

Bruk av lean produksjonsprinsipper og
verdistrømanalyse for å forbedre
materialflyt i en MTO
komposittproduksjonsfasilitet

Eirik Arntsen

Master i produktutvikling og produksjon
Innlevert: juni 2016
Hovedveileder: Erlend Alfnes, IPK

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk

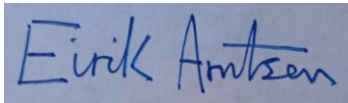
I FORORD

Denne oppgaven, TPK4930, representerer siste del av det 5-årige studieprogrammet produktutvikling og produksjon ved NTNU. Oppgaven vektlegges 30 studiepoeng.

En stor takk rettes til veileder Erlend Alfnes for godt samarbeid og gode tilbakemeldinger underveis i skriveprosessen. Samtlige møter og tilbakemeldinger underveis har vært verdifulle for utarbeidelse av oppgaven.

En takk må også rettes til Kongsberg Defence & Aerospace for svært godt samarbeid gjennom hele prosessen. Tilbakemeldinger og informasjon fra både veileder Nils Olav Klausen og kontaktperson Alf Pettersen har vært helt avgjørende for at oppgaven ble mulig å gjennomføre.

En siste takk rettes til venner, klassekamerater og familie som har hjulpet til på alle mulige måter gjennom årene på NTNU. I tillegg rettes en stor takk til dere som bidro til å hjelpe meg med korrekturlesing av oppgaven.



Eirik Arntsen

10.06.2016

II SAMMENDRAG

Hensikt – Denne oppgaven har som hensikt å finne ut hvordan og hvor godt egnet «lean» produksjonsprinsipper og verdistrømsanalyse er for å forbedre materialflyt i en MTO-komposittproduksjonsfasilitet. Det defineres to oppgavemålsetninger og to forskningsspørsmål som har som hensikt å belyse og utrede hvordan case-bedriften kan oppnå forbedret materialflyt, i tillegg til å forbedre prestasjonsindikatorene produksjonsgjennomløpstid og WIP.

Metode – Litteraturstudie av lean produksjon med fokus på VSM, JIT («pull»), flaskehalsstyring og WLC. Et bedriftsstudie («case study») av en MTO-bedrift innen komposittproduksjon vil bli utarbeidet.

Case-bedrift – Case-bedriften denne oppgaven er skrevet i samarbeid med er en MTO-bedrift, som produserer deler av kompositt. Bedriften opererer i et militært forsvarsmarked hvor de har få, men store kunder. Ordrevinnende faktorer er kvalitet og leveringsdyktighet, mens ordrekvalifiserende faktor er pris. Det produseres 71 ulike komposittdeleer til de to største prosjektene ved bedriften, som denne oppgaven tar for seg, mens totalt produksjonsvolum lå på 3900 deler i 2015. I løpet av 7 år, frem til 2022, skal produksjonen trappes opp til rundt 7000 deler per år. Én av de største utfordringene med komposittproduksjonen er at én del hører til én spesifikk verktøyform. Etter herdeprosessen skilles rutene til del- og verktøyform, slik at man er avhengig av timing mellom del- og verktøyformrute. Hovedutfordringen i produksjonen er lange og ustabile gjennomløpstider, som bidrar til at WIP hopper seg opp i produksjonen.

Resultater – I oppgavemål 1 foreslås det en «future state» VSM for case-bedriften hvor det blir fokusert på forbedret materialflyt, reduserte og stabiliserte produksjonsgjennomløpstider, og redusert og stabilisert WIP. Det er fullt mulig for case-bedriften å oppnå store forbedringer ved hjelp av VSM, selv om det også vil oppstå utfordringer underveis. De tre problemområdene som ble funnet gjennom bedriftsstudiet løses ved hjelp av de ulike retningslinjene for VSM. I forskningsspørsmål 1 generaliseres produksjonskarakteristikken som er benyttet for utarbeidelse av VSM. Det konkluderes med at VSM kan utnyttes enda bedre i det generelle tilfellet på grunn av de stabile gjennomløpstidene i dette tilfellet. I oppgavemål 2 vurderes det hvor egnet VSM, JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC er for å forbedre prestasjonsindikatorene. Det konkluderes med at VSM og pull passer til en viss grad, mens flaskehalsstyring passer dårlig fordi man ikke finner en tydelig flaskehals. WLC er et verktøy som kan egne seg godt, men det burde undersøkes nærmere for å få det bekreftet. Under forskningsspørsmål 2 konkluderes det at lean-karakteristikkene har varierende egnethet ved denne type produksjon. Lean egner seg best for produksjonssystemer som produserer høyvolum standardprodukter, men case-bedriften kan likevel dra nytte av flere av metodene og karakteristikkene innen lean produksjon.

Verdi – En «future state» VSM basert på litteraturstudie og karakteristikk av case-bedrift blir utarbeidet. Denne modellen kan benyttes for alle bedrifter med lignende karakteristikk. For at tiltakene som blir foreslått i denne modellen skal kunne benyttes av et bredere spekter av bedrifter blir det også foreslått tiltak for en definert «generell» MTO komposittproduksjon. Det blir også vurdert hvorvidt VSM, pull, flaskehalsstyring, WLC, og ulike lean karakteristikker er egnet for denne typen produksjonsbedrift.

Svakheter – Litteraturstudiet dekker mange emner, noe som gjør at dybden innenfor hvert emne blir svekket. Det blir også brukt bare én case-bedrift i denne oppgaven. Det vil si at løsningene ikke nødvendigvis gjelder for andre bedrifter, selv ved noenlunde like produksjonskarakteristikker.

Nøkkelord – *“Lean”, verdistrømanalyse, “make-to-order”, komposittproduksjon, “just-in-time”, “pull”, flaskehalsstyring, “workload control”.*

III SUMMARY

Purpose – The purpose of this thesis is to explore the suitability of lean manufacturing and VSM in improving production flow in an MTO composite manufacturing facility. Two objectives and two research questions are defined. Both aims to study how the case company can achieve improved material flow, in addition to improving the performance indicators lead times and WIP.

Design – A literature study of lean manufacturing focusing on VSM, JIT (pull), bottleneck control, and WLC is presented. A case study of an MTO company within composite production will be prepared.

Case company – The thesis is written in collaboration with an MTO-company, which produces composite parts. The company operates in a military defense and aerospace market where they have few but big customers. Order-winning factors are quality and service level, while the order-qualifying factor is price. The company produces 71 unique composite parts for their two main projects, which this thesis investigates. The total production volume was 3900 parts in 2015, but until 2022, the production volume will increase to about 7000 parts per year. One of the greatest challenges of this kind of composite production is that one part belongs to one specific tool, which is used as a template for the part. After the curing process, the part and the tool are separated into two different routes. This makes the production process dependent on timing between part route and tool route. The main challenge in the production are long and unstable lead times, while WIP are piling up.

Findings – Objective 1 proposes a future state VSM related to the case company where the main focus is improving material flow, and reducing and stabilizing lead times and WIP. It is possible for the case company to achieve major improvements using VSM, although challenges will occur. For the three problem areas discovered in the case study, solutions are proposed using design elements of VSM. In research question 1, the production characteristics used for the current state VSM are generalized, where the most important difference is stable production lead times for the general case. It is concluded that VSM is more suitable in the general case because of the stable lead times. Objective 2 evaluates if VSM, JIT (pull), bottleneck control and WLC are suitable in improving the performance indicators mentioned. It is concluded that VSM and pull are suitable to a certain extent, while bottleneck control is less suited because of lack of an obvious bottleneck. WLC is a tool that can be well suited, but it should be investigated further to be confirmed. Research question 2 concludes that the suitability of lean characteristics for this type of production varies. Lean is best suited for environments producing high volume standard products, but the case company can still benefit from several of the methods and characteristics in lean manufacturing.

Value – A future state VSM is developed based on the literature study and the characteristics of the case company. This model can be used for all companies with similar characteristics. It is also proposed actions for a defined “general” MTO composite production. In this way, a wider range of companies can use the actions being proposed. It is also evaluated whether VSM, pull, bottleneck control, WLC and various lean characteristics are suitable for this type of manufacturing company.

Weaknesses – The literature study covers multiple topics, limiting the depth of evaluation within each topic. It is used only one case company in this thesis, therefore, the solutions do not necessarily apply to other companies, even with approximately similar characteristics.

Keywords – *Lean, value stream mapping, make-to-order, composite production, just-in-time, pull, bottleneck control, workload control*

IV INNHOLD

I Forord	i
II Sammendrag.....	ii
III Summary.....	iv
IV Innhold	vi
V Figurliste	ix
VI Tabelliste	x
VII Forkortelser	xi
1. Innledning	1
1.1. Bakgrunn.....	1
1.2. Tolkning av oppgaven.....	2
1.2.1. Problembeskrivelse/motivasjon.....	2
1.2.2. Oppgavemål og forskningsspørsmål.....	3
1.2.3. Utarbeidelse av oppgavedefinisjon, oppgavemål og forskningsspørsmål	3
1.3. Oppgavens oppbygning	3
1.4. Avgrensninger.....	5
2. Metodologi	6
2.1. Generelt.....	6
2.2. Prosjektets faser	7
2.3. Søking	7
3. Litteraturstudie	10
3.1. Introduksjon	10
3.2. Introduksjon til begreper.....	10
3.3. Strategi	13
3.4. Lean produksjon	14
3.4.1. Et historisk tilbakeblikk på lean produksjon.....	14
3.4.2. Lean produksjon i dag.....	16
3.4.3. Lean innen vedlikeholdsprosesser.....	19
3.5. Planlegging/Scheduling	19
3.5.1. Kapasitet	20
3.6. Value Stream Mapping (verdistrømanalyse).....	21

3.6.1.	Fordeler	25
3.6.2.	Utfordringer.....	25
3.6.3.	Egnet produksjonsmiljø for bruk av VSM	25
3.6.4.	Litteraturoversikt.....	26
3.7.	Just-in-time (JIT), Push og Pull	27
3.7.1.	Just-in-time-filosofien.....	27
3.7.2.	Fordeler pull produksjon	29
3.7.3.	Utfordringer JIT.....	29
3.7.4.	Egnet produksjonsmiljø for pull produksjon	29
3.7.5.	Litteraturoversikt.....	30
3.8.	Flaskehalsstyring.....	31
3.8.1.	Introduksjon til flaskehalsstyring.....	31
3.8.2.	Potensielle fordeler	32
3.8.3.	Potensielle utfordringer	33
3.8.4.	Egnet produksjonsmiljø.....	33
3.8.5.	Litteraturoversikt.....	33
3.9.	Workload Control (WLC).....	34
3.9.1.	Potensielle fordeler	36
3.9.2.	Potensielle utfordringer	36
3.9.3.	Egnet produksjonsmiljø for WLC	36
3.9.4.	Litteraturoversikt.....	37
3.10.	Oppsummering og sammenligning av JIT, flaskehalsstyring og WLC.....	37
4.	Bedriftsstudie.....	38
4.1.	Introduksjon	38
4.2.	Kunder, industri og markedssegment	40
4.3.	Forretningsstrategi	40
4.4.	Produkter.....	41
4.5.	Informasjonsteknologi.....	42
4.6.	Produksjonsprosesser.....	44
4.6.1.	Produksjonsrute	44
4.6.2.	De ulike produksjonsprosessene	46
4.6.3.	Fleksibilitet i produksjonssystemet	51
4.7.	Produksjonsplanlegging.....	52
4.8.	As-is VSM	53

