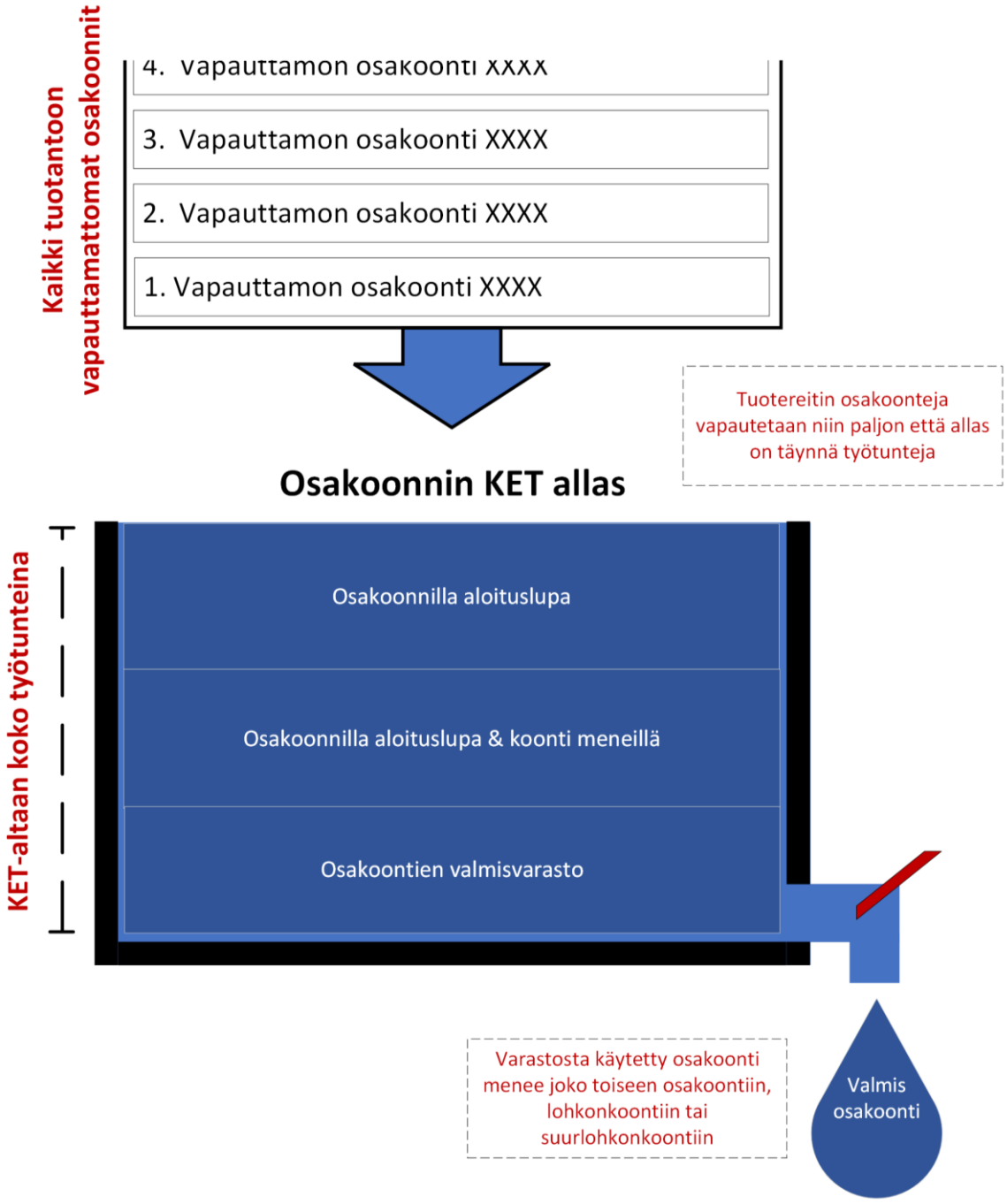
Työsuunnittelun valmistuttua luodaan ERP-järjestelmään ajoitustehtäviä sen perusteella, mitä työsuunnittelu on määrittänyt työpisteeksi, toimituspaikoiksi ja kestoiksi osakoonneille. Työt ajoitetaan aina niin, että osakoonti valmistuu juuri ennen sitä tarvitsevan seuraavan vaiheen suunniteltua aloituspäivää. Osakoonti ajoitetaan siis kiinni tyypillisesti toiseen osakoontiin, paneelilinjaan, lohkonkoontiin tai suurlohkonkoontiin. Alla olevaan kuvaan on hahmoteltu tätä periaatetta. Huomiona ettei janojen pituudet ole kuvassa realistisia.



Kuva 9. Karkea esimerkki miten osakoonteja voidaan ajoittaa

Kun osakoonnit ovat ajoitettu kiinni edeltävän vaiheen aikatauluun tietyn kestoisina janoina, syntyy niille suunnitellut aloitus- ja lopetuspäivä eli BES- ja BEF-päivät. Suunnitellun aloituspäivän avulla samaan työpisteeseen ja tuotereittiin menevät osakoonnit voidaan järjestää tarpeen mukaan työjonoiksi. Tätä työjonoa hallitaan Kanban-periaatteella muodostuvilla työluvilla. Yhden tuotereitin töitä voidaan tuotannossa aloittaa niin monta, kun nykytilanteessa vakioiksi määriteltyjen tuotereittien allaskoot antavat myöden. Lähtötilanteessa tuotereitillä saattaa altaan koko olla esimerkiksi x-määrä työtunteja, jolloin valmisvarastossa, aloitettuna ja aloitusluvallisia töitä voi yhteensä korkeintaan olla x-määrän verran työtunteina. Aina kun työtä raportoidaan käytetyksi valmiskoontivarastosta, saavat seuraavana työjonossa olevat työt aloituslupia, kunnes altaasta poistunut tuntimäärä on korvattu uusilla töillä. Ja aina kun seuraava osakoontia tarvitseva vaihe aloittaa työn, tulee osakoonti raportoida heti käytetyksi varastosta ja vapauttaen uusille koonneille tilaa.

Alla olevaan kuvaan on paremmin hahmoteltu, kuinka työsuunnittelusta tulleita osakoontien tuotantotilauksia vapautetaan suunnitellun aloituspäivän perusteella järjestyksessä tuotantoon. Aina kun osakoontien KET-altaasta tyhjenee koonteja kuvan alareunassa seuraavaan työvaiheeseen, mahtuu altaaseen uutta työtä tuotannon aloitettavaksi. Kuvasta myös näkyy, kuinka allas koostuu kolmesta eri statuksen alla olevasta työstä. Aloittamattomasta, aloitetusta ja valmiista työstä.



Kuva 10. Osakoontien ohjaus Kanban periaatteella tuotantoon vapauttamisesta varastosta poistumiseen asti

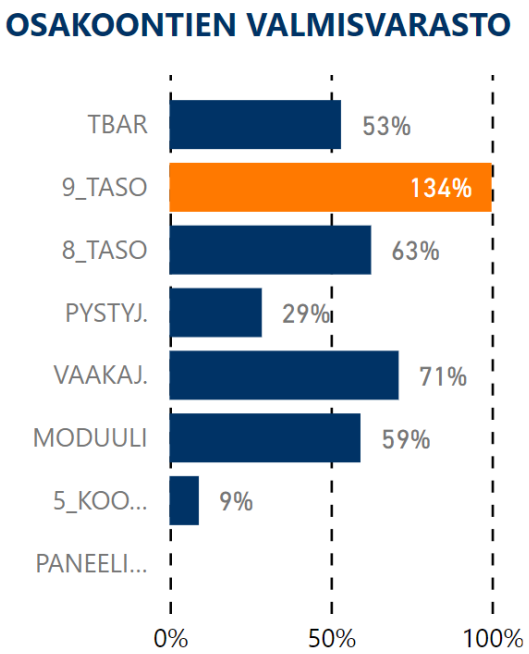
4.3 Työpisteet ja niiden kapasiteetit

Osakoontien tuotantoa tehdään tällä hetkellä kahdellatoista erilaisella työpisteellä, jotka ovat yhdistelty seitsemään erilaiseen KET-altaalla hallittavaan tuotereittiin. Joidenkin työpisteiden työt tehdään omilla työntekijöillä ja joidenkin työt tehdään alihankintana. Omien työn-

tekijöiden kapasiteettia pystytään periaatteessa arvioimaan vakiomiehitykseen peilaten viikkotyötunteina, mutta se ei mene yksi yhteen KET-laskentaan käytettävien suunniteltujen työtuntien kanssa. Alihankittujen työpisteiden kapasiteetti tiedetään vielä huonommin, sillä alihankintayritykset miehittävät työpisteitä tilanteen mukaan. Tämän takia osakoontien työmäärää ei tällä hetkellä tasata, vaan se tapahtuu aiemmin mainitulla rajoittamattomalla kuormitusperiaatteella, jossa oletus on, että osakoontien työpisteet pystyvät selviytymään aina työkuormastaan. Todellisuudessa työpisteillä on tietysti omat rajalliset kapasiteettinsa, mutta niitä ei ole kovin tarkkaa seurattu, sillä osakoonnit eivät yleensä kuitenkaan ole lohkotehtaassa merkittävänä pullonkaulana.

4.4 Nykyinen johtamiseen käytetty mittaristo

Nykytilanteessa tuotannon johtamiseen käytetään mittaristoa, jossa seurataan osakoontien valmisvarastossa olevien koontien koontituntimäärää prosentuaalisesti. Tavoitteena on, että osakoontien valmisvarastojen taso on 100 %, jolloin valmiita osia pitäisi olla ”riittävästi”. Todellisuudessa usein ollaan kuitenkin kaukana monen tuotereitin osalta 100 % tavoitetasosta. Alla on esimerkkinä kuvankaappaus osakoontien valmisvarastotasosta, josta nähdään suuri hajonta prosentuaalisissa varastokoissa.



Kuva 11 Esimerkki miltä osakoontien valmisvarastojen mittarit saattoivat näyttää vakio KET-määrittelyllä.

Näiden prosenttilukujen valossa vaikuttaa siltä, että valmisvarastot ovat tarkasteluhetkellä suurelta osin liian pienet tai jopa hälyttävällä tasolla pystyjäykisteiden ja 5-koontien osalta. Todellisuudessa kuitenkin tilanne on kyseisellä hetkellä ollut hyvä, ja valmiita koonteja on ollut suhteessa asiakkaan kysyntään vähintäänkin riittävästi, eli noin 1–2 viikoksi. Koska tilanteessa valmisosavarastot ovat olleet hyvällä tasolla, on tuotannossa jaettu aloituslupia todennäköisesti liikaa, sillä aloituslupia myönnetään niin kauan, kunnes valmisvarastot on mahdollista valmistaa täyteen. Tämän lisäksi johtamisen työkaluna käytetty mittari antaa virheellistä tietoa varastotasojen riittävyydestä, koska prosenteissa mitattuna tilanne on huono. Käytännössä siis ilman tarkempaa tarkastelua yksittäisten tuotereittien riittävyydestä, ei mittaristosta pysty tekemään juuri mitään johtopäätöksiä. Tämän takia onkin tarve saada valmisvarastotasot dynaamisiksi ja paremmin kysyntään perustuviksi, jotta mittaristot kertoisivat aidosti varastojen tilanteesta suhteessa kysyntään. Ideaalitilanteessa tuotannon johdon pitäisi pystyä yhdellä silmäyksellä kertomaan, onko kyseisessä tuotereitissä hyvä vai huono tilanne.