4.9.	Oppsummering av nøkkeldata for komposittproduksjonen ved Kongsberg Aerostructures	57
5.	Løsning og diskusjon	58
5.1.	Ideelt produksjonssystem for verktøyavhengig komposittproduksjon gjennom VSM	58
5.1.1.	Future state value stream map	65
5.2.	Lean-metoder som kan brukes for å optimalisere produksjonseffektiviteten.....	66
5.2.1.	Value stream mapping.....	66
5.2.2.	Just-in-time (pull).....	69
5.2.3.	Flaskehalsstyring.....	69
5.2.4.	Workload Control	70
5.2.5.	Oppsummering JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC.....	71
5.3.	Anvendelse av de ulike designelementene	72
5.4.	Anvendelse av nøkkelkarakteristikker for VSM i en verktøyavhengig komposittproduksjon.....	75
5.5.	Oppsummeringsdiskusjon	77
6.	Konklusjon og videre arbeid	79
6.1.	Konklusjon oppgavemål 1.....	79
6.2.	Konklusjon oppgavemål 2.....	79
6.3.	Konklusjon forskningsspørsmål 1	80
6.4.	Konklusjon forskningsspørsmål 2	80
6.5.	Videre arbeid	80
7.	Akademiske bidrag.....	82
8.	Svakheter	83
	Referanseliste	84
	Vedlegg	87
	Vedlegg A – Produserte komposittdeler i løpet av 2015	87
	Vedlegg B – Inngående deler til CTOL/CV	88
	Vedlegg C – Kjøreprogrammer for herding i autoklave	89
	Vedlegg D – Intervjuspørsmål	89

V FIGURLISTE

Figur 1 – Kundeordens dekoblingspunkt (Rudberg and Wikner, 2004).	12
Figur 2 – WLC prinsipiell skisse utviklet fra workload.com (workloadcontrol.com)	35
Figur 3 – Oppbygning av en typisk WLC-regel (Fredendall et al., 2009).....	36
Figur 4 – Organisasjonsstruktur Kongsberg Gruppen.....	39
Figur 5 – Sammenheng mellom IKT-systemer	43
Figur 6 – Detaljnivå i planlegging.....	43
Figur 7 – Del og verktøyflyt i komposittproduksjonen, første del av produksjonsrute	44
Figur 8 – Enkelt eksempel av samkjøring mellom verktøyform-rute og del-rute	45
Figur 9 – Del og verktøyflyt i komposittproduksjonen, siste del av produksjonsrute.....	49
Figur 10 – Nåværende «current state» Value Stream Map for LM-deler ved Kongsberg Aerostructures	54
Figur 11 – Supermarket pull-system (Rother and Shook, 1999)	60
Figur 12 – “Future state” value stream map	65

VI TABELLISTE

Tabell 1 - Søkeord.....	8
Tabell 2 - Design questions (Rother and Shook, 1999).....	25
Tabell 3 – Litteraturoversikt value-stream-mapping.....	26
Tabell 4 – Litteraturoversikt Just-in-time (pull).....	30
Tabell 5 – Litteraturoversikt flaskehalsstyring.....	33
Tabell 6 – Litteraturoversikt workload control.....	37
Tabell 7 – Oppsummering og sammenligning av JIT (pull), flaskehalsstyring, WLC og VSM basert på litteraturstudie	37
Tabell 8 – Kutting.....	46
Tabell 9 – Lay-up.....	47
Tabell 10 – Autoklave	48
Tabell 11 – Demould.....	49
Tabell 12 – Maskinering og måling.....	49
Tabell 13 – Overflatebehandling	50
Tabell 14 – Montasje og bonding	50
Tabell 15 - Kontroll	51
Tabell 16 – Oppsummering av nøkkeldata for komposittproduksjonen ved Kongsberg Aerostructures.....	57
Tabell 17 – Oppsummering av tiltak i «future state» value-stream map	64
Tabell 18 – Oppsummering av tiltak for å løse fremhevede problemområder i «future state» value-stream map.....	64
Tabell 19 – Anvendbarhet av VSM	68
Tabell 20 – Anvendbarhet av JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC	71
Tabell 21 – Generalisert produksjonsbedrift for MTO kompositt.....	72
Tabell 22 – Oppsummering av anvendelse av retningslinjer for en generell MTO komposittproduksjon	74
Tabell 23 – Lean karakteristikker – egnet for Aerostructures?	77

VII FORKORTELSER

CCR – Capacity Constraint Resource

DBR – Drum-buffer-rope

ERP – Enterprise Resource Planning

F-35A – *CTOL* – Conventional Take Off and Landing

F-35B – *STOVL* – Short Take Off, Vertical Landing

F-35C – *CV* – Carrier Version

FMS – Flexible Manufacturing Systems

KDA – Kongsberg Defence and Aerospace

LM – Lockheed Martin

MPC – Manufacturing Planning and Control/Produksjonsplanlegging og kontroll

MPP – Master Production Planning

MRP – Material Requirements Planning

MTO – Make to Order

NGC – Northrop Grumman Corporation

RBC – Repeat Business Customizer

TPM – Total Productive Maintenance

WIP – Work in Process/Varer i arbeid

WLC – Workload Control

1. INNLEDNING

1.1. BAKGRUNN

Denne masteroppgaven skrives i tiende og siste semester av studieprogrammet Produktutvikling og Produksjon ved NTNU, og avslutter dermed det 5-årige studieløpet. Dette kapittelet vil presentere en introduksjon for masteroppgaven.

Oppgaven skrives i samarbeid med Kongsberg Aerostructures, som hører til under Kongsberg Defence and Aerospace (KDA). Avdelingen Aerostructures holder i hovedsak på med produksjon av flydeler, og er én av mange underavdelinger i Kongsberg Gruppen og KDA. Kongsberg Aerostructures vil refereres til som både «Aerostructures» og «avdelingen» resten av oppgaven. I 2008 fikk Aerostructures en ny fabrikk kalt Arsenalet, på om lag 30 000 kvm. Aerostructures er delt inn i tre forretningsområder; mekanisk produksjon, komposittproduksjon og vedlikehold av helikopterdeler. Omtrent en tredjedel av området brukes til mekanisk produksjon og omtrent to tredjedeler brukes til komposittproduksjon, mens vedlikehold av helikopterdeler foregår på et mindre område i produksjonslokalene. Aerostructures komposittproduksjon produserer deler til Lockheed Martins F35-program, og er eneleverandør på flere av delene. I tillegg til produksjonslokalene har de et administrasjonsbygg på omtrent 4500 kvm.

Fabrikken blir ansett som svært moderne og Kongsberg Gruppen omtaler selv fabrikken som en av Europas mest avanserte innen produksjon av komplekse strukturer i høylegert metall (titan) og kompositter.

Ved utarbeidelse av denne oppgaven ble det utført samtaler med ansatte samt gjort observeringer i produksjonen for å avdekke eventuelle utfordringer og problemområder. Det kom da frem at Aerostructures har en del utfordringer knyttet til utnyttelse av ressurser, som maskiner og arbeidskraft, for å oppnå maksimal effektivitet i produksjonen. Det viste seg at de spesielt hadde utfordringer knyttet til del- og verktøyflyten i komposittdelen av produksjonen. Ujevn flyt og opphoping av deler førte blant annet til mye varer i arbeid (WIP) og mange kjøringar i halvfulle autoklaver.

Fabrikken er designet for et dobbelt så høyt produksjonsvolum som dagens, og allerede blir det uttrykt bekymringer for plassmangel av ansatte i avdelingen. I dag produseres det deler til 60 fly per år, mens maksimalt volum som skal oppnås innen 2022 er på 159 fly. Innen 2020 skal det produseres til 152 fly, og denne økningen gjør at det er grunn til bekymring. Det blir stadig utført nye prosjekter og tiltak for å gjøre avdelingen klar for denne økningen i produksjonsvolum, og denne masteroppgaven skal bidra med innspill for hvordan å gjøre denne taktøkningen enklere.

1.2. TOLKNING AV OPPGAVEN

1.2.1. Problembeskrivelse/motivasjon

Aerostructures har som nevnt utfordringer med planlegging av komposittproduksjonen. Fra produksjonen starter i kuttemaskinen til delene sammenstilles er det flere utfordringer knyttet til flyt. Opphoping av deler mellom produksjonsprosessene fører til mye WIP, som igjen gjør gjennomløpstidene lange. Det er flere grunner til at deler samler seg opp i produksjonen, blant annet nedetid på maskiner, kontrollpunkter og avvik ved kontrollmålinger. Dette vil bli grundigere undersøkt gjennom et bedriftsstudie (case study) i kapittel 4. En annen konsekvens som kommer av opphoping av deler er at tiden brukt til verdiskapning i produksjonen er svært lav, fordi delene ligger mye stille. Det er ønskelig for Aerostructures å øke prosentandelen av tiden en del bruker i verdiskapende prosesser sammenlignet med ikke-verdiskapende prosesser. Dette undersøkes nærmere gjennom et «As-Is Value Stream Map (VSM)».

En av de største utfordringene knyttet til flyt gjennom komposittproduksjonen er antall verktøyformer og verktøytilgjengelighet. Én del hører til én spesifikk verktøyform, og for å kunne starte produksjonen av en del må tilhørende verktøyform ha kommet tilbake til start i produksjonsruten. Ved avvik eller feil på en del kan ikke delen fjernes fra verktøyformen fordi formen fungerer som en mal for delen som skal produseres, noe som gjør at neste del som skal produseres av samme type blir forsinket. Man har i produksjonen 1-3 verktøyformer per ulik del som produseres, da noen deler produseres oftere enn andre. Disse verktøyformene koster mye og tar opp ekstra plass i produksjonen, så det er ønskelig å ha et minimum av disse så lenge man klarer å produsere nok til å møte etterspørselen.

Mot slutten av produksjonsruten skal delene gjennom en sammenstillingsprosess, hvor første del er «bonding», der de limes sammen, og deretter montasje, hvor de siste delene monteres. De to største ferdige produktene har opptil 15-20 inngående deler, og et problem har vært at man ikke får ut riktige deler før sammenstilling fordi alle delene må være til stede før prosessen kan starte. Dette skjer av flere årsaker, men hovedsakelig på grunn av avvik eller feil på deler eller maskiner som gjør at delene stopper opp i produksjonen.

Gjennom samtaler med veileder fra Aerostructures kommer det frem at de ønsker å få identifisert og foreslått hvilke styringsprinsipper som egner seg til å bruke med tanke på flyt, gjerne med fokus på enkle prinsipper og visuell styring. De er også interessert i hvordan man kan optimalisere «høy-volum» -produksjon og samtidig ivareta behovet for produksjon av «lav-volum» /utvikling i delte ressurser.

Denne problemstillingen er unik fordi man må ta hensyn til timing mellom verktøy- og delflyt. Siden én type verktøyform hører til én del er man avhengig av å tilpasse flyten til både verktøyformer og deler slik at de samkjøres sømløst.