5 Osakoontien KET-laskennassa huomiotavat tekijät

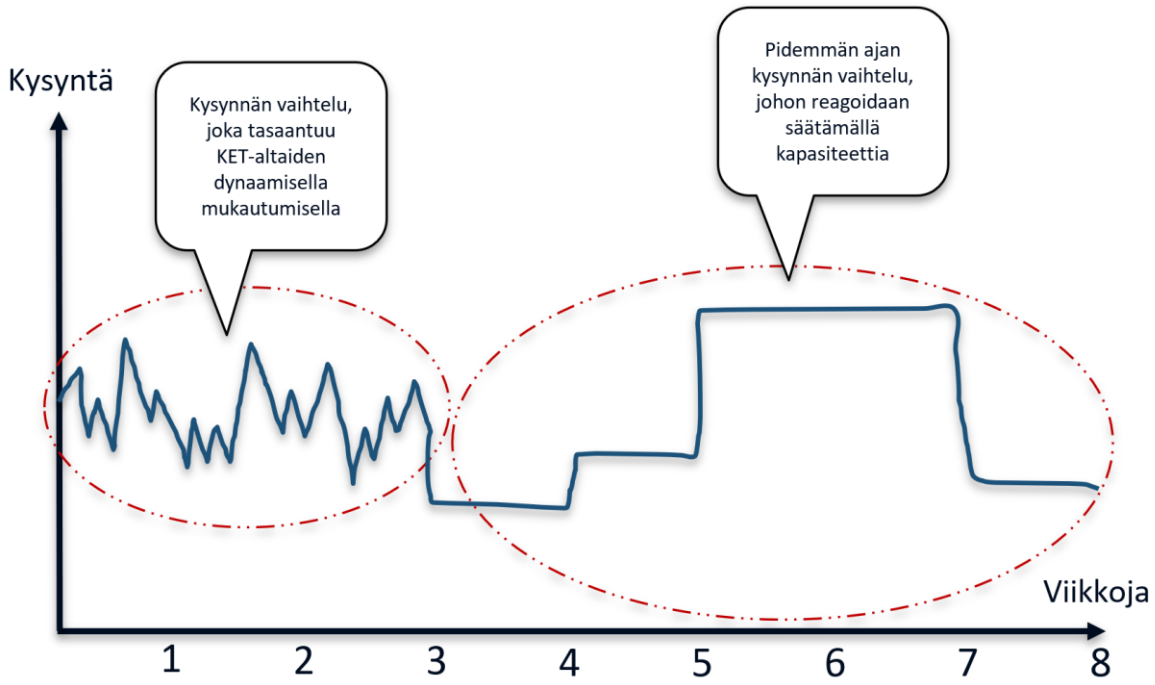
Tässä kappaleessa käydään läpi, mitä kaikkia asioita olisi vähintäänkin syytä käsitellä, kun lähdetään määrittelemään KET-altaiden laskentaperiaatetta. Alla olevaan ajatuskarttaan on hahmoteltu asioita, joita on KET-altaiden laskennassa hyvä ymmärtää. Näitä näkökulmia käydään myös läpi kappale kerrallaan seuraavaksi tässä luvussa.

Kuva 12. KET-allas laskennassa huomioitavat asiat

5.1 Dynaamisten KET-altaiden tarkoitus

Aikaisemmin todettiin, että ideaalitilanteessa varastoja ei tarvita lainkaan. Ideaalitilanteessa on äärettömästi kapasiteettia välittömällä läpimenoajalla, jolla pystytään vastaamaan asiakkaan kysyntään samalla hetkellä. Gattorna (2016, 188) toteaa kuitenkin, että kaikesta varastoinnin turhuudesta huolimatta monet organisaatiot kuitenkin tarvitsevat varastoja päivittäisten toimintojen sujuvaan ylläpitoon. Näin se menee myös osakoonneissa, sillä osakoontien työpisteillä on rajallinen kapasiteetti, ja asiakkaiden vaihtelevien tarpeiden tyydyttämiseksi täytyy pystyä puskuroimaan työtä valmiiksi. Tärkeimmän asiakkaan eli lohkonkoonnin ja myös suurlohkon- ja rungonkoonnin tarpeet suhteessa osakoonnin kapasiteettiin taas vaihtelevat jatkuvasti, koska yksilöllisiin lohkoihin tarvitaan erilaisia osakoonteja. Tämän takia on myös mahdottomuus täsmätä osakoontien kapasiteettia täysin asiakkaan kysyntään. Varastointia tarvitaan siis siksi, koska lohkonkoonnin, suurlohkonkoonnin ja rungonkoonnin tarve osakoonneille ei ole vakio ja siksi, jotta keskeneräinen työmäärä voidaan pitää tasaisempana.

Alla olevaan kuvaan on hahmoteltu kysynnänvaihtelu, jota säädettävillä KET-altailla on tarkoitus tasoittaa. Työmäärän puskurointi ja tasoittaminen KET-altailla, lyhyellä noin 1-3 viikon aikajänteellä, on järkevää. Puolestaan isompiin pitkänaikavälin kysynnän heilahteluihin sillä ei ole tarkoitus vastata, vaan pidemmän aikavälin vaihteluun täytyy reagoida nostamalla kapasiteettia. Eli viikkojen tai kuukausien aikavälillä se tarkoittaa käytännössä miehityksen nostamista koontipisteillä.



Kuva 13. Kysynnänvaihtelun hallintaperiaatteet.

Suunniteltu alkuperäinen aikataulu lisäksi tasoittuu todellisuudessa jonkun verran kysyntäkuoppien ja -piikkien osalta, joten tätä epätasaisuutta varten tarvitaan myös KET-altaita tasaamaan alkuperäistä suunniteltua kuormaa. Samalla kun tätä suunnitelman epätasaisuutta saadaan tasattua dynaamisesti pohjautuen todelliseen tarpeeseen, pystytään paremmin seuraamaan eri osakoontityöpisteiden tilanteita ja reagoimaan niihin, myös tuotannon johdossa.

5.2 Kysynnän ennustettavuus

Laivanrakennuksen osakoonneissa kysyntä on luonteeltaan ennustettavaa, sillä tuotannossa tyydytetään ainoastaan sisäisen asiakkaan tarpeita, jotka ovat määritelty karkeasti jo kuukausia ennen tuotannon aloitusta. Kuitenkin tarkempi hienokuormitus eri osakoontien työpisteiden välillä tiedetään vasta tyypillisesti noin kuukausi ennen osakoonnin aloitusta, kun laivan yhteen lohkoon kuuluvien koontien tarkempi työsuunnittelu valmistuu. Työsuunnittelun valmistuttua tiedetään tarkalleen missä työpisteissä työtä tehdään, minne koonnin osat toimitetaan, mitä koonteja valmistetaan ja kuinka kauan työn tekemisen ennustetaan kestävän. Erilaisten osakoontien puskurivarastojen määrittelyn apuna voidaan siis käyttää suunniteltua tarveaikataulua kertomaan tulevan kuukauden osakoontitarpeet. Ongelmana tässä

tarkentuneessa aikataulussa on, että kysyntä poikkeaa todellisuudessa aina suunnitellusta aikataulusta, sillä tuotantoa tehdään pitkälti imuohjauksella, joka johtaa siihen, että välillä aikataulussa ollaan edellä ja välillä perässä. Lohkojen tulevia aloituksia kuitenkin suunnitellaan koontipaikoille päivittäin, ja niiden aloitus- ja päättymispäivästä on yleensä aika hyvä ennustettavuus. Pitkälti osakoontien tahdin määräävään lohkonkoonnin aloituspäivät tiedetään kuukauden päähän parin-kolmen päivän tarkkuudella ja tämän hyödyntämistä käydään läpi myöhemmin.

5.3 Minimipuskurivarasto

Osakoonteihin tarvittavat osat tulevat lähtökohtaisesti omasta osavalmistuksen tuotannosta. Osavalmistuksen ja osakoonnin välissä on puskurivarasto, jonka tehtävänä on varmistaa, että osakoonnilla on jatkuvasti osia saatavana. Osakoonnin valmisvarastolla ei siis valmistauduta ollenkaan osien toimitusvaikeuteen, vaan osakoonnin valmisvarastolla varaudutaan ainoastaan epätasaiseen kysyntään. Periaatteessa riittää, että seuraavalle vaiheelle eli tyypillisesti lohkonkoonnille ovat osakoonnit valmiita juuri silloin, kun lohkonkoonti on alkamassa. Käytännön hallinnan kannalta voi olla kuitenkin fiksua tähdätä siihen, että osakoonteja olisi valmiina ainakin muutaman seuraavaan alkavaan lohkonkoontiin, kuten vaikkapa seuraavaan kolmeen tai viiteen lohkoon, eli esimerkiksi vähintään kahden tai kolmen päivän kysynnän verran. Syitä miksi valmiita osakoonteja kannattaa puskuroida muutaman päivän edestä useita. Tämänlaisia puskurointia vaativia epävarmuustekijöitä ovat ainakin seuraavat syyt:

1. Osakoontien suunniteltujen kestot eivät ole aina tarkkoja ja koonneissa voi mennä ennakoitua pidempään.
2. Osakoonneissa voi ilmetä suunnittelu- tai laatuongelmia, jotka myöhästyttävät osakoontien valmistumista.
3. Lohkonkoonnissa kysyntä voi nousta siitä hetkestä, kun osakoonteja alun perin aloitettiin tekemään seuraaviin lohkoihin (paneelilinjan rajoittamana).
4. Lohkonkoonti on vaihtelevasti lohkotehtaan pullonkaulana, jolloin se on tärkeää pystyä pitämään aina mahdollisimman hyvin työllistettynä osakoonneilla.

5.4 Ennustetun kysynnän vaikutus puskuritasojen määrittelyyn

Kuten jo aikaisemmin todettiin, tiedetään jokaisen osan ja osakoonnin yksilöidyt osanumerot ja mittatiedot jo noin kuukausi ennen. Osavalmistuksessa tarkka kysyntä tiedetään yleensä noin 2–3 viikkoa ennen osanvalmistamista ja osakoonneissa noin kuukausi ennen osakoonnin aloittamista. Lisäksi viikkotason karkeakuormaa ja laivaprojektin edistymisvaihetta voidaan käyttää hyväksi useamman kuukauden päässä olevan kuorman arviointiin.

Osakoonneissa tiedetään siis noin kuukausi ennen työsuunnittelun valmistuttua, mitä koonteja tehdään, missä tuotereillä, mistä osista ja millä arvioidulla työmäärällä. Koontien nykyisessä määrittelyssä avainsanana on juurikin tuotereitit ja arvioidut työmäärät. Niin kuin aikaisemmassa prosessikuvauksessa käytiin läpi, jokaisella tuotereitillä on oma KET-allas, jonka koko perustuu arvioituihin koontitunteihin. Tätä diplomityötä edeltävä tilanne on se, että tuotereitillä on aina sama allaskoko työtunteina, joka vähäisellä kysynnällä saattaa riittää esimerkiksi kuukaudeksi ja kovalla kysynnällä vain viikoksi. Yksi selvä askel olisi siis peilata allaskokoa tarkempaan työkohteille kuormitettuun kysyntään, joka tiedetään karkeasti noin kuukausi ennen osakoonnin suunniteltua aloitusta.

5.5 Varastonpitokustannusten huomiointi puskuritasojen määrittelyssä

Varastonpitokustannukset ovat olennainen tekijä varastotasojen määrittelemisessä. Laivan rakennuksessa käytetään terästä, joka on painava materiaali ja sen siirtely sekä käsittely logistiikassa vaatii raskasta kalustoa. Raakalevyt ja -profiilit voidaan varastoida järkevästi nimikkeittäin mittojen tai materiaalin perusteella esimerkiksi pinoamalla samanlaisia levyjä päällekkäin, mutta heti kun raakalevyjä ja -profiileja lähdetään työstämään ovat nimikkeet yksilöllisiä jokaisella valmistetulla teräspalasella. Sama asia on myös osakoonneissa; ne ovat tyypillisesti useita metriä leveitä näistä osista koostuvia teräskokonaisuuksia, jotka ovat uniikkeja muodoltaan ja osakoontinumeroltaan. Tämä tarkoittaa, että valmiiden osien ja osakoontien varastointi vaatii paljon tilaa varastolta, sillä raskaita yksilöityjä teräspaloja ei voi varastoida esimerkiksi päällekkäin tai samoilla kuljetuslavoilla.

Kakkosluvussa käsiteltyjä varastonpitokustannuksia olivat pääomakustannukset sekä materiaalin hallinta-, varastointi-, vahinko- ja vanhentumis-, vakuutus- ja verotuskustannukset.

Varastonpidon pääomakustannuksia voitaisiin lähteä laskemaan raakateräsmateriaalin hinnoista, jossa on huomioitava, että kun osat menevät osavalmistuksen ja osakoontien läpi syntyy kustannuksia myös koneista, materiaalista ja työntekijätunneista, jotka nostavat käytetyn materiaalin arvoa jatkojalostuksen myöstä. Vahinko- ja vanhentumiskuluja ei teräsmateriaalia varastoitaessa tyypillisesti hirveästi synny, kuitenkin materiaalin hallinta- ja varastointi kuluja varmasti syntyy, kun hallitaan raskaita isokokoisia teräsosia ja –kokonaisuuksia.

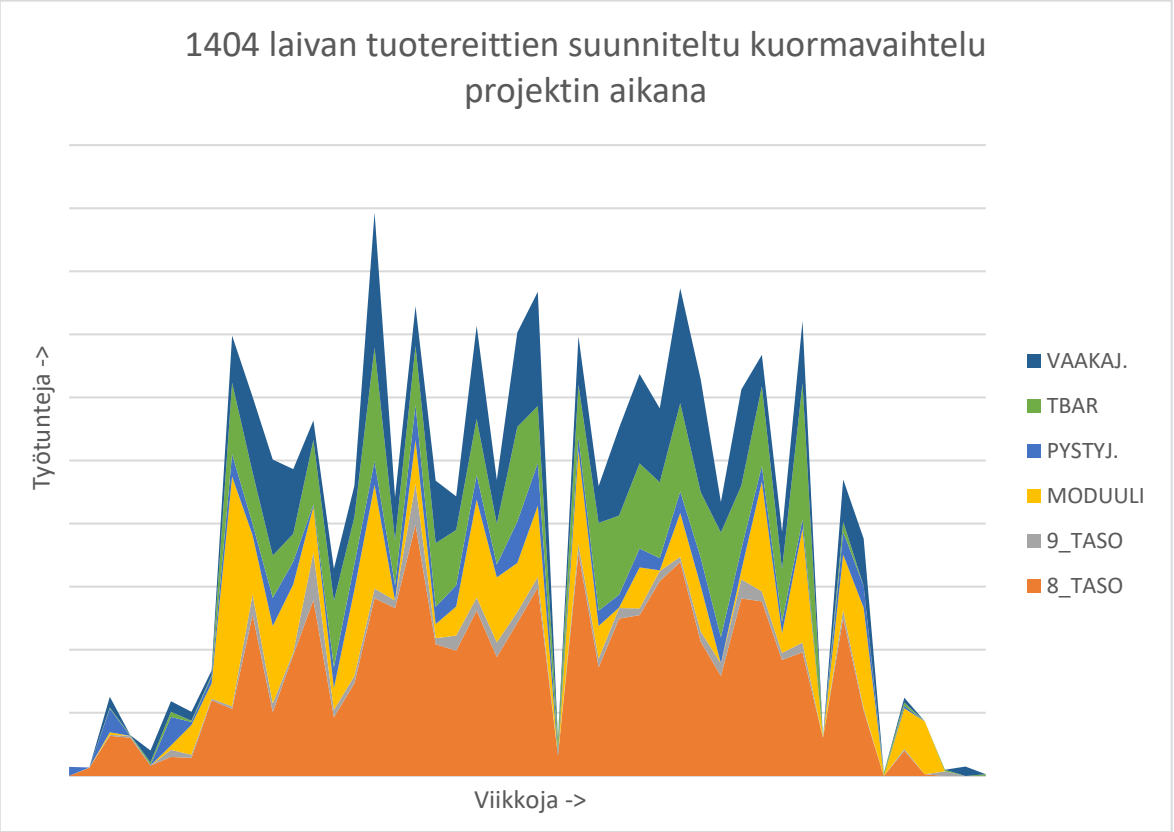
Tarkempia varastonpitokustannuksia voitaisiin periaatteessa lähteä laskemaan pääomakustannusten suhteen karkealla keskiarvolla, laskemalla kuinka paljon yhtä suunniteltua työtuntia kohti keskimäärin on sitoutunut terästä esimerkiksi tonneittain. Ja jokaiselle terästonnille saadaan keskimääräinen ostohinta hankinnasta, jonka päälle voidaan lisätä arvio jatkojalostuksen kustannuksista tonneittain tai työtunneittain. Lopuksi sitoutuneen pääoman kustannuksia voidaan vielä arvioida kertomalla sitoutunut rahasumma lainan korkokustannuksella tai pääoman tuottovaatimuksella. Tällä hetkellä kuitenkin koontien tekeminen ei vaikuta materiaalin tilaukseen niin suorasti, että sitä kannattaa kovin tarkkaa lähteä laskemaan, mutta vaikutusten mittakaavaa voidaan kuitenkin karkeasti tarkastella. Tehtaan mittareista saadaan tieto kuinka paljon esikäsiteltyjä ja leikattuja teräksiä kuuluu osakoonteihin keskimäärin, joka on karkeasti noin kaksikolmasosaa viikoittain tuotetuista terästonneista. Yhdenkin päivän muutos osakoontien puskurivarastossa muuttaa esikäsitellyn osakootun teräksen varastointia merkittävästi. Tälle voidaan periaatteessa arvioida hinta aiemmin mainituin perustein hyödyntämällä tarkempia osamäärä- ja tonnitietoja. On myös muistettava, että teräksen pääomakustannuksien lisäksi terästen materiaalinhallinta ja varastointi aiheuttavat merkittävän kuluerän, jota on suhteessa hankalampi lähteä arvioimaan.

5.6 Kysynnänvaihtelu laivaprojektin edetessä

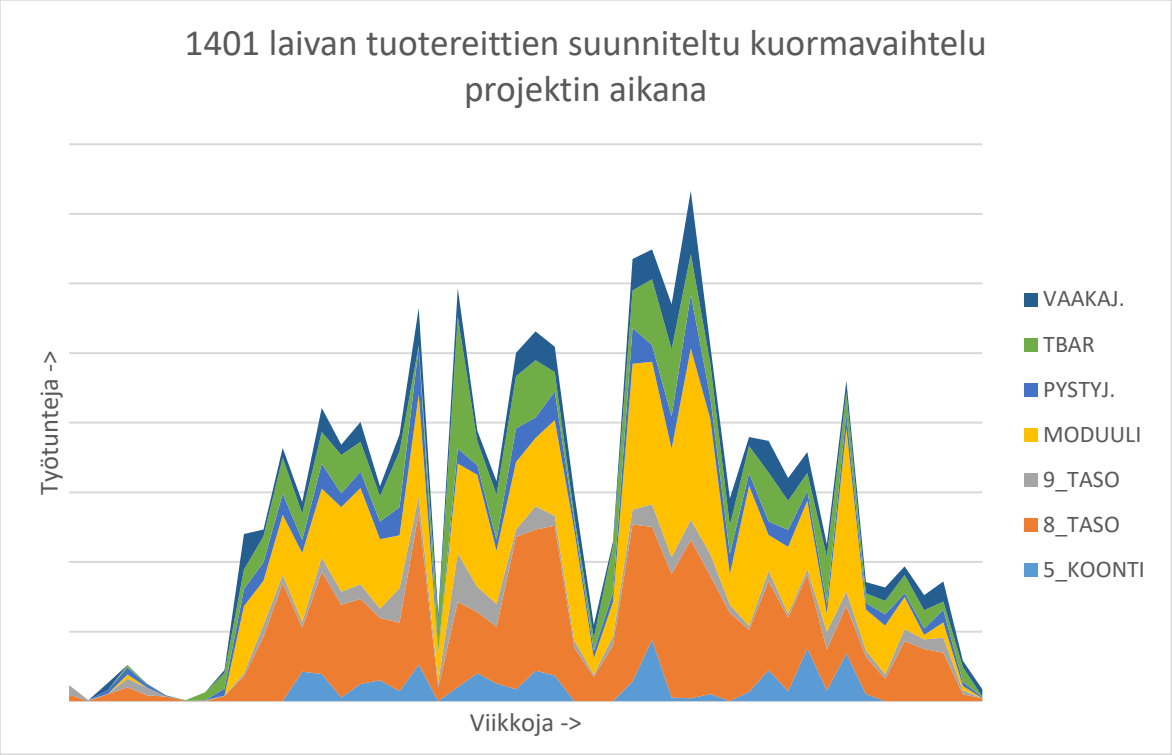
Nykyisessä laivanrakentamistavassa telakalla laivaa rakennetaan pyramidin lailla, jossa aloitetaan alhaalta keskeltä laivaa ja edetään sivuille tai ylöspäin seuraaville kansille, riippuen mistä päin laivaa pystytään kokoamaan. Laivaa siis yleisellä tasolla kootaan alhaalta ylöspäin, mikä tarkoittaa lyhyesti sitä, että ensimmäisenä tarvitaan laivan muodokkaita vesirajan alle meneviä kaksoispohjalohkoja, tämän jälkeen keskikansille standardisoidumpia hotellilohkoja ja lopuksi taas tarvitaan muotorikkaampia yläkansien lohkoja. Tämä tarkoittaa siis

sitä, että tarve erilaisille koonneille saattaa vaihdella jonkin verran projektin edetessä. Mahdollista vaihtelua eri osakoontien tuotereittien kuormassa projektin aikana voi olla siis hyvä tarkastella, jotta pystytään tarvittaessa varautumaan pidemmän aikavälin puskurivarastolla, pidempään kuormapiikkiin, jota ei koontitilauksissa vielä näy.

Jotta ymmärretään paremmin mahdolliset eri tuotereittien kuormituserot projektin aikana, on syytä tarkastella aikaisempien projektien tuotereittien kuormitusta ja tutkia onko niissä selkeitä kysyntätrendejä havaittavissa. Kahdesta hieman eri kokoluokan risteilijästä saadaan datasta kuormakuvat, jotka kuvastavat, miten eri tuotereittien työt ovat vaihdelleet laivaprojektin aikana. Lähtökohtana on, että yhdessä tuotereitissä tehdään tietynlaista työtä, vaikkei tuotereittien työt olekaan täysin yksiselitteisiä sen osalta, mitä missäkin voidaan tehdä. Alla on kuvaajat kahdesta viimeisimmästä laivasta ja niiden suunnitellun työkuorman vaihteluista tuotereiteittäin.