Denne oppgaven har som mål å sette noen av manglene innen litteratur for hvordan lean metodikk kan brukes innen verktøyavhengig produksjon hvor man må ta hensyn til to ulike produksjonsruter. Dette skal gjøres gjennom et bedriftsstudie av komposittproduksjonen til Kongsberg Aerostructures, samt et litteraturstudie.

1.2.2. Oppgavemål og forskningsspørsmål

Nåværende utfordringer og problemer blir først identifisert gjennom et bedriftsstudie, før et løsningskonsept blir presentert ved hjelp av et litteraturstudie innen lean produksjonsprinsipper og annen relevant teori. Løsningen blir fremstilt gjennom en «Value Stream Map» (VSM) samt et sett med planleggingsregler for bedre flyt.

Oppgavemålene er som følger:

1. Utvikle et ideelt produksjonssystem for en MTO komposittproduksjon avhengig av to ulike produksjonsruter som må samkjøres (del-rute og verktøyform-rute) gjennom en «future state» VSM.
2. Identifiser om lean-metodene VSM, JIT (pull produksjon), flaskehalsstyring, eller WLC er egnet til å forbedre produksjonen med tanke på redusert WIP, reduserte gjennomløpstider og forbedret flyt i en MTO komposittproduksjon som er avhengig av to ulike produksjonsruter som må samkjøres.

Forskningsspørsmålene er som følger:

1. Hvordan kan de ulike retningslinjene (designelementene) for VSM anvendes for en generell MTO komposittproduksjon?
2. Hvilke, og i hvilken grad, er de ulike lean-karakteristikkene egnet for en MTO komposittproduksjonsfasilitet med ulik del- og verktøyform-rute?

1.2.3. Utarbeidelse av oppgavedefinisjon, oppgavemål og forskningsspørsmål

Ved utarbeidelse av oppgavedefinisjonen er det forsøkt å tatt hensyn til ulike parter og ulike synspunkter fra de forskjellige bidragsyterne i prosjektet. Ved konfliktsituasjoner prioriteres akademiske løsninger med utgangspunkt i karakterbedømmelse for oppgaven.

Metodene innen lean er valgt ut fra idé av forfatter av masteroppgaven basert på tidligere kurs i studiet og erfaring, i samarbeid med veileder.

Oppgavemål er utarbeidet etter ønske fra forfatter, med bidrag og godkjenning fra veileder ved instituttet.

1.3. OPPGAVENS OPPBYGNING

Kapittel 1:

Dette kapitlet består av en innledning av oppgaven. Her blir bakgrunn for oppgaven presentert, samt en kort beskrivelse av bedriften denne oppgaven skrives i samarbeid med, og oppgavemål og forskningsspørsmål. Det blir også lagt vekt på avgrensninger av oppgaven og hvor hovedfokus skal ligge.

Kapittel 2:

Kapittel 2 beskriver hvilke metoder som blir brukt, og hvordan det har blitt gått frem for å hente inn teori. Videre beskrives det hvilke faser prosjektet er delt inn i.

Kapittel 3:

Dette kapitlet inneholder et litteraturstudie. Det blir tidlig i prosjektfasen utført et litteraturstudie for å skaffe seg et teoretisk grunnlag og for å finne ut hva som var forsket på av lean-prinsipper innen produksjon som kan relateres til produksjonen til Kongsberg Aerostructures. Det blir forsøkt å lagt hovedfokus på nyere studier, selv om det også blir brukt eldre litteratur. Det blir her fokusert på å finne litteratur som kan støtte opp om løsninger på forskningsspørsmålene.

Kapittel 4:

Kapittel 4 inneholder et bedriftsstudie av Kongsberg Gruppen og Kongsberg Aerostructures, som denne oppgaven skrives i samarbeid med. Det blir her identifisert hvordan komposittproduksjonen fungerer i dag ved Aerostructures, spesielt med tanke på utfordringer innen flyt. Det blir også fokusert på faktorer som fører til forsinkelser, feil og opphoping av deler i produksjonen. Det defineres rammevilkår og problemet blir forsøkt forenklet til en viss grad slik at det skulle bli håndterbart. En As-Is VSM-modell av produksjonen blir utarbeidet hvor dagens utfordringer og problemområder fremheves.

Kapittel 5:

Videre blir det i kapittel 5 utarbeidet løsning på oppgavemålene og forskningsspørsmålene, samt diskusjon. Målsetningen er å redusere og stabilisere gjennomløpstider og WIP ved hjelp av lean produksjonsprinsipper. Løsningen presenteres gjennom en «future state» VSM samt tabeller med vurderinger hvorvidt ulike lean-metodikker og karakteristikker er egnet for produksjonen til case-bedriften.

Kapittel 6:

Dette kapitlet inneholder konklusjon og videre arbeid. Hvert oppgavemål og forskningsspørsmål summeres opp kort, før konklusjonen av hovedfunnene i oppgaven presenteres. Det diskuteres også videre arbeid både for akademiske oppgaver og for case-bedriften.

Kapittel 7:

Kapittel 7 inneholder akademiske bidrag. Her oppsummeres det kort hvordan denne oppgaven bidrar til å tette rommet av forskning på materialflyt innen MTO komposittproduksjonsbedrifter.

Kapittel 8:

Videre diskuteres svakheter ved oppgaven i kapittel 8.

1.4. AVGRENSNINGER

Løsninger vurderes kun fra et teoretisk grunnlag. På grunn av oppgavens tidsbegrensning kommer ikke konsepter eller praktiske løsninger til å bli testet. Hovedfokus kommer til å være på teori, tilgjengelige metoder som kan benyttes innen lean produksjon, og fordeler og utfordringer ved disse.

Det er viktig å huske på at lean produksjon har utviklet seg til å bli et stort fagfelt uten noen fasit på hvordan metodikken skal brukes, så det er derfor bare noen elementer som blir vurdert i denne oppgaven.

Kongsberg Aerostructures kommer til å vurderes uavhengig fra de andre avdelingene og forretningsområdene innen Kongsberg Gruppen. Hele verdikjeden til produktene som produseres kommer heller ikke til å inngå i denne oppgaven da det er selve komposittproduksjonen som skal vurderes. Det vil si at den mekaniske delen av produksjonen og området for vedlikehold av helikopterdeler heller ikke vil bli diskutert, selv om det foregår i samme fabrikk.

2. METODOLOGI

Dette kapittelet skal beskrive hvordan det har blitt gått frem for å samle inn teori, samt hvordan det har blitt gått frem for å analysere teorien, og videre hvordan den har blitt anvendt for å danne et grunnlag for løsning, diskusjon og konklusjon.

2.1. GENERELT

For å løse problemer og komme frem til ny kunnskap, må man benytte en fremgangsmåte (Dalland, 2012). Som sitert i Dalland (2007) sier Aubert at metode er fremgangsmåten, og metoden vil være et redskap for å komme frem til ny kunnskap og etterprøve kunnskap som allerede eksisterer (Dalland, 2007). Det er i hovedsak tre metoder som kan benyttes ved oppgaveskriving; kvantitativ, kvalitativ eller en kombinasjon av disse (Grenness, 1997). Metodene går ut på det samme; samle informasjon, for deretter å tolke denne informasjonen (Grenness, 1997). Kvantitative metoder bruker målbare data, og kan dermed gi et eksakt resultat (Olsson, 2011). De kvantitative metodene fokuserer på nøyaktighet og kan gjenkjennes ved en høy grad av etterprøvbarehet (Olsson, 2011). Kvalitative metoder, på den andre siden, tar for seg informasjon som ikke direkte kan tallfestes, slik som meninger og opplevelser (Dalland, 2007). Hovedfokus ved kvalitative metoder er ofte å oppnå en overordnet forståelse av et problem (Olsson, 2011).

I denne masteroppgaven vil det benyttes både kvantitativ og kvalitativ metode. Kvantitativ metode vil bli vektlagt da det ofte er lettere å måle fordeler og forbedringer enn ved kvalitativ metode, fordi det da vurderes målbare data. Med målbare data i denne oppgaven mener vi spesielt varer-i-arbeid (WIP), gjennomløpstider, andel tid brukt til verdiskapning, og størrelse på lager og bufferlager.

Kvalitativ metode vil bli noe brukt der det er hensiktsmessig. Forskjellige personer som er involvert i produksjonsprosessene vil ofte ha forskjellige synspunkter basert på erfaringer som ikke er mulig å tallfeste. Et typisk eksempel er at en ansatts mening ofte spriker ut fra hvilket hierarkisk nivå i bedriften vedkommende befinner seg i, fordi de da ofte vil ha forskjellig perspektiv på prosessene. Her er det viktig at alle parter tas hensyn til.

Før gjennomførelse av denne oppgaven er det valgt ut en case-bedrift som studeres nøye. På denne måten får man et innblikk i hvordan denne bedriften utfører produksjonen av produktene de leverer. Det er valgt å kun studere én casebedrift for å få et så detaljert bedriftsstudie som mulig av denne ene bedriften. Ved å utføre et bedriftsstudie kan man se nøye på hvordan produksjonen utføres i praksis.

Grunnlag for oppgaven samt bakgrunn er hentet fra Kongsberg Aerostructures gjennom muntlige møter, telefonsamtaler, e-post og sommerjobb. Fra tidligere samarbeid gjennom fordypningsoppgave og sommerjobb hadde man allerede diskutert oppgavetema for masteroppgaven. Dette samarbeidet gjorde at man ved prosjektstart er godt kjent med hvilke problemer og utfordringer avdelingen står ovenfor, samt hvilke tiltak til forbedringer som hadde blitt utført tidligere.

2.2. PROSJEKTETS FASER

Prosjektet deles inn i fem hovedfaser som i utgangspunktet utføres i rekkefølge, men det er naturlig at disse overlapper en del.

Prosjektstart:

Oppstart av prosjekt. I denne fasen blir forstudierapporten utarbeidet, og oppgaven og oppgavebegrensninger definert i samarbeid med veileder og representanter fra Kongsberg Gruppen. Hvilke metoder som blir brukt blir også beskrevet i denne fasen, samt begrensninger av oppgaven.

Litteraturstudie:

Hovedformålet med litteraturstudiet er å bygge et grunnlag for analyse, diskusjon, løsning og konklusjon. Dette er en av de mest tidskrevende delene av prosjektfasen, fordi det er viktig å opparbeide seg et teoretisk grunnlag og sette seg inn i forskning som er utført innen relevant teori for oppgaven. Litteraturstudiet blir i hovedsak utført i starten av prosjektfasen, men pågår gjennom hele prosjektet.

Hoveddel:

Hoveddelen vil også være en pågående fase gjennom hele prosjektet. Denne delen inkluderer skriving av teori, bedriftsstudie, løsning, diskusjon og konklusjon. Her er det spesielt viktig at løsningen er basert på teorien som er innhentet gjennom litteraturstudiet.

Avslutning:

Avslutning av oppgaven består i hovedsak av å skrive sammendrag og vurdere hva som er nødvendig av videre arbeid innen det aktuelle området.

Gjennomgang og vurdering:

Den siste fasen går ut på å gå over oppgavestruktur, utføre korrekturlesing, samt sjekke om alle opplysninger og antakelser i oppgaven stemmer. Oppgaven vil også bli endret etter innspill fra veileder fra IPK og Kongsberg Gruppen.