Kuva 14. 1404 laivan suunniteltu kuorma vaihtelu projektin aikana



Kuva 15. 1401 laivan suunniteltu kuormavaihtelu projektin aikana

Kahden yllä olevan laivan osakoontien tuotereittien kuormakuvista ei voida suoraan tehdä vielä päätelmää, minkälaiset asiat korreloivat minkäkin tuotereitin kuormaan. Lisäksi on tärkeä huomioida, että kuvaajat on tehty alkuperäisen suunnitelman perusteella, joka käytännössä aina kuitenkin tasaantuu. Kuormakuvista kuitenkin voidaan huomata, että kuorma viikkojen välissä saattaa vaihdella melko reilusti, mutta kuitenkin kuukausitasolla tarkasteltaessa kuorma jakautuu tasaisemmin kaikille tuotereiteille. Suhteessa isoin vaihtelu molemmissa laivoissa on ollut tummansinisellä kuvatussa vaakajäykiste -tuotereitissä, jossa kuorma on välillä olematonta ja välillä moninkertaista verrattuna aiempiin viikkoihin. Tämä näkyy erityisesti ensimmäisessä 1404-laivassa. Toinen huomio liittyy 8-tason ja moduulituotereitin työkuormiin, jotka ovat ylivoimaisesti suurimpia tuntimäärällisesti tarkasteltuna. Näissä kuormaa on koko laivaprojektin ajan tasaisesti, mutta työmäärällisesti vaihtelu viikkojen välillä voi kuitenkin olla merkittävää, jonka takia tarvitaan vaihtelevaan kysyntätilanteeseen puskuri tasaaman koontien melko tasaista kapasiteettia ja runsaasti vaihtelevaa kysyntää.

5.7 Nykyinen varastointikapasiteetti ja ongelmat sen ylikuormittamisessa

Aiemmin tuotereittien ohjauksessa ei ole sen enempää huomioitu, kuinka paljon fyysisiä varastointipaikkoja on olemassa. Vakioarvoin määriteltyihin osakoontien KET-allaskoiksi on määritelty noin-arvo, jolla tuotanto pyörii ilman suurempia ongelmia, huomioimatta enempää vaikutuksia logistiikkaan varastojen ollessa täynnä. Logistiikan varastointikapasiteetti ja on selvästi rajallinen telakalla ja osakoontien turhasta varastoinnista aiheutuu paljon epäsuoraa haittaa logistiikalle ja kaikille muille telakan työvaiheille, jotka tarvitsevat tilaa telakka-alueelta varusteluun tai erilaiseen välivarastointiin. Nykytilanteessa logistiikalla ei ole selvästi rajattua aluetta varastoitaville koonneille, vaan tuotannon valmistaessa osia ja osakoonteja jatkuvaa tahtia, niitä varastoidaan minne tahansa ne sattuvat telakka-alueella mahtumaan, kun tyypillisesti käytetyt varastopaikat ovat täynnä. Selkeää fyysistä varastorajaa ei suoraan voida määritellä, sillä varastointia voidaan tehdä melko joustavasti ja sen tarve riippuu paljolti myös siitä missä kohtaa laivaprojektia ollaan.

Työmäärällä ohjattavaan osakoontien KET-allaskokoon on lisäksi vaikea huomioida, milloin varastopaikat tulevat täyteen, sillä työmäärä ei välttämättä korreloi fyysisen varastointitarpeen kanssa. Kuitenkin on selvää, että mitä enemmän työtä vapautetaan tuotannolle tehtäväksi, sitä enemmän varastointitilaa tarvitaan. Siksi tärkeämpää tässä kohtaa allastasojen määrittelemisessä voi olla keskittyminen siihen, että työtä voidaan tehdä varastoon juuri sen verran, kun sujuva tuotanto pienellä riskikertoimella huomioituna vaatii.

5.8 Osakoontivalmisvaraston koontien epätäydellinen koostumus

Valmisvarastoissa on ideaalitilanteessa laskennallista puskurivarastokokoa vastaava määrä osakoonteja, ja ideaalitilanteessa valmisvarastot koostuvat ainoastaan järjestyksessä seuraavaksi tarvittavista osakoonneista. Laskennalliset varastotasot voivat olla ainoastaan silloin luotettavat, kun varastot koostuvat pelkästään seuraavaksi tehtävien töiden koonneista. Todellisuudessa, ainakaan nykytilanteessa, tämänlainen tilanne ei kuitenkaan aivan täysin toteudu ja siksi on tärkeää huomioida minkälaiset asiat saattavat vääristää KET-altaan riittävyyden tasoa.

Kuva 16. Mistä laskennallinen KET-allas todellisuudessa koostuu

Mahdollinen epäjärjestys osakoontien valmisvarastossa voi aiheutua siitä, että osakoonteja ei olla tehty oikeassa järjestyksessä. Tämä tarkoittaa sitä, että varastoissa ei välttämättä ole esimerkiksi seuraavaksi kahdeksi viikoksi koonteja valmiina, sillä laskennallista varastoa syövät esimerkiksi kolmen viikon päästä tarvittavat koonnit. Nykytilanteessa töitä aloitetaan melko säntillisesti työjonon antamassa järjestyksessä. Tilanteita kuitenkin voi olla, jossa työjonon seuraavan koonnin osia ei ole poikkeussyistä valmiina ja työjonossa joudutaan hyppimään, jotta työpisteet saadaan pidettyä työllistettynä. On kuitenkin tärkeä tiedostaa työjärjestyksen tärkeys tekemisessä.

Valmisosakoontien varastot voivat myös sisältää koonteja, jotka ollaan jo todellisuudessa siirretty varastoista koonteihin käytettäväksi. Tämän johtuu siitä, että raportointi ei välttämättä tapahdu reaaliajassa. Jokainen valmisvarastossa oleva raportoimaton käytetty koonti syö suoraan valmisvaraston kokoa ja aiheuttaa sitä, että epäjärjestyksen tavoin todellinen varastonriittävyys on pienempi kuin laskennallinen taso.

Turhaa valmisvarastoa syntyy myös puhtaasti nykyisestä tavasta niputtaa koonteja samaan aikaan tehtävään vaiheketjuun. Ongelmana on siis, että osalohkon alla olevan osakoonnin vaiheketjun työt ajoitetaan valmistumaan ensimmäiseksi tarvittavaa vaihetta varten. Eli esimerkiksi t-palkkikoontien tuotereitistä voi mennä t-palkkeja paneelilinjalle ja suurlohkonkoontiin, joiden aloitusten välissä on viikkoja. Tämänlaisissa tilanteissa kaikki vaiheketjun t-palkit tehdään kuitenkin valmiiksi kerralla ennen paneelilinjan aloitusta ja mahdolliset

suurlohkonkoontiin menevät t-palkit jäävät roikkumaan valmisvarastoon useaksi viikoksi syömään KET-allasta ja varastotilaa.

5.9 Epätäydelliset suunnitellut kestot ja niiden vaikutukset varastointiin

Osalohkoon kuuluvat osakoonnit ajoitetaan ERP-aikatauluun tyypillisesti osien valmistuksen ja lohkonkoonnin väliin. Osakoonnit ajoitetaan Gantt-kaaviota apuna käyttäen valmistumaan juuri ennen valmista osakoontia tarvitsevaa seuraavaa työvaihetta, joka tyypillisesti on toinen osakoonti, paneelilinja, lohkonkoonti tai suurlohkonkoonti. Osakoonnit aikataulutetaan tällä hetkellä niin, että lähtökohtaisesti kaikilla osakoonneilla on viisi päivää aikaa valmistua ennen seuraavan, sitä tarvitsevan työvaiheen alkamispäivää. Tällä perusajatuksella saadaan kaikille osakoonneille tarvepäivät, kun ne ajoitetaan aina kiinni seuraavaan vaiheeseen. Näiden tarvepäivien mukaan työjonot muodostuvat työpisteille.

Osakoontien vakio viiden päivän kesto on yksinkertainen tapa luoda työjonoon järjestys, mutta siinä on kuitenkin omat haasteensa. Välillä osakoonnin töille viiden päivän aikaikkuna ei meinaa riittää valmistamiseen, ja välillä koonteihin riittää tekoajaksi vain muutama tunti. Aihe itsessään on ongelmallinen ja osakoontien kestojen tarkempi määrittely vaatii oman tarkemman tutkimuksensa. Osakoontien kestojen määrittely aiheena menee siis yli tämän tutkimuksen, mutta nykyisistä ohjaussäännöistä kuitenkin paljastui selkeitä epäkohtia, jotka täytyy huomioida KET-altaiden määrittelyssä. Niitä käsitellään seuraavaksi.

T-palkkituotereitistä menee usein t-palkkeja paneelilinjalle ja myös samalla osakoonteihin. Paneelilinjan tarve t-palkeille on kuitenkin erilainen, kun muilla osakoonneilla ja se aiheuttaa nykyisessä ohjaustavassa epäsuhtaa, kuinka moneen seuraavaan paneeliin ja osakoontiin on todellisuudessa t-palkkeja valmiina. Kun varastoja paikoitellen lähdettiin jo tutkimuksen aika pienentämään, tuli ilmi, että valmiita t-palkkeja oli varastossa seuraavien osalohkojen paneeleihin suhteessa paljon enemmän, kun mitä seuraavien osalohkojen osakoonteihin. Tarkoituksena kuitenkin on, että karkeasti ajallisesti t-palkkeja olisi valmiina yhtä moneen paneeliin kuin osakoontiin.

Tähän ongelmaan löytyi muutama selittävä tekijä. Ensinnäkin osakoontien ja lohkonkoontien t-palkit raportoidaan heti pois varastosta koontien alkaessa, mutta paneelilinjalla t-palkit raportoidaan käytetyksi varastosta vasta koonnin loppupuolella. Tämä tarkoittaa, että vaiheet

vapauttavat varastoon tilaa eriaikaisesti, mikä vääristää KET-altaan sisältöä. Yksinkertainen ratkaisu tähän on varmistaa, että kaikkialla raportoidaan jatkossa samalla tavalla; joko heti työvaiheen aloitettua tai vasta kun koonteja todellisuudessa tarvitaan, jotta ne voidaan suunnitelmassa myös ajoittaa oikein.

Toinen tärkeämpi haaste on nykyisessä tuotantosuunnitelmassa, jossa kaikilla osakoonneilla ja paneelilinjalla on sama viiden päivän suunniteltu kesto. Erona kuitenkin on, että osakoonnit saattavan usein tarvita täydet viisi päivää tuotantoon toisin kuin paneelilinja, josta valmistuu paneeli noin kahdessa päivässä. Ongelmana tässä siis on, että molempia vaiheita varten valmistetaan t-palkit valmiiksi viisi päivää ennen suunniteltua valmistumispäivää, mutta paneelilinja tarvitsee todellisuudessa t-palkkeja vasta kaksi päivää ennen suunniteltua valmistumispäivää. Kun todellinen ja suunniteltu aloitus eivät täsmää keskenään, tästä aiheutuu väärässä järjestyksessä tekemistä ja ylimääräistä varastointia. Kyseinen ongelma ei myöskään koske pelkästään esimerkkinä mainittua paneelilinjaa, vaan osakoonneissa myös todelliset kestot voivat olla reilusti lyhyempiä, kun suunniteltu viisi päivää. Nämä kaikki väärän pituiset kestot aiheuttavat väärässä järjestyksessä tekemistä suhteessa todellisen tarpeeseen ja samalla sitovat turhaa välivarastoa.