2.3. SØKING

I besvarelsen blir vitenskapelige artikler, eldre masteroppgaver og fagbøker brukt som teorikilder innen relevant teori for oppgaven. En rekke databaser brukes for å finne de mest relevante artiklene noen av de mest brukte er BIBSYS, ScienceDirect, Google Scholar, Diva, DAIM og NORA,

BIBSYS, ScienceDirect og Diva er søkemotorer hvor artiklene holder høy kvalitet, og derfor er disse valgt ut. Google Scholar er søkemotoren som gir flest resultater, men kvaliteten er mer variert. I DAIM kan man finne eldre masteroppgaver, mens i NORA finner man annen litteratur fra norske forfattere eller institusjoner.

Det blir brukt mange forskjellige søkeord. Noen søkeord gir svært mange treff, og der hvor treffene blir så mange at mengden blir uhåndterlig blir det brukt flere søkeord i samme søk. Dette har som hensikt å spisse seg inn på de mest relevante artiklene innenfor et emne. Når det blir nådd et punkt der søket ga «passelig» mange treff kunne man begynne med å lese gjennom tittelen på resultatene. Hvor mange treff som egner seg for å få opp mest mulig relevant litteratur varierer fra de ulike søkene. En tendens man ser når man brukte flere søkeord for å spisse seg inn på et tema er at hvis søket gir svært få resultater er ofte treffene mindre relevante, og artiklene er av dårligere kvalitet. En annen tendens er at de artiklene som har blitt sitert flest ganger også var de artiklene av høyest kvalitet, noe som gjorde at resultatene som oftest sorteres etter antall siteringer.

Tabell 1 ble laget som et hjelpemiddel under litteratursøket og illustrerer noen av de ulike nøkkelordene som ble brukt i litteratursøket. Det er verdt å merke seg at det ikke ble oppført flere kombinasjoner av de samme hovedordene i søkene i tabellen, da tabellen bare ble brukt som et hjelpemiddel. «Snowball» -metoden ble også brukt i stor grad. Under kolonnen Google Scholar vises antall treff i det søket ble utført, mens i den siste kolonnen vises antall treff innen årstallene 2009 til 2016.

Søkeord	Google Scholar	2009-2016
Bottleneck control composite	58 100	17 300
Bottleneck control composite manufacturing	23 600	16 700
Buffer to reduce lead times	1 330 000	17 700
CODP manufacturing	1 790	842
Composite manufacturing	1 890 000	286 000
Eliminate non value added activities	6 090	3 240
Focused factory approach	593 000	84 800
Ideal production plan medium mix	209 000	18 600
Ideal production system "medium volume"	5 070	1 990
Increase value adding time	5 420 000	17 600
JIT Manufacturing	144 000	17 100
Lay-up autoclave coordination	1 600	636
Lean manufacturing	564 000	46 400
Manufacturing "complex product mix"	200	67
Manufacturing process variation	31 200	16 100
Medium mix medium volume manufacturing	687 000	17 600
MRP	44 400	16900
"Production planning" cycles	36 100	16 300
Production "part sequence"	3 610	1 280
"Pull manufacturing"	887	366
"Reduce lead time"	3 490	1 760
"Root cause analysis" factory	4 270	2 510
"Tool limited" manufacturing aircraft	74	21
Value stream mapping	1 160 000	163 000
Workload control manufacturing	1 710	927

Tabell 1 - Søkeord

Etter at relevante artikler er funnet lastes de ned hvis de er tilgjengelige for nedlasting. Deretter er første steg å lese sammendraget. Da får man ganske raskt et inntrykk av om artikkelen er relevant for teorien i oppgaven eller ikke. Om artikkelen vurderes som relevant sjekkes konklusjonen for å se om

artikkelen bidrar til noen nye funn på det aktuelle området som ikke er blitt utredet tidligere. Om konklusjonen bidrar med noe nytt som er relevant for oppgaven leses artikkelen i detalj. Det er viktig å bruke denne fremgangsmåten for å komme gjennom flest mulig vitenskapelige artikler på den tiden som er tilgjengelig gjennom oppgavefasen.

Hovedfokus ble lagt på et fåtall antall artikler og andre kilder som var mest relevant for denne oppgaven, i stedet på å fokusere på kvantitet. I litteraturstudiet er det laget tabeller over den viktigste litteraturen som ble brukt innenfor de ulike temaene «just-in-time» (10 oppføringer), flaskehalsstyring (4 oppføringer), «workload control» (4 oppføringer) og «value stream mapping» (10 oppføringer). Kravet for å bli vurdert så nøye som disse artiklene var at de tok for seg minst én, og helst to, av prestasjonsindikatorene *reduerte gjennomsnittstider*, *reduert WIP*, eller *forbedret materialflyt* innen produksjonsbedrifter. Det ble også prioritert artikler som rettet seg mot MTO produksjon. Antall siteringer blir også oppgitt og blir til en viss grad brukt i grovutvelgelsen av artikler. Det blir også brukt flere fagbøker underveis.

I tillegg til relevant teori som hentes inn gjennom litteratursøk i de ulike databasene blir det også hentet inn det som var mulig av relevant informasjon og innspill fra Kongsberg Aerostructures. Underveis i prosessen ble det utført et bedriftsbesøk hvor det blant annet ble gjennomført intervjuer med ansatte ved avdelingen.

Det bør også merkes at oppgaven ikke dekker all relevant litteratur innen emnene som gjennomgås. Det blir likevel gjort et forsøk på å dekke den mest relevante litteraturen for oppgavemålene og forskningsspørsmålene.

Dette kapittelet har beskrevet hvilke metoder og fremgangsmåter som brukes under utarbeidelse av denne oppgaven, og hvilke faser prosjektet har gått gjennom. Det vil i hovedsak bli brukt kvalitativ metode i denne oppgaven. Grunnlag fra oppgaven er hentet fra Kongsberg Aerostructures, og artikler og fagbøker blir brukt for innhenting av teori. Prosjektet deles inn i totalt fem hovedfaser, fra prosjektstart til gjennomgang og vurdering

3. LITTERATURSTUDIE

3.1. INTRODUKSJON

Lean-filosofien kan ifølge Arnold et al. (2011) bli sett på som en bred filosofi av operasjonsstyring, et sett av nyttige metoder for hvordan å styre dag-til-dag operasjoner, samt en samling av verktøy og teknikker for å forbedre operasjonsytelse (Arnold et al., 2011). Dette litteraturstudiet skal brukes for å vurdere om noen av disse verktøyene og teknikkene egner seg for å løse noen av utfordringene og problemene som avdelingen Kongsberg Aerostructures står ovenfor, som inkluderer inkonsistent flyt, lange gjennomløpstider, og mye WIP.

Det gis en kort introduksjon innen ulike begreper og metoder innen produksjonsplanlegging og kontroll (MPC), deriblant «lean», «just-in-time» (JIT), «push» og «pull», «flaskehalsstyring» og «workload control». Kapittelet vil gi en generell innføring i teorien som er nødvendig for å forstå bedriftsstudiet som følger i kapittel 4.

3.2. INTRODUKSJON TIL BEGREPER

Dette delkapittelet vil definere noen sentrale begreper innen produksjon som vil bli brukt videre i oppgaven.

Bufferlager:

Et *bufferlager* blir av businessdictionaries.com definert som «varer av input som holdes som reserve for å sikre mot uforutsett mangel eller forespørsel» (Businessdictionary.com, 2016b). Det finnes tre typer buffere (Hopp and Spearman, 2011):

- *Lager* for å beskytte mot etterspørsel- eller produksjonsvariasjon. Dette kan for eksempel være buffer foran arbeidsstasjoner for å sikre utnyttelsesgraden eller ferdigvarelager for å dekke opp for etterspørselsvariasjon.
- *Kapasitet* for å beskytte mot etterspørsel- eller produksjonsvariasjon. Dette kan for eksempel være å bruke tid som ikke er planlagt til produksjon for å hente inn produksjonsplaner.
- *Tid* for å beskytte mot uforutsett produksjonsvariasjon.

Flyt:

Begrepet *flyt* ble først introdusert av Henry Ford i starten av 1900-tallet. Innen lean produksjon betyr flyt forflytning av varer eller tjenester langs verdikjeden fra råmaterialer til kunden, uten tilbakestrømning, stopp eller svinn (Businessdictionary.com, 2016e). I denne oppgaven vil «flyt» brukes for både materialflyt og verktøyflyt.

Fokusert fabrikk/fokus:

Konseptet *fokusert fabrikk* betyr at produksjonsfasilitetene fungerer best når det fokuseres på et fåtall objekter (Sriram, 2015). En bedrift må ha *fokus* for å være konkurransedyktig, hvis ikke vil det oppstå konflikter mellom prestasjonsobjektiver (Alfnes, 2015). En fokusert prosess har et konsistent operasjonspunkt på trade-off-kurven (Alfnes, 2015). Bedrifter som følger en fokus-tilnærming retter deres oppmerksomhet mot en smal produktportefølje, et smalt markedssegment eller geografisk marked (Encyclopedia-of-Management, 2009).

Gjennomløpstid («lead time»):

Gjennomløpstid, eller ledetid som det ofte oversettes til, er tiden som går fra en prosess starter til den slutter. (Investopedia.com, 2016). Business Dictionary definerer *produksjonsgjennomløpstid* som (Businessdictionary.com, 2016f):

«Total tid som kreves for å produsere en artikkel, inkludert forberedelsestid, køtid, oppstartstid, kjøretid, forflytningstid, inspeksjonstid og pakketid. For MTO-produkter er det tiden det tar fra en ordre frigis til produksjon og frakt».

Videre i denne oppgaven vil begrepet gjennomløpstid bety det samme som produksjonsgjennomløpstid basert på denne definisjonen.

Vanligvis inneholder produksjonsgjennomløpstid fem elementer (Arnold et al., 2011):

- Køtid
- Oppstartstid
- Kjøretid
- Ventetid
- Bevegelsestid

Desto kortere gjennomløpstid, desto kortere tid vil gå fra man betaler for råvarer til å få betalt for produktet som blir produsert (Rother and Shook, 1999). Kortere produksjonsgjennomløpstid vil føre til en økning i antall lagerutbyttinger som er gunstig kostnadmessig.

Kvalitet:

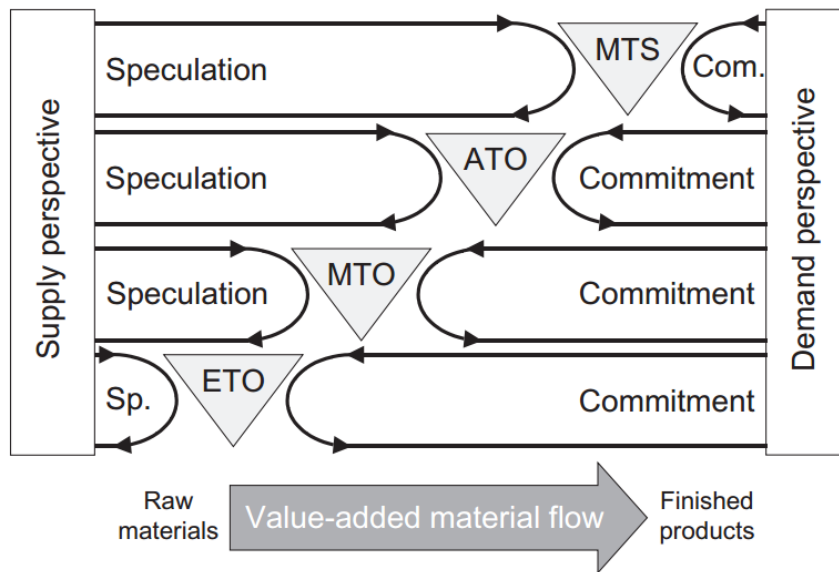
Innen produksjon defineres *kvalitet* som et mål på dyktighet eller en tilstand fri for feil, defekter, mangler eller tydelige variasjoner (Businessdictionary.com, 2016g). Kvalitet forårsakes av streng og konsekvent satsing på visse standarder for å oppnå jevnhet av et produkt for å tilfredsstille spesifikke kunder eller brukeres behov.