5.10 Nykyinen suunniteltu baseline -aikataulu

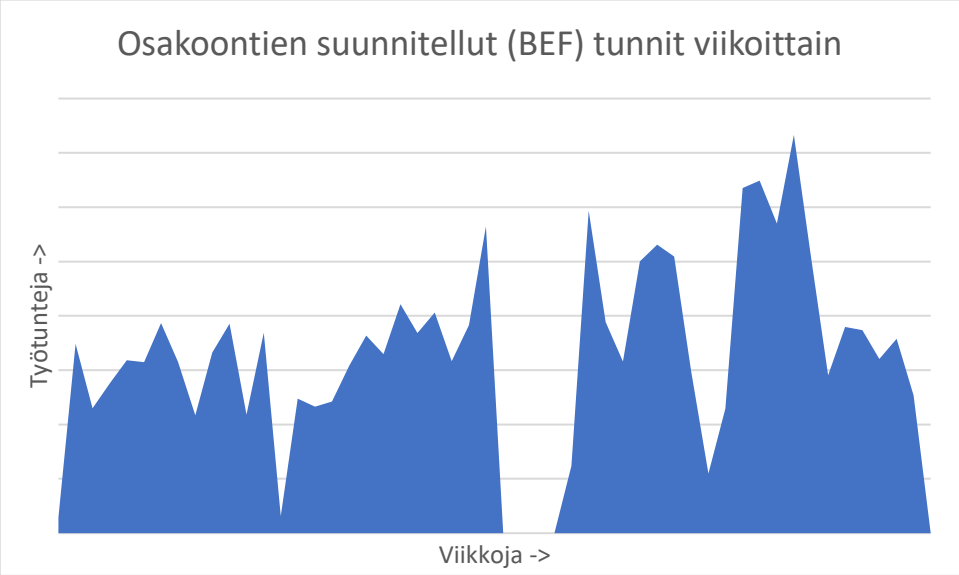
5.10.1 Baseline -aikataulu luonti

Kun laivan rakennusaikataulua luodaan telakalla, tehdään se karkeasti niin, että katsotaan suurlohkojen tarve laivan rungonkoontijärjestyksestä ja sitä peilaten luodaan suunniteltu baseline aikataulu aikaisemmille vaiheille huomioiden mahdolliset pullonkaulat. Laivan runkorakennuksen pullonkaulana pidetään tällä hetkellä yleisesti ottaen maalihallia, jonka tarpeita varten sitä edeltävät aikataulujen ajoitukset karkeasti suunnitellaan. Aikataulut muille vaiheille syntyy tällöin pitkälti maalihallin kysynnän ja sitä edeltävien vaiheiden suunniteltujen kestojen perusteella. Tämä tarkoittaa siis karkeasti sitä, että mitä aikaisempaan vaiheeseen mennään, niin sitä radikaalimpaa vaihtelua voi syntyä tuotantoon. Käytännössä kuitenkin myös lohkotehdas on välillä pullonkaulana ja myös sen näkökulmasta aikataulua tasoitetaan, mutta rajallisesti. Pituudeltaan vaihtelevien vaiheiden ketjutuksen tuloksena syntyy siis lopulta lähes mahdottomia kysynnän kuormapiikkejä päivä- sekä viikkotasolla, joihin

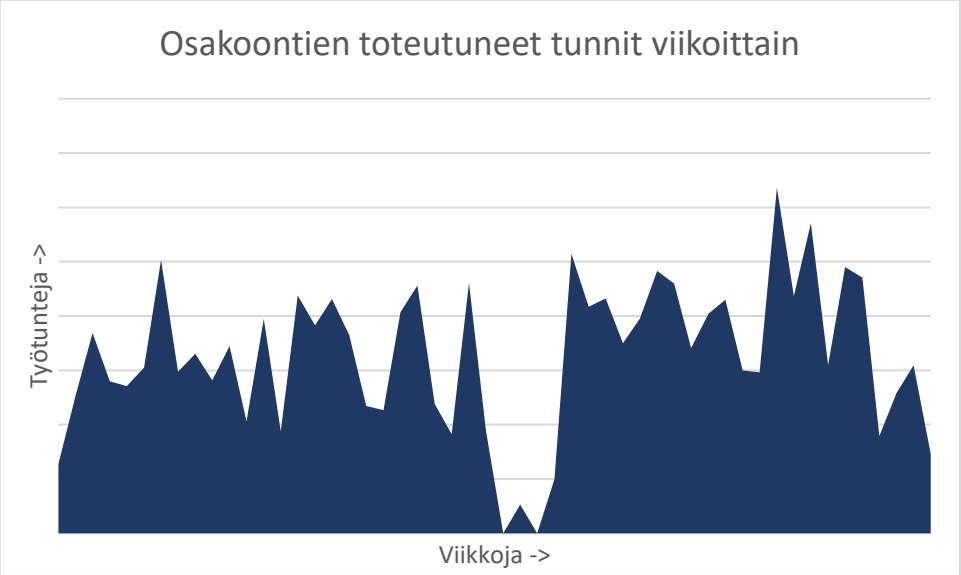
on mahdotonta varautua kapasiteetilla. Tämä tarkoittaa käytännössä osakoontien kysynnän arvioinnissa sen, että kysyntää ei kannata lukea suoraan suunnittelun aikataulun tarvepäivistä, sillä tyypillisesti myös osakoontien jälkeiset vaiheet kuten lohkonkoonti ei myöskään pysty suoriutumaan omasta kuormapiikistä ja kysyntä myös tätä kautta myös osakoonneissa poikkeaa suunnitellusta. Koska lohkotehdas toimii imuohjauksella, voi tulla myös tilanteita, joissa ollaan suunniteltua aikataulua edellä.

5.10.2 Baseline -aikataulun käytännön toteutuminen pitkällä aikavälillä

Alla olevasta kahdesta kuvaajasta nähdään paremmin, mikä on ollut alkuperäinen suunniteltu kysyntä eräälle osakoonnin tuotereitille ja miten kysyntä on todellisuudessa toteutunut noin vuoden ajanjaksolla. Ensimmäisessä kuvaajassa on puhdas suunnitelmallinen kuorma ja kysyntä suunnitelmatunteina ja jälkimmäisessä kuvaajassa on kuvattu, miltä samalla aikajänteellä kysyntä on todellisuudessa näyttänyt. Kysyntä ei jälkimmäisessä kuvaajassa ole aivan täydellinen, koska se perustuu siihen, miten osakoonteja on raportoitu käytetyksi valmisvarastosta, mutta se antaa riittävästi tietoa siitä, miten suunnitelmallisten tarvepäivien kysyntä todellisuudessa realisoituu. Suunnitelluista tarvepäivistä käytetään nimitystä baseline estimate finish dates (BEF), jolloin koonnin on oltava valmis seuraavaa vaihetta varten.



Kuva 17. Osakoontien suunniteltu kuorma viikkotasolla



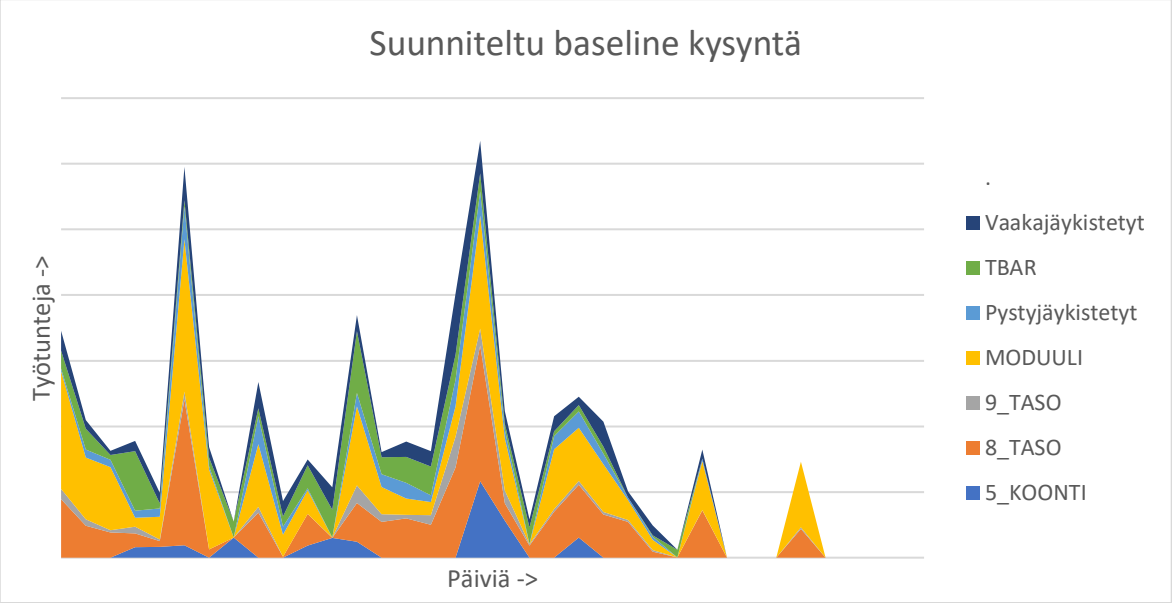
Kuva 18. Osakoontien toteutunut kuorma viikkotasolla

Kuten kuvaajista huomataan, kuormapiikit tasaantuvat todellisuudessa jonkun verran kuukausitasolla tarkasteltaessa, mutta viikkojen välillä kysynnässä on tasaista luonnollista vaihtelua. Samalla myös pidemmän aikajänteen kuopat suunnitellussa kuormassa tasaantuvat, joko tekemättä jääneellä suunnitellulla työllä tai tekemällä suunniteltua kuormaa etukäteen. Osakoontien kysyntää arvioitaessa on siis löydettävä jonkinlainen tasapainopiste näiden kahden välille.

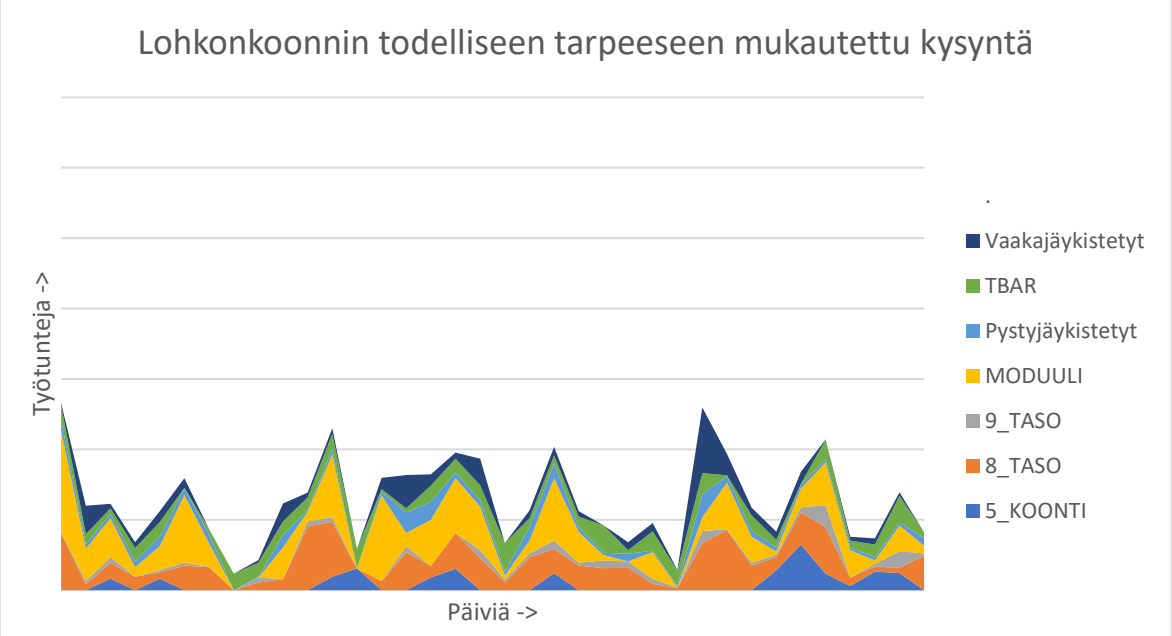
5.10.3 Baseline kuormituksen mukauttaminen todelliseen kysyntään

Tällä hetkellä ei ole olemassa työkalua, jolla pystyttäisiin näkemään, miten osakoontien suunniteltu baseline -kuorma uskotaan toteutuvan. Kuitenkin sellainen on mahdollista luoda peilaamalla lohkonkoonnin suunniteltuja aikatauluja osakoontien tarvepäiviin. Osakoontien kysyntä muodostuu kuitenkin vähintään 90 prosenttisesti lohkonkoonnin kysynnästä. Lohkonkoonnin ennustamista varten taas on luotu melko hyvin paikkaansa pitävä lohkojen paikkasuunnitelma, johon suunnitellaan jokaisen lohkon aloituspäivä perustuen koontipaikkojen vapautumisiin, paneelilinjan kapasiteettiin ja lohkojen ominaisuuksista muodostuviin lohkojen työkestoihin. Kun siis pystytään ennustamaan hyvällä tasolla asiakkaan eli lohkonkoonnin kysyntää, pystytään se muuntamaan suoraan osakoontien tarvepäiviksi. Lopputuloksena saadaan siis nykyistä suunniteltua kuormitusta parempi ennuste tulevien viikkojen toteutuvasta kysynnästä eri osakoontien työpisteiden ja tuotereittien osalta. Samalla saadaan kysyntäennuste, joka toimii paremmin myös tilanteessa, jossa ollaan edellä tai jäljessä suunniteltua

aikataulua. Näin ennustetun päiväkohtaisen kysynnän avulla voidaan puolestaan paremmin arvioida, kuinka paljon työlupia osakoontien tuotannolle tarvitsee antaa. Yllä mainittuja periaatteita noudattaen on alle luotu kaksi kuormakuvaajaa. Ensimmäinen kuvaaja kuvastaa suunniteltua kuormaa muutaman viikon jaksolta ja alempi kuvaaja kuvastaa, miten lohkojen ennustettujen aloitusten perusteella kysyntä todellisuudessa näyttää.



Kuva 19. Suunniteltu osakoontien kysyntä

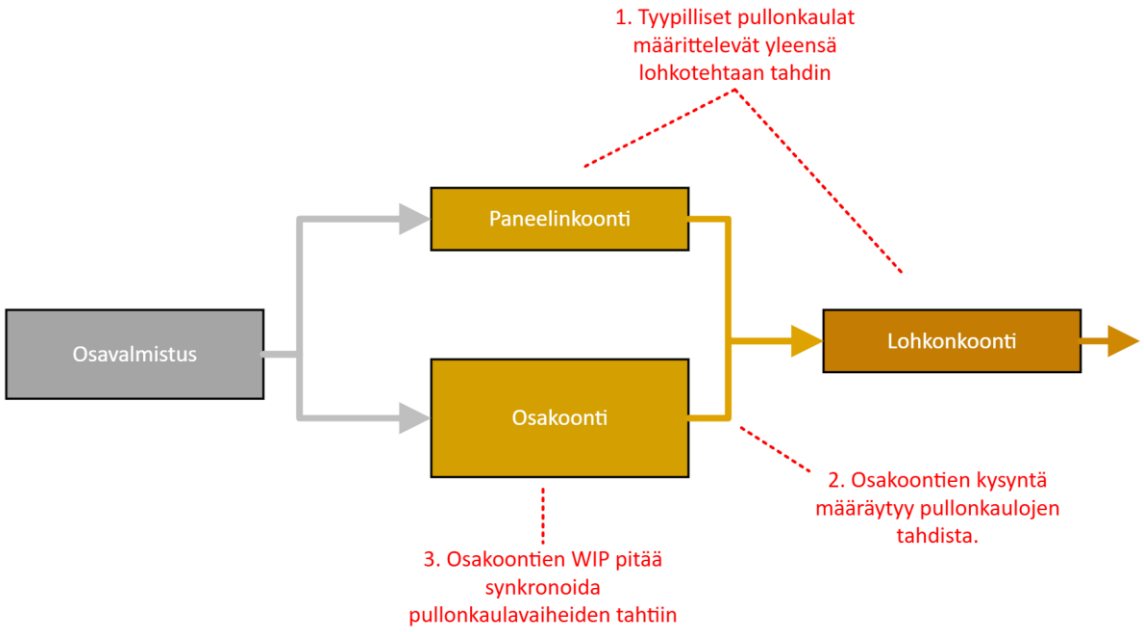


Kuva 20. Lohkojen ennustettuihin aloituksiin peilattu osakoontien kysyntä

Niin kuin kahdesta kuvaajasta voidaan nähdä, voi suunniteltu kuormitus poiketa reilusti todellisuudesta. Siksi KET-altaita täytyy laskea muilla keinoilla, kun suunnitelluilla osakoontien valmistuspäivämäärillä eli BEF päivämäärillä. Paras ratkaisu tähän on peilata osakoontien tarpeita lohkojen ennustettuihin aloituksiin, jotka tiedetään paljon tarkemmalla tasolla.

5.11 Pullonkaulan huomiointi KET-laskennassa

Gattorna (2016, 190) mainitsi aikaisemmin, että tyypillinen virhe on keskittyä korkeisiin yksittäisten työpisteiden kuormittamisiin, sen sijaan että KET:iä vapautettaisiin tuotantoon ainoastaan hitaimman pullonkaulaprosessin mukaan. Lödding myös esittelee ajatuksen yksinkertaisimmasta tavasta vapauttaa töitä tuotantoon, joka perustuu juuri samaan ajatukseen. Uutta työtä vapautetaan tuotantoputkeen lisää ainoastaan silloin, kun pullonkaulatyöpiste saa vanhaa työtä valmiiksi. (Lödding 2013, 99-101.)



Kuva 21. Lohkotehtaan pullonkaulat tuotantotahdin määrittäjänä

Lohkotehtaasta ei löydy yhtä täysin yksiselitteistä pullonkaulaa, mutta pullonkauloja voidaan ajatella olevan paneelilinja ja lohkonkoonti. Yleensä siis osakoonnit seuraavat enemmän paneelien ja lohkojen valmistumista, kuin toisinpäin. Tietysti välillä on tilanteita, että osakoonnit voivat muodostua hetkellisesti pullonkaulaksi, mutta yleensä niitä saadaan lisä-

miehityksellä ja satunnaisilla ylitöillä tehostettua riittävästi. Näitä pullonkaulana olevia vaihteita on hahmoteltu yllä olevaan kuvaan 21. Logiikka töiden vapauttamiseen osakoontien KET-altaaseen voidaan siis melko pitkälti lähteä sitomaan kiinni hyvällä ennustetarkkuudella olevaan, ja paneelilinjan kapasiteettiin perustuvaan lohkonkoonnin aikatauluun.

6 KET-altaiden laskentakaava ja sen implementointi

Aiemmassa viidennessä luvussa käytiin läpi asioita, joita KET-altaiden määrittelyssä on hyvä huomioida. Havaintoja muun muassa oli, että selkeää kysynnän vaihtelua laivaprojektin aikana ei tapahdu, vaan riittää että kysyntää tarkastellaan noin kuukausi eteenpäin todellisen kysynnän pohjalta. Lisäksi työtunteihin perustuvat KET-altaat pitävät sisällään aloittamattoman, aloitetun ja valmiin työn, sekä näiden lisäksi ohjauksen eräkoista johtuvia liian aikaisin tehtyjä osakoonteja, jotka täytyy kaikki kyetä huomioimaan KET-kokojen määrittelemisessä. Laskennan kannalta ehkä tärkein havainto oli, että kahden pullonkaulan, lohkonkoonnin ja sitä rajoittavan paneelilinjan ennustettavuus on hyvällä tasolla ja niiden ennustettua aikataulua peilaamalla saadaan näkyvyys myös osakoontien kysynnästä. Seuraavaksi tässä luvussa käydään läpi, miten osakoontien KET-laskenta tulee aiempien havaintojen pohjalta käytännössä toteuttaa.

6.1 Saatavissa oleva ja laskentaan tarvittava data

Diplomityön päämääränä on, että KET-altaiden laskenta pystytään automatisoimaan työnhallintajärjestelmässä manuaalisen laskennan sijaan, jolloin työlupien määrä eläisi päivittäin sen hetken tilanteen mukaan pohjautuen määriteltävään laskentalogiikkaan. Lohkotehtaan töiden ohjaukseen käytetään SAP-nimisestä ERP:stä saatavaa aikatauludataa ja Nestix-nimisestä materiaalihallintajärjestelmästä saatavaa BOM- ja materiaalidataa. Näiden kahden datakannan yhteen parsimisesta saadaan nykyiset työjonot ja tehtaan työnohjaus työnhallintajärjestelmään näkymiin. Jokaisen osakoonnin suunnitellut aloitus- ja lopetuspäivät, sekä työnkestot ovat siis jo nyt tietokannassa saatavilla, ja niitä käytetään, ja voidaan hyödyntää jatkossakin työlupien ohjauksessa. Jotta kuitenkin saadaan jokaiselle osakoonnille suunniteltujen tarvepäivien sijaan todellinen tarvepäivä, tarvitaan ennustetuista lohkojen aloituksista myös dataa. Tämänlaista aikatauludataa saadaan helposti ERP:stä, kuten esimerkiksi ennustetut ja suunnitellut lohkojen, sekä suurlohkojen aloitus- ja lopetuspäivät.