Kundeordrens dekoblingspunkt (CODP) og Make-to order (MTO):

Kundeordrens dekoblingspunkt defineres som (Rudberg and Wikner, 2004):

«Punktet i den verditilførende materialflyten som separerer avgjørelser gjort basert på sikkerhet og avgjørelser basert på usikkerhet når det gjelder kundeetterspørsel»

Figur 1 viser hvordan CODP typisk deles inn.



Figur 1 – Kundeordens dekoblingspunkt (Rudberg and Wikner, 2004).

I et make-to-order (MTO)-produksjonsmiljø venter bedriften med å starte produksjonen av et produkt til ordre er mottatt fra kunden (Arnold et al., 2011). Generelt produserer bedrifter til ordre når:

- Varer er produsert til kundens spesifikasjoner.
- Kunden er villig til å vente mens produktene produseres.
- Produktene er dyre, både å produsere og lagre.
- Flere produktvarianter tilbys.

MPC (manufacturing planning and control/produksjonsplanlegging og kontroll):

MPC defineres i litteraturen på litt forskjellige måter, men en velkjent definisjon er gitt av Vollmann (2005) og definerer MPC som (Vollmann et al., 2005):

«MPC fokuserer på planlegging og kontroll av alle aspekter innen produksjon, inkludert materialhåndtering, planlegging av maskiner og folk, og koordinering av leverandører og nøkkelukunder»

I følge Slack et al. (2010) er planlegging noe som er ment å skje en gang i fremtiden, mens kontroll er styring av aktiviteter som skjer i nåtid (Slack et al., 2010).

3.3. STRATEGI

Strategi er et bredt fagfelt og man finner flere ulike typer strategier som benyttes av produksjonsbedrifter. Selv om det er mange faktorer som spiller inn for at en bedrift skal oppnå suksess, kan strategier utgjøre en stor forskjell mellom suksess og fiasko for mange bedrifter. Det er viktig for alle bedrifter å utvikle strategier som utnytter deres styrker slik at de kan få en god posisjon i markedet de opererer i. Noen av de vanligste strategiene som bedrifter fokuserer på er operasjonsstrategi, forretningsstrategi, produksjonsstrategi og kapasitetsstrategi. Dette delkapittelet skal definere de ulike strategiene brukt av produksjonsbedrifter samt presentere hvordan de er linket sammen.

Strategi:

En *strategi* defineres som en utførelsesplan laget for å oppnå et langsiktig mål (Oxford-Dictionary). Med andre ord er strategi en måte for en bedrift å bevege seg fra nåværende tilstand til en ønsket fremtidig tilstand. Vanligvis er målsetningen med en strategi å øke deres konkurransedyktighet (Alfnes, 2015). Strategier kan være både planer for fremtiden og mønstre fra fortiden (Baker, 2001).

Man kan definere tre generiske strategier som bedrifter kan bruke for å oppnå en kompetitiv fordel: *kostnadslederskap*, *produkt differensiering* og *fokus* (Encyclopedia-of-Management, 2009) (Porter, 2008).

For å utvikle en strategi foreslås det tre prinsipper som bør fokuseres på: *drift*, *nære kunderelasjoner* og *produktledelse* (Shavarini et al., 2013).

Operasjonsstyring og operasjonsstrategi:

Operasjonsstyring (operations management) er ifølge Slack et al. (2010) aktiviteter, avgjørelser og ansvar innen styring av produksjon og levering av produkter eller tjenester, mens *operasjonsstrategi* er den overordnede retningen og bidraget av operasjonenes funksjon med forretningen (Slack et al., 2010).

En operasjonsstrategi innebærer å lage en egen strategisk beslutning innenfor et rammeverk av forretningsstrategien (Alfnes, 2015). Forretningsstrategien bestemmer konteksten for operasjonsstrategien basert på kapabilitetene til bedriften og hvordan de sikter seg inn på markedet.

Forretningsstrategi:

Forretningsstrategi defineres som (Slack et al., 2010):

«Den strategiske posisjonen av en forretning i relasjon til dens kunder, markeder og konkurrenter, og er en undergruppe av operasjonsstrategi»

En tydelig definert forretningsstrategi er viktig for enhver bedrift for å være konkurransedyktig. I litteraturen er det uenighet om hvordan forretningsstrategi skal defineres. I artikkelen til Schroeder et al. (1986) ble det gjennomført en undersøkelse blant ledere i 39 ulike produksjonsbedrifter, hvor deltakerne ble spurt om å definere forretningsstrategi med egne ord. Man fant her ut at det også her var store forskjeller på hvordan forretningsstrategi ble definert og oppfattet. Om man sammenligner svarene der med Porters definisjon av forretningsstrategi bruker 45% produkt differensiering, 50% fokus, og bare 5% kostnadslederskap (Schroeder et al., 1986). Dette bekrefter også resultatene fra

litteraturen, om at det er store forskjeller på hvordan man definerer forretningsstrategi. Man bør også merke seg at denne artikkelen er gammel, og det kan diskuteres om den fortsatt kan ses på som gjeldende.

Produksjonsstrategi:

Produksjonsstrategi kan ses på som den effektive bruken av styrker innen produksjon som et konkurransevåpen for å oppnå forretningsmål (Swamidass and Newell, 1987). Produksjonsstrategi reflekterer målsetningene og strategiene av forretningen og tillater produksjonen å bidra til langsiktig konkurransedyktighet for forretningen.

Schroeder et al. (1986) tar for seg hvordan produksjonsstrategi defineres i praksis og hvilke strategier som blir brukt (Schroeder et al., 1986). Artikkelen tar også for seg hvordan produksjonsstrategi er linket til forretningsstrategi, samt hvilke elementer som inngår i en produksjonsstrategi.

Kapasitetsstrategi:

I litteraturen blir det brukt tre variabler som beskriver kapasitetsstrategi (Olhager et al., 2001), (Hayes and Wheelwright, 1984):

1. *Type* kapasitet som trengs.
2. *Mengden* kapasitet som skal økes (eller reduseres).
3. *Timing* av kapasitetsendringer.

For å utvikle kapasitetsstrategi må bedrifter vurdere mengden kapasitet som kreves for å oppfylle etterspørselen (Shavarini et al., 2013).

3.4. LEAN PRODUKSJON

3.4.1. Et historisk tilbakeblikk på lean produksjon

Gjennom standardisering av produkter og produksjonsprosesser ble masseproduksjon mulig. Dette førte til høy utnyttelsesgrad i produksjonen, samt «economies of scale», noe som gjorde at man kunne produsere svært mye billigere enn tidligere (Womack et al., 2007).

Rett etter 2. verdenskrig kom Toyota på banen og introduserte «Toyota Production System» (TPS), som var opphavet til lean produksjon (Womack et al., 2007). Gjennom TPS sjokkerte de resten av bilindustrien ved å tilby en variasjon av ulike modeller til svært lave kostnader sammenlignet med tidligere masseproduksjon. Dette ble oppnådd gjennom standardisering av prosesser og mer ansvar til den enkelte arbeider. Andre metoder som med stor suksess ble brukt i TPS var «Total Quality Management» (TQM), «Just-in-time» (JIT) og «Total Productive Maintenance» (TPM). Historien om hvordan lean produksjon utviklet seg fra masseproduksjon ble gjort populær gjennom boka «The Machine that Changed the World» av Womack, Jones og Roos (2007).

«The Machine that Changed the World» tar for seg hele historien til lean produksjon, helt tilbake til starten av lean produksjon, som utviklet seg fra masseproduksjon (Womack et al., 2007). Videre presenteres ulike elementer innen lean produksjon, hvor de har spesielt fokus på fem elementer:

- Hvordan å designe et produkt.
- Hvordan å koordinere en verdikjede.
- Samhandling med kundene.
- Hvordan å produsere et produkt fra ordre til levering.
- Hvordan å styre hele bedriften.

Lean produksjon ble kalt «lean» fordi filosofien bruker mindre av «alt» sammenlignet med masseproduksjon, for eksempel arbeidere, plass, verktøyinvesteringer og timeforbruk (Womack et al., 2007). Et viktig fokusområde innen lean produksjon var perfeksjon. Man skulle hele tiden jobbe mot det perfekte, altså å kontinuerlig kutte kostnader, ingen feil, ingen lager eller mellomlager, og uendelig produksjonsvariasjon. Dette er selvfølgelig ikke mulig å oppnå i virkeligheten, men denne veien mot perfeksjon var viktig for suksessen.

En annen viktig faktor som fremstilles av Womack et al. (2007) som er en viktig grunn til den tidlige suksessen innen lean produksjon var fokuset på hver enkelt ansatt (Womack et al., 2007). Man gikk inn for å lære hver ansatt mer avanserte ferdigheter som gjorde at den gjennomsnittlige arbeider ble mer kunnskapsrik og reflektert. Konsekvensen av dette var at ansatte på lavere nivåer kunne ta viktigere avgjørelser enn det de hadde grunnlag for tidligere, slik at bedriftene kunne ha en flatere ledelsesstruktur. Man utviklet videre denne tankemåten ved at det ble opprettet «team» innen produksjonen som skulle jobbe med å kontinuerlig forbedre prosessene. Denne kontinuerlige, trinnvise forbedringen ble kalt kaizen, som er blitt svært godt kjent gjennom litteraturen i dag.

I kontrast til masseproduksjon hvor arbeidere ikke kunne stoppe produksjonslinjen uten godkjennelse fra en overordnet, ble hver arbeider oppfordret til å stoppe hele produksjonslinjen umiddelbart hvis det oppsto problemer som ikke kunne fikses kjapt uten stopp (Womack et al., 2007). Dermed kunne hele teamet samles for å løse dette problemet, noe som gjorde at alle arbeiderne opparbeidet seg masse erfaring. Innen masseproduksjon ble feil som regel håndtert som «tilfeldige» hendelser, mens innen lean produksjon ble det innført et system for problemløsning som ble kalt «the five why's». Arbeiderne ble lært opp til å spore opp feil systematisk ved å spørre «hvorfor» feilen oppsto, for deretter å utbedre årsaken, slik at den samme feilen ikke skulle oppstå igjen. Konsekvensen var at linjen ble stoppet hele tiden i starten, men etter hvert så man at antall feil begynte å minske betraktelig, og denne metoden ble etter hvert en stor suksess.

Sent på 50-tallet ble det oppdaget at det i flere tilfeller kostet mindre å produsere små parti av deler enn å produsere så mye som mulig, og dette skjedde av flere grunner (Womack et al., 2007). Én av dem var at man fikk eliminert store deler av ferdigvarelagrene. Like viktig var det at man oppdaget feil på deler før man hadde produsert flere med de samme feilene. Om det var feil på noen få deler ble dette oppdaget i montasjen før det var produsert flere hundre av den samme delen med de samme feilene. Dette førte igjen til at arbeidere ble ekstra bevisste på kvalitet.

Etter hvert utviklet Toyota en ny metode for å koordinere flyten av deler innen verdikjeden fra på dag-til-dag basis, kalt *kanban* (Womack et al., 2007). Kanban er et JIT-system hvor ideen var å

konvertere en stor gruppe leverandører og fabrikker til én stor maskin, gjennom å diktere at deler bare skulle produseres ved en arbeidsstasjon hvis neste stasjon hadde fri kapasitet. Etter hvert som kanban ble innført sluttet Toyota å produsere biler til ukjente kjøpere, men gikk heller over til et MTO-system.

Toyota hadde utviklet «ferdig» lean-prinsippene innen tidlig på 1960-tallet. Etter hvert fulgte de andre japanske bilprodusentene etter, selv om dette tok en del år og de kunne heller ikke vise til de samme resultatene (Womack et al., 2007).

3.4.2. Lean produksjon i dag

Lean produksjon kan defineres på flere måter, men én av dem som er mest brukt og som brukes i denne oppgaven er «eliminering av alt svinn (waste) og kontinuerlig forbedring av produktivitet» (Arnold et al., 2011). Svinn innebærer da alt annet enn minimum mengde av utstyr, deler, plass, materiale, produksjonstid og arbeideres tid som absolutt er nødvendig for å tilføre verdi til produktet. Det betyr at ideelt sett skal det ikke være noe overflødig materiale, sikkerhet-/bufferlager, samt at gjennomløpstidene skal være minimale. Det langsiktige resultatet av å eliminere svinn er en kostnadseffektiv, kvalitetsorientert og en hurtig responderende organisasjon som er mottakelig for kundens behov. En slik organisasjon har potensialet til å oppnå en stor konkurransefordel i markedet.

Ved lean produksjon er informasjonsflyt behandlet med like stor viktighet som materialflyt (Rother and Shook, 1999). Et spørsmål man bør stille seg selv er: «Hvordan kan vi få informasjonsflyt slik at en prosess bare lager det neste prosess trenger akkurat nå den trenger det?». Videre forklarer Rother og Shook (1999) lean produksjon så enkelt som (Rother and Shook, 1999):

«Alt vi prøver å gjøre i lean produksjon er å få én prosess til å lage bare hva som trengs i neste prosess, når det trengs. Vi prøver å knytte alle prosessene – fra sluttkunde tilbake til råmateriale – i en glatt (smooth) flyt som genererer kortest mulig gjennomløpstid, høyest mulig kvalitet, til lavest mulig kostnad»

Ved implementering av lean produksjon er det viktig at organisasjonen håndteres som et system i stedet for et sett av oppstykkede aktiviteter (Arnold et al., 2011), (Slack et al., 2010). Én av de største fallgruvene ved implementering er at organisasjonen kun fokuserer på noen av områdene innen lean produksjon i stedet for å behandle det som et integrert system (Arnold et al., 2011), (Slack et al., 2010).

Arnold et al. (2011) trekker frem hvor viktig det er å tilføre verdi til kunden (Arnold et al., 2011). Med dette menes å ha riktige produkter og riktige mengder til riktig tid og sted, og ha produkter eller tjenester som kunden er interessert i, som også er tilgjengelig når kunden trenger det. Å tilføre verdi til kunden henger sammen med begrepet *kvalitet*, som handler om å møte og overgå kundens forventninger. Et «ideelt» produkt er et produkt som møter og overgår kundens forventninger, utnytter materialene til det fulle, og som kan produseres med minimalt svinn. Å øke verdien til et produkt betyr ikke nødvendigvis å øke kostnadene. Det er også viktig å huske på at ethvert element i produktutviklingsssyklusen og i produksjonsfasen som ikke øker verdien til produktet er svinn.

Som en del av Toyotas lean program har det blitt identifisert syv viktige kilder til svinn innen produksjon, kjent som «7 waste» (Arnold et al., 2011), (Hines and Rich, 1997):

- Overproduksjon: Å produsere produkter ut over det som trengs umiddelbart.
- Ventetid: To typer ventetid; ventetid for operatør og ventetid/køtid for materialer.
- Transport: All forflytning av deler er svinn da det ikke øker verdien av produktet.
- Unødvendig prosessering: Ekstra svinn eller kostnad som for eksempel kan komme av feil type eller størrelse på maskin som blir brukt, hvis prosesser ikke utføres korrekt, eller hvis feil verktøy eller fiksturer brukes.
- Unødvendig lager: Lager koster penger, og unødvendig lagring tilfører ekstra kostnader til produktet.
- Unødvendig bevegelse: Flytting og lagring av komponenter tilfører ekstra kostnader, men øker ikke verdien av produktet.
- Defekter: Forstyrrer flyten i produksjonen. Hvis defekte deler ikke identifiseres må neste arbeidsstasjon enten stoppe opp eller prøve å fikse problemet. Hvis det neste steget er kunden vil konsekvensen bli enda større.

For å være konkurransedyktig må en produksjonsbedrift produsere bedre produkter til en lavere kostnad mens man responderer raskere til markedet enn konkurrentene (Arnold et al., 2011). Responsen til markedet er avhengig av å være kapabel til å tilby kortere gjennomløpstider og bedre leveringspresisjon. Gjennomløpstider i produksjonen avhenger av køer, og køer avhenger av antall deler og partistørrelse av ordrene. Hvis partistørrelsen reduseres vil også kø og gjennomløpstider reduseres. Å redusere gjennomløpstidene vil forbedre prognosenøyaktighetene og dermed gi bedre leveringspresisjon.

Mange elementer er karakteristikk som beskriver et lean produksjonsmiljø, og de kan deles inn i kategoriene (Arnold et al., 2011):

Flytproduksjon (flow manufacturing):

Flytproduksjon dreier seg om produksjon av høy-volum standardprodukter (Arnold et al., 2011). Innen flytproduksjon er arbeidsstasjonene som trengs for å produsere ett produkt eller én produktfamilie plassert nærme hverandre i en rekkefølge som følger flyten til produktet som produseres. På grunn av at arbeidsstasjonene er plassert i riktig rekkefølge for å lage ett spesifikt produkt eller en produktfamilie, er ikke systemet egnet for å lage mange ulike produkter. Én av de største fordelene med et slikt system er at de vanligvis er svært kostnadseffektive.

Prosessfleksibilitet:

Prosessfleksibilitet er gruppen av produkter som et system kan produsere. Prosessfleksibilitet er ønskelig fordi det gjør bedriften i stand til å reagere hurtig på endringer i volum og miks av produkter. I en fleksibel produksjon er også rask omstillingstid viktig, noe som krever korte oppstartstider. Korte oppstartstider har flere fordeler, blant annet kan det føre til redusert kø, gjennomløpstider, WIP, samt bedre prosess og materialflyt.

Kvalitetsstyring (quality management):

Hvis defekter blir oppdaget burde prosessene stoppes opp for å finne kilden til problemet. Etter hvert som konseptet kvalitetsstyring ble utviklet, ble det til «six sigma».

TPM (total productive maintenance):

TPM tar idéen om forebyggende vedlikehold et steg lengre. Leanproduction.com definerer TPM som (leanproduction.com, 2016):

«Å få operatører involvert i å vedlikeholde deres eget utstyr, og ved å vektlegge proaktiv og forebyggende vedlikehold vil man legge et grunnlag for forbedret produksjon»

På den måten oppfordrer man å følge lean-prinsippet som handler om å eliminere svinn.

Uavbrutt flyt:

Ideelt sett burde deler flyte uavbrutt fra én arbeidsstasjon til neste uten noen forsinkelser. Flere betingelser må oppfylles for å oppnå uavbrutt flyt av deler, blant annet jevn tilførsel av materialer, pull produksjonssystem og oppdaterte produksjonsplaner.

Kontinuerlig prosessforbedring:

Kontinuerlig forbedring blir ofte i litteraturen fremhevet som én av de viktigste funksjonene innen lean produksjon. Kontinuerlig prosessforbedring inneholder et sett av logiske steg og teknikker som brukes for å analysere prosesser for deretter å forbedre dem. Produktivitet kan forbedres ved å investere i bedre og raskere maskiner og utstyr. I dag har også bedriftsledelser oppdaget behovet for å utnytte potensialet av fleksible, motiverte arbeidere. Eliminering av svinn er avhengig av å forbedre prosesser kontinuerlig.

Leverandørforhold:

Hvis det skal være mulig å lage gode produksjonsplaner og utvikle et JIT-miljø er det avgjørende å ha gode og pålitelige leverandører. Det er spesielt tre nøkkelfaktorer som fremheves når vi snakker om leverandørforhold:

- Langsiktig forpliktelse
- Tillit
- Delt visjon

Hvis leverandørforholdet er slik det burde være, blir det en vinn-vinn situasjon for begge parter.

Fullstendig ansattinvolvering:

Et suksessfullt lean produksjonsmiljø kan bare oppnås gjennom samarbeid og involvering av alle parter i organisasjonen. Idéene om eliminering av svinn og kontinuerlig forbedring som er sentral innen lean-filosofi kan bare oppnås gjennom et godt samarbeid.

3.4.3. Lean innen vedlikeholdsprosesser

Ved bruk av lean verktøy og teknikker innen vedlikeholdsprosesser kan tre spesielt forbedringer oppnås (Okhovat et al., 2012):

- Buffere kan reduseres på grunn av høy reliabilitet i produksjonen.
- Med en lavere buffer vil delene i arbeid (WIP) bruke mindre tid i bufferlagrene, og dermed vil prosesstidene på hver arbeidsstasjon reduseres. Denne reduksjonen av gjennomløpstid kan føre til en betydelig kompetitiv fordel for bedriften.
- Lavere buffere kan redusere sannsynligheten av å produsere store mengder defekte deler da feil vil bli oppdaget tidligere. Dermed kan kostnadene av vraking eller omarbeid bli betydelig redusert.

Okhovat (2012) peker også på bruksområder av ulike lean produksjonsverktøy i vedlikeholdsprosessene:

- Visuell kontroll: Bruk av enkle og klare visuelle signaler som gjør problemer, sammenbrudd eller avvik fra standarder synlig for alle.
- 5S: «Simplify» - Sortere for å eliminere unødvendige objekter, «scrub» - skinne for å holde arbeidsområdet rent, «straighten» - systematisere for å sortere ting for enkel tilgang, «stabilize» - standardisere for å gjøre vasking og kontroll til rutine, og «sustain» (sikre) - for å gjøre 5S til daglig praksis.
- Eliminere 7 avfall («7 waste»): Overproduksjon, ventetid, transport, unødvendig prosessering, unødvendig lager, unødvendig bevegelse, defekter
- SMED: Minimere nedetid for planlagt vedlikehold
- Poka Yoke: Forhindre ulykker, redusere repareringstider og fjerne risiko for feil under repareringer.