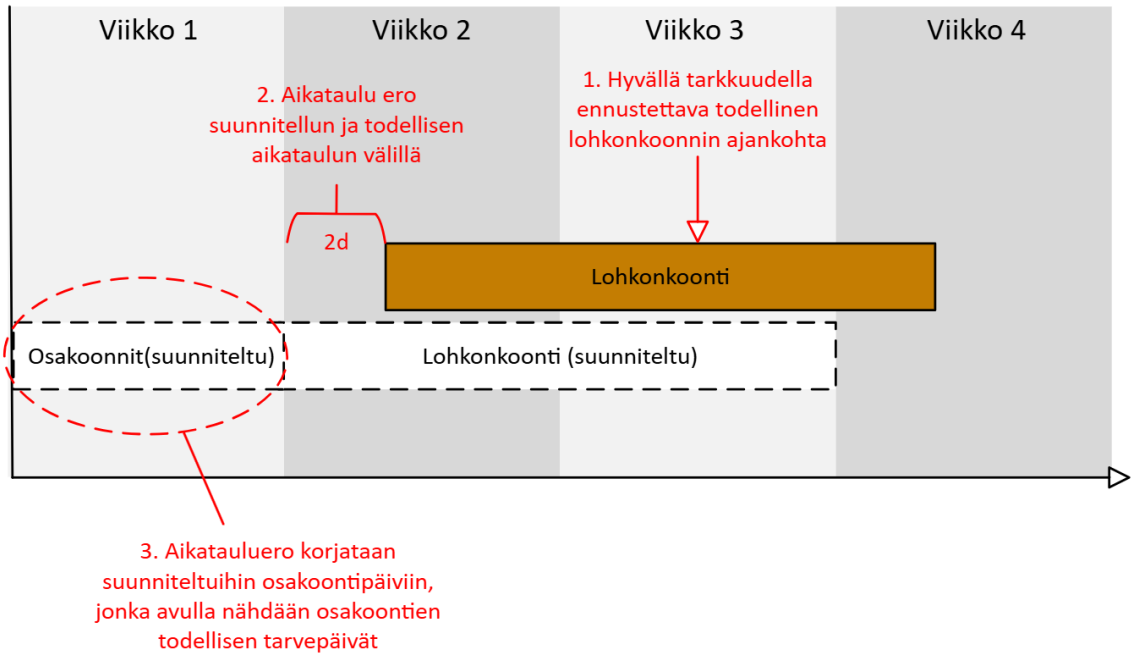
6.2 KET-altaiden koon laskennan vaiheet

Tähän kappaleeseen on hahmoteltu, kuinka työlupien määrittely käytännössä tehdään. Tarkoituksena on käydä vaihevaiheelta läpi, mitä asioita tarvitsee tehdä, jotta saadaan allaslaskenta tehtyä ja lopulta toimeksiantajayrityksessä koodattua dynaamiseksi laskentakaavaksi tuotannonohjaukseen. Käytännön implementointiin täytyy siis tehdä seuraavat vaiheet:

1. Listataan kaikki sellaiset osakoonnit, jotka ovat varastossa tai työjonoon ajoitettuna, niin että kaikista on saatavissa työmäärät ja BEF-päivämäärät. Tämä tieto on jo nykyisellään olemassa.

2. Haetaan kaikkien lohkojen ennustetut ja suunnittelut aloituspäivät ERP:stä ja lasketaan näiden kahden erotus työpäivinä, josta saadaan jokaiselle lohkolle todellisen tuotannon aikatauluero verrattuna suunniteltuun.

3. Korjataan jokaisen lohkoon toimitettavan osakoonnin suunnitellut lopetuspäivät kakkosvaiheesta saadulla kunkin lohkon aikataulupoikkeamalla. Näin saadaan jokaiselle yksittäiselle osakoonnille luotua ennustettu tarvepäivä. Esimerkiksi kaksi päivää myöhässä alkavaan lohkoon riittää, että kyseisen lohkon osakoonnit valmistuvat myös kaksi päivää myöhässä, jolloin osakoonnin ennustettu tarvepäivä voi myös olla kaksi päivää myöhemmin. Tätä periaatetta on hahmoteltu alla olevaan kuvaan.



Kuva 22. Osakoontien kysynnän laskeminen lohkonkoonnin aikataulun avulla

4. Korjattujen yksittäisten osakoontien tarvepäivien ja työtuntien avulla voidaan laskea jokaiselle tuotereitille tulevien viikkojen ennustetut päiväkohtaiset kysynnät, summaamalla kunkin tuotereitin koonnit päivätasolla yhteen.

5. Kun tiedetään todellinen lähiviikkojen päiväkohtainen kysyntä, täytyy seuraavaksi määritellä kuinka paljon etukäteen osakoonteja pitäisi pystyä aloittamaan suhteessa tarpeeseen. Tähän määrittelyyn käytetään päiviä. Aiemmassa luvussa käytiin läpi, että osakoonteja olisi hyvä ensinnäkin olla puskurissa *S*-päivän edestä, esimerkiksi 3 päivän kysynnän edestä. Puskurin lisäksi osakoontien valmistamiseen menee tyypillisesti useita päiviä riippuen työtunneista ja tuotereitistä, joten tuotereiteittäin voidaan varata koonneille vähintään *n*-päivää koontien valmistamiseen, joka voi olla esimerkiksi 5 päivää. Ja näiden kahden muuttujan *S* ja *n* yhteen laskulla saadaan tarvittavat *x*-päivät, kuinka paljon ennen todellista tarvetta koonteja pitää pystyä aloittamaan.

   $S + n = x$

   jossa,

   S = Puskurivarasto päivinä

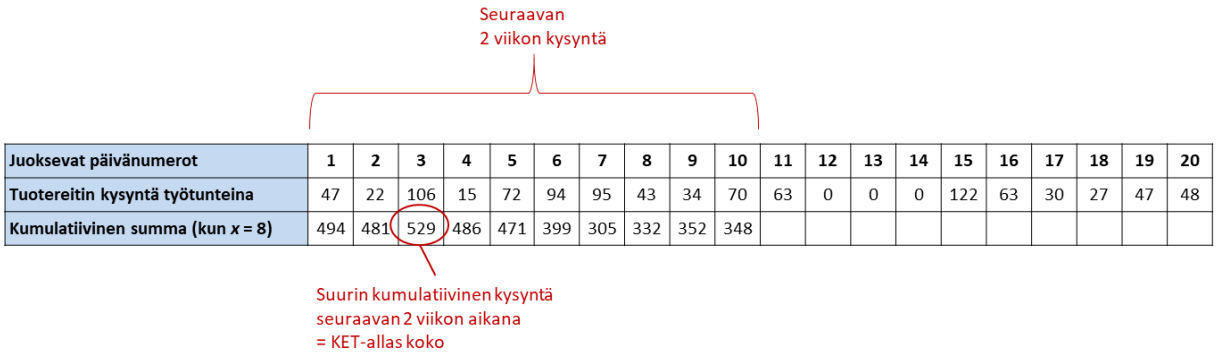
   n = Koontien tekemiseen varattu aika päivinä

   x = Kuinka montaa päivää ennen tarvetta koonti voidaan aloittaa

   Esimerkin turvin pitäisi aloituslupia olla aina 8-työpäivän päästä tarvittaviin osakoonteihin, jos *S* olisi 3 ja *n* olisi 5 päivää, mutta tätä päiviin perustuvaa aikaikkunaa on syytä käytännön kokemuksella mukauttaa ja laskentamallin lähtötilanteessa molempien arvojen olisi syytä olla aluksi vähintäänkin riittävällä tasolla.

6. Kun tiedetään, kuinka paljon etukäteen osakoonteja halutaan pystyä aloittamaan, voidaan tämän perusteella lähteä laskemaan KET-altaiden kokoja koontien työtuntien avulla. Altaan koon täytyy siis vähintäänkin olla aina seuraavien *x*-päivien työtuntien summa yhteensä, jotta työt voidaan aloittaa riittävän aikaisin, niin että niitä ehditään tekemään puskuriin asti. Tähän voidaan vielä lisätä varmuuskerrointa, siten että katsotaan seuraavalta kahdelta viikolta kuinka paljon kysyntää voi x-päivän ajanjaksolla olla ja määritellään KET-allas koko sen mukaan. Tällä tavalla KET-allas ennakoi paremmin

mahdollista kysynnän nousua lähiviikkoina ja vähentää allaskoon turhaa ylös-alas liikettä. Alla on esimerkki tuotereitin allaslaskennasta huomioimalla seuraavan kahden viikon eli 10 arkipäivän aloitusluvallisten töiden työtuntitarve *x*-päivien ollessa 8.

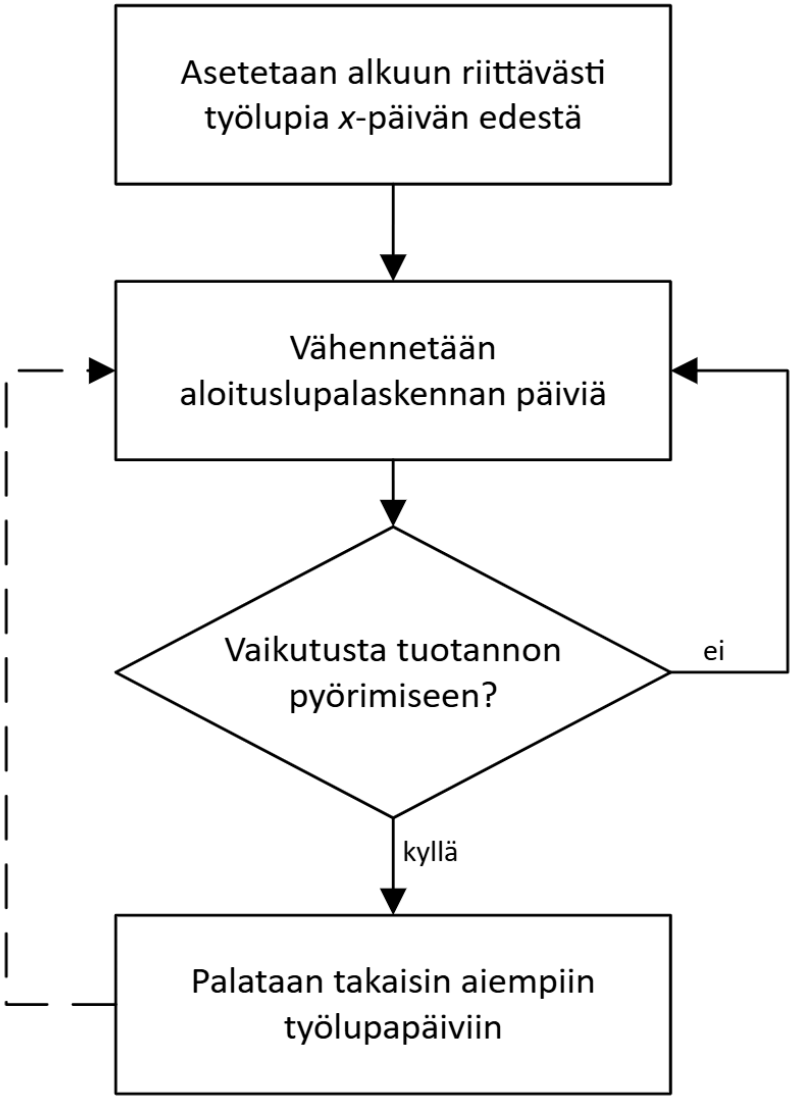


Juoksevat päivänumerot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tuotereitin kysyntä työtunteina	47	22	106	15	72	94	95	43	34	70	63	0	0	0	122	63	30	27	47	48
Kumulatiivinen summa (kun *x* = 8)	494	481	529	486	471	399	305	332	352	348										

Kuva 23. KET-altaan laskenta periaate

Ylläolevassa laskentaesimerkissä nähdään, että seuraavan kahden viikon aikana kumulatiivinen 8 päivän summa vaihtelee 305-529 työtunnin välillä. Jotta KET-altaan koko saadaan pysymään stabiilimpana ja paremmin tulevaan kysyntään mukautuvana valitaan näistä isoin kumulatiivinen summa KET-altaan kooksi, joka on esimerkin tapauksessa 529 työtuntia kolmen päivän päästä. Tämä allaskoko tietysti elää päivittäin sitä mukaa, kun suurin kahden viikon juokseva kysyntä muuttuu.

7. Kun uusi laskentamalli saadaan käyttöön, pitää sen toimimista seurata, niin kuin tietysti kaikkia prosessiuudistuksia. KET-altaan päivämääräisen puskurin määrittelemiseksi ja seuraamiseksi voidaan hyödyntää kolmannessa luvussa mainittua toiminnallista menetelmää, jossa Kanban-korttien määrä asetetaan aluksi riittävälle tasolle ja hiljalleen prosessia seuraamalla sitä supistetaan. Lödding (2012, 341) mallin mukaan alle on luotu prosessikaavioon perusperiaate, miten allaskokoa lähdetään hallinnoimana toiminnallisessa menetelmässä, kun aluksi on määritelty riittävät lähtötasot.