3.5. PLANLEGGING/SCHEDULING

«Master production planning» (MPP) er en funksjon for å koordinere produksjonsressursene (Staeblein and Aoki, 2015), (Slack et al., 2010). Tidshorisonten varierer, men går typisk opp til 24 måneder, og oppdateres hver måned (Staeblein and Aoki, 2015).

«Material requirements planning» (MRP) er en funksjon som betrakter beregningene av et fremtidig produkt og komponentene som kreves produsert (Staeblein and Aoki, 2015). Kort-horisonts MRP er typisk basert på rekkefølgen av kundeordre (Staeblein and Aoki, 2015). I medium-horisonts MRP har enda ikke alle kundeordrene blitt mottatt. Målsetningen for medium-horisonts MRP er å tilby en plan for komponent- og produktterspørsel basert på MPP med en planleggingshorisont opp til 12 måneder (Staeblein and Aoki, 2015).

Arnold et al. (2011) beskriver MRP som planer for materialflyt basert på stykkliste («bill of material»), gjennomløpstider, og tilgjengelig lager (Arnold et al., 2011). Dette er ikke en lean-tilnærming da det er et mål innen lean produksjon å minimere lager, og heller produsere bare det som trengs når det trengs. Både MRP og JIT er basert på å etablere en materialflyt, men for å kunne planlegge ut fra en JIT-tilnærming må i tillegg flere kriterier oppfylles (kap 3.7.).

MRP blir ofte kalt et «push-system», som betyr at materialer som trengs kalkuleres på forhånd samt, om man antar det er ikke er noen signifikante endringer i planene, dyttet ut i produksjonssystemet som en produksjonsordre (Arnold et al., 2011). Noen av grunnene til at MRP ofte ikke er så effektivt som man skulle ønske er på grunn av problemer eller endringer, som inkluderer:

- Endringer i kundekrav, både tidsfrister og kvantitet.
- Leveringsproblemer fra leverandører, inkludert tidsfrister, kvalitet og kvantitet.
- Unøyaktige databaser som kan gjøre planene ugyldige.
- Produksjonsproblemer.

Planlegging og kapasitet henger nøye sammen da man må planlegge ut fra kapasiteten til et system. Kapasitet vil derfor bli introdusert i neste delkapittel.

3.5.1. Kapasitet

Kapasitet er et begrep som kan defineres som evnen til å lagre, motta eller støtte volumet av produksjonen per tidsperiode en fabrikk kan produsere (Sriram, 2015). I litteraturen brukes flere ulike definisjoner av kapasitet, og Businessdictionary.com definerer kapasitet innen produksjon som (Businessdictionary.com, 2016c):

«Høyeste bærekraftige produksjonshastighet (maks antall enheter per måned, kvartal eller år), som kan oppnås med dagens ressurser, vedlikeholdsstrategier, produktspesifikasjoner etc.»

Strategisk kapasitetsplanlegging er en fremgangsmåte for å bestemme totalt kapasitetsnivå av kapitalkrevende ressurser, herunder fasiliteter, utstyr og total arbeidskraft (Sriram, 2015).

Maksimum kapasitet, eller «engineered capacity», er teoretisk kapasitet av en fabrikk, produksjonslinje, prosess eller maskin, for å generere en produksjon under gitte begrensninger av råvaretilgjengelighet og bærekraftig arbeidshastighet (Businessdictionary.com, 2016d), (Sriram, 2015).

Faktisk kapasitet, eller «true capacity», er faktisk kapasitet av en fabrikk, produksjonslinje, prosess eller maskin, for å generere en produksjon under gitte begrensninger av råvaretilgjengelighet og bærekraftig arbeidshastighet (Businessdictionary.com, 2016h). Man tar da hensyn til nedetider og vedlikeholdstid.

Effektiv/planlagt kapasitet er produksjonsmengden forventet for en gitt aktivitet eller prosess (Sriram, 2015).

Demonstrert kapasitet er faktisk nivå av produksjonsmengde for en prosess eller aktivitet over tid (Sriram, 2015).

Kapasitetsplanleggingens funksjon er å bestemme behovet for arbeidskraft, utstyr, og materialer for å møte prioritetsplaner (Arnold et al., 2011). Kapasitetsplaner blir på mange måter viktigere innen et lean produksjonsmiljø. Fordi man i et lean produksjonsmiljø har en tendens til å ha lite lager, er det kritisk å ha riktig kapasitet til rett tid for å ha lager som er i samsvar med kundeetterspørselen.

Ulike typer kapasitet kan deles inn i (Sriram, 2015):

- Arbeidskraft
- Prosessteknologi eller utstyr
- Informasjonsteknologi
- Interne og eksterne fasiliteter

Man skiller ofte på hvor lang tid i forveien man planlegger (Sriram, 2015). Typisk planlegger man fra 0-30 dager frem i tid innen korttidskapasitetsplanlegging, mens man har lengre tidshorisonter for taktisk og strategisk kapasitetsplanlegging. Typisk planlegger man 1-18 måneder frem i tid ved taktisk kapasitetsplanlegging og 1-5 år frem i tid ved strategisk kapasitetsplanlegging.

Faktorer som påvirker kapasitetsstrategi (Sriram, 2015):

- Tilgang til kapital
- Usikkerhet
- Valutakurs
- Epperspørselskurve
- Størrelsesfordeler (scale economies)
- Lærekurver
- Teknologi
- Konkurrenters handlinger

Målsetningen med planlegging er å kunne møte leveringsdato og samtidig utnytte produksjonsressursene optimalt (Arnold et al., 2011). Ved utarbeidelse av en pålitelig timeplan må planleggerne ha informasjon om produksjonsruter, nødvendig og tilgjengelig kapasitet, konkurrerende oppgaver og produksjonsledetider ved hvert involverte arbeidssenter.

3.6. VALUE STREAM MAPPING (VERDISTRØMANALYSE)

«Value stream mapping» (VSM), eller verdistrømanalyse, er den første av fire lean-metoder som videre blir presentert. De tre neste er «just-in-time» (JIT) med fokus på pull produksjon, flaskehalsstyring og «workload control».

VSM er en lean styringsmetode med hensikt å analysere nåværende og designe en fremtidig tilstand som tar et produkt eller en tjeneste fra start til kunde (Rother and Shook, 1999). Ved Toyota ble metoden kalt «material and information flow mapping», og kan brukes til omtrent alle verdikjeder.

En verdikjede, eller en verdistrøm, er definert som (Rother and Shook, 1999):

«Alle aktiviteter som kreves for å føre et produkt gjennom de essensielle prosessene for produktet, altså produksjonsflyt fra råmateriale til kunde, og designflyt fra konsept til produksjonsstart»

VSM beskrives som et blyant- og papirverktøy som hjelper med å se og forstå materialflyt og informasjon etter hvert som et produkt føres gjennom verdikjeden. Rother og Shook (1999) fremhever videre hvor viktig det er å tegne VSM med blyant, slik at det kan tegnes mens man fysisk er i produksjonslokalene.

Metoden utføres på shop-floor nivå (Duggan, 2012). Ved å ta en runde på «shop-floor» kan prosessstegene identifiseres, og man kan selv ta tiden for å finne kjøretid for hver prosess. Typisk data som brukes er syklustid for hver prosess, omstillingstid, oppetid og antall operatører.

VSM er en enkel men effektiv metode for å forstå flyten av materialer og informasjon som et produkt eller en tjeneste har brukt til verdiskapning gjennom en prosess, en operasjon eller en verdikjede (Slack et al., 2010), (Arnold et al., 2011). Metoden går ut på å lage et visuelt kart over et produkts rute fra start til slutt (Rother and Shook, 1999). Når dette utføres loggføres ikke bare de direkte aktivitetene av å produsere et produkt, men også indirekte aktiviteter som støtter de direkte prosessene. Metoden kalles «value stream mapping» fordi den fokuserer på verdiskapende aktiviteter og skiller mellom verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter (Slack et al., 2010), (Rother and Shook, 1999).

Hensikten med VSM er å fremheve kildene til svinn og eliminere dem ved å implementere en «future state» verdistrøm innen en relativt kort tidsperiode (Rother and Shook, 1999). Målet er å bygge en kjedeproduksjon hvor de individuelle prosessene er linket til kunden enten ved kontinuerlig flyt eller pull, og hver prosess skal så nært som mulig produsere bare hva kunden trenger, når de trenger det (Rother and Shook, 1999).

Et verdikjedeperspektiv involverer å arbeide med og forbedre det «store bildet» foran å optimalisere individuelle prosesser (Slack et al., 2010). VSM blir sett på av mange som et startpunkt for å hjelpe med å oppdage svinn og identifisere årsakene. Det er en metode som foregår i fire trinn og som både identifiserer svinn og som foreslår metoder å gjøre aktivitetene mer strømlinjeformet.

De fire trinnene er som følger (Slack et al., 2010):

1. Identifiser verdikjeden, enten prosessene, operasjonene eller hele verdikjeden utenfor en bedrift.
2. Lag et kart over prosessene, samt informasjonsflyten som får prosessene til å gjennomføres («current state map»).
3. Diagnoser problemer og foreslå forbedringer ved å lage et fremtidig kart («future state map») som inkluderer de forbedrede prosessene, operasjonene eller verdikjeden.
4. Implementer endringene.

Rother og Shook har også fokusert på fire punkter for hvordan man bruker VSM (Rother and Shook, 1999), som skiller seg litt fra Slack (2010):

1. Identifiser produktfamilie.
2. Lag en tegning over dagens prosesser («current state map»).
3. Lag en tegning over fremtidens prosesser («future state map»).
4. Lag en arbeidsplan og implementer endringene.

En produktfamilie er en gruppe med produkter som går gjennom like prosesser eller utstyr, og som har likt arbeidsinnhold (Duggan, 2012).

Ved tegning av dagens prosesser er det anbefalt å ta med stoppeklokke i stedet for å stole på standard-tider eller tider som du ikke har sjekket personlig, fordi tall i ei fil sjelden reflekterer virkeligheten.

Rother og Shook fremhever en rekke punkter for hvorfor VSM er et essensielt verktøy, og det er blant annet fordi det (Rother and Shook, 1999):

- Hjelper til med å visualisere flyten.
- Hjelper til med å finne kildene til svinn.
- Binder sammen lean-konsepter og teknikker.
- Danner en basis for lean-implementering.
- Viser linken mellom informasjons- og materialflyt.

MTO-bedrifter med høy variasjon og kundespesifiserte produkter blir ofte sett på som upassende for å produsere med kontinuerlig flyt på grunn av mange forskjellige produkttyper (Rother, 2005). Rother (2005) antyder likevel at det er mulig å få til tilnærmet kontinuerlig flyt og oppnå mange fordeler ved bruk av «first in, first out» (FIFO). Dette gjøres gjennom å nøye regulere mengden arbeid som slippes til FIFO-lenkene av arbeidsprosessene.

Før man starter å tegne VSM er det nødvendig å velge ut én produktfamilie å fokusere på (Rother and Shook, 1999). Dette er fordi kunden ofte bryr seg om spesifikke produkter, og ikke alle som produseres, i tillegg til at det er vanskelig å tegne en VSM for alle produkter fordi ulike produkter har ulike kjøretider i produksjonen etc.