Kuva 24. Työlupalaskennan työlupien järjestelmällinen vähentäminen

Kuten yllä kuvatussa mallissa nähdään, lähdetään *x*-päiviin perustuvaa työlupalaskentaa hiljalleen laskemaan, kunnes saavutetaan piste, jossa vaikutusta saattaa alkaa tulla tuotantoon ja asiakkaan tarpeen tyydyttäminen ei onnistu riittävällä varmuudella. Tavoitteena on löytää sopiva keskipiste, jossa tuotannolla on edellytykset aloittaa aina riittävän aikaisin työt, ilman että valmista työtä on turhan paljon puskurissa.

7 Johtopäätökset

7.1 Työn tulokset

Tämän diplomityön päämääränä oli selvittää vastaukset seuraaviin kahteen tutkimuskysymykseen:

1. Mitä asioita tarvitsee huomioida osakoontien dynaamisten KET-altaiden määrittelyssä?
2. Millä laskentaperiaatteilla osakoontien KET-altaiden laskennasta voidaan tehdä dynaamista?

Ensimmäiseen kysymykseen etsittiin vastauksia perehtymällä varastointiin ja tuotannonohjaukseen liittyvään teoriaan, tarkastelemalla nykyistä tuotantoprosessia, sekä käymällä läpi yksitellen KET-määrittelyyn mahdollisesti vaikuttavia asioita. Monimutkaisen tuotannon hallintaan ei ollut etukäteen selkeää ajatusta, vaan KET-laskentaan huomioitavat asia löytyi nykyistä tuotantoympäristöä tarkemmin tarkastelemalla. Keskeisimmät löydöt liittyvät siihen, että KET-altaan laskennassa on huomioitava mahdollisuus aloittaa työt vähintäänkin suunnittelujen kestojen verran ennen kysyntää ja samalla altaaseen täytyy mahtua myös välivarastoitavat koonnit. Samoin tärkeäksi elementiksi muodostui itse kysynnän ennustaminen, jotta tiedetään mihin kysyntään KET-altaiden ylipäätään pitäisi mukautua. Tässä taas keskeisimpänä havaintona nousi esiin se, että osakoontien todellinen kysyntä saadaan melko tarkasti muunnettua osakoontien suunnittelusta tarvepäivästä perustamalla se tärkeimmän asiakkaan, lohkonkoonnin aikatauluun. Lohkonkoonnissa tiedetään hyvin lohkojen työmäärät ja niistä syntyvät kestot, joiden avulla lohkonkoonnin ennustettu aikataulu on hyvin stabiili. Lohkonkoonti on lisäksi tyypillisesti myös pullonkaulana tuotannossa, joten sen rytmiin on järkevää sitoa osakoonteja.

Toiseen tutkimuskysymykseen, eli itse laskentaperiaatteiden luomiseen, muotoiltiin pitkän tarkastelun jälkeen melko yksinkertainen ratkaisu. Monimutkaiseen tuotantoon on haastavaa luoda yksityiskohtaisia laskentamalleja, joten laskentaperiaatteeksi syntyi malli, jossa KET-laskenta perustui x määrään altaaseen mahdutettaviin kysyntäpäiviin perustuen lohkonkonnin hyvällä tarkkuudella ennustettuun kysyntään. Tärkein oivallus, hyvin monimutkaisen

tuotantosuunnitelman pohjalta perustuvassa tuotannossa, oli perustaa KET-altaan määrittely osakoontien tahdin määrittävän tärkeimmän asiakasvaiheen todelliseen kysyntään.

7.2 Jatkotoimenpide- ja kehitysehdotukset

Työn pohjalta löytyi selkeitä kehityskohteita, joihin keskittymällä myös osakoontien KET-altaiden laskennasta voidaan tehdä luotettavampaa. Selkeästi isoimpana kehityskohteena kävi ilmi datan ja ymmärryksen vähyys osakoontien todellisista kestoista ja työpisteiden kapasiteeteista.

Tällä hetkellä ei ole olemassa työkalua tai tarkempaa näkyvyyttä, kuinka paljon yksittäisille osakoonneille todellisuudessa tarvitsee varata työpäivinä aikaa, joten KET-laskenta määriteltiin pitkälti sillä ajatuksella, että osakoontien työpisteillä on aina vähintäänkin riittävästi aikaa työn tekemiseen. Osakoontien kestojen määrittelyä pystyisi kuitenkin melko helposti lähteä tarkentamaan perustamalla se aiempien osakoontien kestoihin suhteessa ennustettuun työmäärään. Ongelmana tällä hetkellä kuitenkin on, että osakoonteja ei raportoinnin monimutkaisuuden takia raportoida riittävällä tarkkuudella, joten siitä ei tällä hetkellä saada hyödynnettävää dataa.

Parempi kapasiteetin ymmärrys olisi myös asia, joka mahdollistaisi paremmin KET-laskennan. Tällä hetkellä tiedetään, kuinka paljon osakoonteihin on työnsuunnittelussa arvioitu suunniteltuja työtunteja, muttei tiedetä kovin tarkasti kuinka paljon suunnitellut työtunnit ovat lopulta todellisena työaikana. Tämä ongelma korostuu erityisesti useassa alihankitussa työpisteessä, jossa miehitysmääriä ei muutenkaan tiedetä aina tarkasti. Parempaa kapasiteetin ymmärrystä varten voisi olla hyvä kerätä dataa siitä, kuinka paljon suunniteltuja tunteja todellisuudessa pystytään eri työpisteillä tekemään viikkotasolla. Tällöin myös KET-määrittelyllä ja osakoontityöpisteiden miehityksellä pystyisi paremmin reagoimaan tilanteisiin, joissa keskimäärinen kysyntä nousee yli sen hetkisen kapasiteetin.

8 Yhteenveto

Dynaamisen KET:n määrittely monimutkaisessa Meyer Turku Oy:n telakan tuotantoympäristössä ei ole aivan yksinkertaista. Telakalla tehdään aina pitkiä uniikkeja projektikokonaisuuksia ja yhden yksittäisen laivatilaukseen tekemiseen saattaa lohkotehtaalla mennä lähemmäs vuosi. Tälle lähemmäs vuoden ajalle on luotu karkea-aikataulu, jossa valmistetaan kaikki laivan teräksiset koontiosat laivan kaksoispohjasta laivan tutkamastoon. Tämän yksittäisen laivaprojektin tekemisen aikana tapahtuu merkittävästi vaihtelua myös lohkotehtaan osakoontien kysynnässä. Jos osakoontien keskeneräisen työn määrä ei pysty mukautumaan kysynnän vaihteluun, johtaa se helposti tilanteeseen, jossa työtä ei pystytä tekemään riittävän aikaisin suhteessa tarpeeseen tai työtä tehdään välivarastoon aivan liikaa suhteessa kysyntään. Jälkimmäinen asia, välivarastoon tekeminen, on taas asia, joka kuormittaa koko telakkaa, sillä uniikin projektin aikana myös tarve välivarastoida ja tehdä erilaisia töitä telakka-alueella vaihtelee merkittävästi.

Osakoontien välivaraston vähentämiseksi luotiin dynaamiset KET-altaat, jotka vapauttavat työlupia välivarastoon tehtäville osakoontitöille paremmin sen hetken jatkuvasti muuttuvaan tarpeeseen. Näiden dynaamisten KET-altaiden luonti vaati ensinnäkin ymmärrystä liiallisen varastoinnin haasteista, tuotannonohjauksen periaatteista ja nykyisen tuotantoprosessin vaiheista. Nämä asiat ymmärtäen käytiin läpi erilaisia asioita, jotka voisivat vaikuttaa KET-altaiden määrittelyyn. Merkittäviä havaintoja olivat, että suunnitelmallinen osakoontien kysyntä selviää vasta noin kuukausi ennen tuotannon alkamista ja tätä pidemmälle tapahtuvaan kysynnän vaihteluun ei ole järkeä reagoida KET-muutoksilla. KET-laskennassa täytyi myös huomioida, että tuotannon täytyy pystyä aloittamaan työt riittävän ajoissa ja tekemään niitä puskurivarastoon asti KET-altaan sisällä. Merkittävänä haasteena havaittiin myös se, että suunniteltu aikataulu harvemmin toteutuu käytännössä, joten KET-laskentaa ei voitu perustaa suoraan siihen. Onneksi osakoontien merkittävin asiakas lohkonkoonti sekä sille paneelit toimittava paneelilinja ovat useimmiten tuotannossa pullonkauloina ja niiden kysyntä on hyvin ennustettavaa, joten osakoontien KET-allaslaskenta pystyttiin sitomaan lohkonkoonnin realistiseen kysyntäennusteeseen. Dynaamisen KET-laskennan perusajatukseksi nousi aiem-

pien havaintojen perusteella tapa, jossa KET-määriteltiin niin, että työpisteillä oli mahdollisuus aloittaa työt aina vähintään sopivaksi koettu *x* päivää ennen todellista osakoonnin tarvetta.

Lopputuloksena dynaamisten KET-altaiden määrittely varmistaa siis jatkossa, että tuotannolla on aina mahdollisuus aloittaa työt riittävän aikaisin työlupien rajoissa, ilman että KET:n määrä kasvatetaan perusteettomasti lisäämään välivarastointia. Lopputuloksena tästä ovat helpommin seurattavat ja johdettavat osakoontien työpisteet, sekä telakka-alue, jossa välivarastointia tehdään paljon hallitummin ainoastaan todelliseen kysyntään perustuen.

Lähteet

Axsäter, S. 2015. Inventory Control (Third edition). International Series in Operations Research & Management Science. Springer International Publishing

Gattorna, J. 2016. Gower Handbook of Supply Chain Management. Fifth edition. London ; Routledge, 2016. Web.

Hopp, J. & Spearman, L. 1996. Factory Physics. Irwin, Chicago

Issar, G. & Navon, L.R. 2016. Operational Excellence A Concise Guide to Basic Concepts and Their Application. 1st ed. Cham: Springer International Publishing, 2016.

Ivanov, D., Tsipoulanidis, A. & Schönberger, J. 2021. Global Supply Chain and Operations Management : A Decision-Oriented Introduction to the Creation of Value. Third edition. Cham, Switzerland: Springer, 2021. Print.

Erick, J. 2020. Supply Chain Engineering and Logistics Handbook: Inventory and Production Control. 1st ed. Milton: CRC Press, 2020. Web.

Logistiikan Maailma. 2024. Varastotyypit ja –tekniikka. Viitattu 9.2.2024. https://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikan-toimijat/varastointi/varastotyypit-ja-tekniikka/

Lödding, H. 2013. Handbook of Manufacturing Control Fundamentals, Description, Configuration. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 305-306.

Muris, L. J. & Moacir G. F. 2010. Variations of the kanban system: Literature review and classification. International journal of production economics. Vol. 125 (1), s. 13-21.

Pinto, J., Matias, J., Pimentel, C. Garrido Azevedo, S. & Govindan., K. 2018. Just in Time Factory Implementation Through Lean Manufacturing Tools. Cham: Springer International Publishing, 2018.

Ross, D. F. 2015. Distribution Planning and Control Managing in the Era of Supply Chain Management. 3rd edition. New York, Springer Science+Business Media

Slack, N., Brandon-Jones, A. & Burgess. Nicola. 2022. Operations Management (10th edition). Pearson Education Limited.

Spearman, M. L., Woodruff D. L & Hopp W. J. 1990. CONWIP: A Pull Alternative to Kanban.” International journal of production research 28.5 (1990): 879–894.