Det kan være vanskelig å bestemme produktfamilier for bedrifter som har høy produktmiks i produksjonen (Duggan, 2012). Det er vanskelig å si hvilket utstyr som kan dedikeres til hvilke produktfamilier, og hvilket utstyr som må deles på tvers av flere produktfamilier. En høy miks av produkter som deler samme produksjonslinje eller utstyr gjør det også mye vanskeligere å planlegge på grunn av tilgjengelighet av maskiner og kapasitet.

For å klare å redusere gjennomløpstiden fra råmateriale til ferdig produkt må man gjøre mer enn å bare eliminere åpenbart svinn (Rother and Shook, 1999), slik som «7 waste» som er diskutert tidligere. Nøkkelen er derimot å finne kildene til at svinn oppstår i verdikjeden. Den aller viktigste kilden til svinn er overproduksjon, som betyr at man produserer mer, tidligere, eller fortere enn det som kreves i neste prosess.

Det kanskje viktigste fokuset innen VSM er å produsere hva som trengs når det trengs. For å gjøre det har Toyota utviklet retningslinjer for å oppnå dette ((Rother and Shook, 1999):

1. Produser til takt tid.
2. Utvikle kontinuerlig flyt der det er mulig.
3. Bruk «supermarkets» til å kontrollere produksjonen hvor kontinuerlig flyt ikke forlenges oppstrøms.
4. Prøv å send produksjonsplanen kun til én produksjonsprosess.
5. Fordel produksjonen av forskjellige produkter jevnt over tid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsmiksen).
6. Lag en «initial pull» ved å frigi og ta ut små, konsistente deler av arbeid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsvolum).
7. Utvikle evnen til å lage «hver del hver dag» («every product every ...», EPE) i produksjonsprosessene oppstrøms pacemaker-prosessen.

Et «*supermarket*» er en buffer eller et lagringsområde ved slutten av produksjonsprosessen som er klar til å bli fraktet (eller dratt/pulled) videre (Rother and Shook, 1999), (Abdulmalek and Rajgopal, 2007), (McDonald et al., 2002). I et «*supermarket*» er en fast mengde råmateriale, WIP, eller ferdige produkter lagret som en buffer for å planlegge variasjon eller å dekke opp for nedetid i en prosess (Lian and Landeghem, 2002). Et «*supermarket*» er som regel plassert ved enden av en produksjonslinje (Rother and Shook, 1999).

For å stoppe overproduksjonen ved enhver arbeidsstasjon i verdistrømmen, trenger bare ett punkt å planlegges (Rother and Shook, 1999), (Abdulmalek and Rajgopal, 2007), (McDonald et al., 2002), (Lasa et al., 2008). Dette punktet kalles «*pacemaker-prosessen*», fordi dette punktet bestemmer hastigheten for alle oppstrømsprosesser og bilder oppstrøms- og nedstrømsprosesser sammen. Hver arbeidsstasjon oppstrøms produserer fra et pull-signal fra den neste nedstrømsprosessen, og flyten nedstrøms *pacemaker-prosessen* må være kontinuerlig. *Pacemaker-prosessen* er typisk en prosess med kontinuerlig flyt som er lengst nedstrøms i verdistrømmen, slik at det ikke skal trengs noen «*supermarkets*» andre enn ferdigvarelager nedstrøms denne prosessen.

Ved utførelse av en «*future state*» VSM bør man ta produktdesign, prosessteknologi og fabrikkløkasjoner som gitt, og heller forsøke å fjerne svinn som er uavhengig av disse elementene så fort som mulig (Rother and Shook, 1999). Videre når det gjelder tegning av en «*future state*» blir det fremhevet åtte spørsmål som kan brukes som et verktøy:

1. Hva er *takt tid*?
2. Vil du produsere til et «*supermarket*» med ferdige varer, eller produsere direkte til frakt?
3. Hvor kan du bruke *kontinuerlig flyt*?
4. Er det et behov for et «*supermarket*» pull-system innen verdikjeden?
5. Ved hvilket punkt i produksjonskjeden (*pacemaker prosess*) vil du bruke til å planlegge produksjonen?
6. Hvordan vil du *utjevne produktmiksen* ved *pacemaker-prosessen*?
7. Hvilken del av arbeid vil du konstant utgi ved *pacemaker-prosessen*?
8. Hvilke *prosessforbedringer* vil være nødvendig for at verdistrømmen skal flyte slik som det er illustrert i «*future state*» VSM?

Disse spørsmålene er hentet fra Rother og Shook (1999) og er gjengitt i tabell 2.

Future-state questions

<i>Basic</i>	1. What is the <i>takt</i> time?
	2. Will production produce to a finished goods supermarket or directly to shipping?
	3. Where can continuous flow processing be utilised?
	4. Is there a need for a supermarket pull system within the value stream?
	5. What single point in the production chain will be used to schedule production?
<i>Heijunka</i>	6. How will the production mix be levelled at the pacemaker process?
	7. What increment of work will be consistently released from the pacemaker process?
<i>Kaizen</i>	8. What process improvements will be necessary?

Tabell 2 - Design questions (Rother and Shook, 1999).

Ved å følge fremgangsmåten for VSM unngår man å utføre tilfeldige kaizen-tiltak som ikke fører til noen grunnleggende forbedringer, men gjennom VSM oppnår man strukturert kontinuerlig forbedring som vil føre bedriften mot en lean verdikjede (Duggan, 2012).

3.6.1. Fordeler

Noen av fordelene man kan oppnå ved bruk av VSM kan oppsummeres som:

- Økt forståelse av flyt av materialer og informasjon i en verdikjede, samt viser linken mellom dem.
- Man får fremhevet kildene til svinn, og kan videre utnytte dette til å redusere svinn.
- Binder sammen lean-konsepter og teknikker.
- Danner en basis for lean-implementering.

3.6.2. Utfordringer

Noen av utfordringene knyttet til bruk av VSM kan oppsummeres som:

- Vanskelig å fokusere på mer enn én produktfamilie.
- Kan i mange tilfeller være vanskelig å definere en produktfamilie.
- Fungerer dårlig i lav-volum- høy-variasjon-produksjonsmiljø.

3.6.3. Egnede produksjonsmiljø for bruk av VSM

VSM kan brukes til omtrent alle typer verdikjeder, men metoden fungerer dårlig i lav-volum høy-variasjon-produksjonsmiljø. Dette henger sammen med at høy variasjon av produkter gjør det vanskelig å definere produktfamilier, og man vil ha mange delte ressurser.

3.6.4. Litteraturoversikt

Forfatter	CODP	Metode	Prestasjonsmål			Antall siteringer
		VSM	Redusere gjennomløpstider	Redusere WIP	Forbedre flyt	
(Duggan, 2012)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	136
(Arnold et al., 2011)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	467
(Slack et al., 2010)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	2 346
(Lasa et al., 2008)	Ingen spesifikk	X	X	-	X	136
(Abdulmalek and Rajgopal, 2007)	Ingen spesifikk	X	X	X		664
(Rother, 2005)	MTO	X	X	X	X	9
(Lian and Landeghem, 2002)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	78
(McDonald et al., 2002)	ETO	X	X	X	X	173
(Rother and Shook, 1999)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	1388
(Hines and Rich, 1997)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	786

Tabell 3 – Litteraturoversikt value-stream-mapping

Duggan (2012) – Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand

Arnold et al. (2011) – Introduction to Materials Management

Slack et al. (2010) – Operations Management

Lasa et al. (2008) – An evaluation of the value stream mapping tool

Abdulmalek (2007) – Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study

Rother (2005) – Value-Stream Mapping in a Make-to-Order Environment

Lian and Landeghem (2002) – An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing

McDonald et al. (2002) – Using simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application

Rother and Shook (1999) – Learning to See – Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda

Hines and Rich (1997) – The seven value stream mapping tools

3.7. JUST-IN-TIME (JIT), PUSH OG PULL

3.7.1. Just-in-time-filosofien

Just-in-time (JIT) er en filosofi hvor en organisasjon ønsker å kontinuerlig forbedre deres produkter og prosesser gjennom å fjerne svinn/avfall (Swanson and Lankford, 1998). Filosofien kan gi en organisasjon de nødvendige fordelene for å overleve, eller å øke økonomisk gevinst. Kjennskap til viktige elementer slik som kostnaden av å konvertere til et JIT-system, hvor lang tid overgangen vil ta, og forventet resultat, kan hjelpe bedrifter til å støtte implementering av JIT.

De fundamentale konseptene av de høyere nivåene av JIT tar for seg utviklingen til et bredere system, altså lean produksjon, mens JIT-begrepet blir brukt spesifikt for JIT-produksjon, som oftest innebærer et pull-system (Arnold et al., 2011). Det som opprinnelig ble kalt JIT blir fortsatt kalt JIT innen lean-metodikk, som altså innebærer et pull-system som brukes for å levere hva som trengs akkurat når det trengs. På den andre siden innebærer lean produksjon forståelse og korrekt implementering av et bredt system som inkluderer hele forretningen for å virkelig kunne eliminere eller signifikant redusere svinn i systemet.

Slack et al. (2010) definerer JIT som (Slack et al., 2010):

«En metode for planlegging og kontroll, samt en operasjonsfilosofi, som ønsker å møte etterspørsel umiddelbart med perfekt kvalitet uten noe svinn»

Denne definisjonen støttes av Ptak (1996) som definerer JIT som (Ptak, 1996):

«En filosofi hvor en organisasjon søker kontinuerlig forbedring av produkter og prosesser gjennom å eliminere svinn»

Det er bred enighet om at noe av det viktigste innen JIT produksjon er å eliminere svinn og ineffektiviteter som ikke bidrar med verdi til et produkt. JIT stammer fra Japan, og fremgangsmåten ble først etablert tidlig på 1950-tallet av T. Ohno, tidligere visepresident av Toyota Motor Company.

Fremgangsmåten inneholdt byggesteiner som inkluderer (Womack et al., 2007):

- Forpliktelse fra hele bedriften.
- Riktig materialer til riktig tid.
- Leverandørforhold.
- Kvalitet.
- Personell.

Før implementering av JIT er god planlegging viktig, og det må starte på ledelsesnivå (Swanson and Lankford, 1998). Uten ledelsens støtte vil sannsynligvis implementering av JIT mislykkes.

Det har vært mange mislykkede forsøk på implementering av JIT over hele verden, til tross for de vel dokumenterte fordelene som resulterer fra JIT (Arnold et al., 2011). Det er mye som tyder på at mange produksjonsbedrifter ønsker å utnytte de dokumenterte fordelene av JIT, men at de forsøker å implementerer JIT før de har god nok forståelse av hele det integrerte systemet. En del av denne misforståelsen kan knyttes til forvirring mellom et høyere nivå av JIT, altså de fundamentale endringene i forretningspraksisen, og en mer spesifikk JIT-produksjon på lavere nivå. I en mer

spesifikk JIT-produksjon kan JIT enklest tolkes som å levere materiale til en produksjonsprosess «akkurat når det trengs», altså gjennom pull produksjon.

Et push-system, på den andre siden, kjører en jobb inn i produksjonssystemet basert på en forhåndsbestemt produksjonsplan (som regel MRP), mens et pull-system tar hensyn til hva som skjer internt i systemet for å unngå WIP (Hopp and Spearman, 2011). Hopp og Spearman (2004) definerer push og pull-systemer som (Hopp and Spearman, 2004b):

«Et pull system er et system som eksplisitt begrenser WIP som kan være i systemet. Et push-system er et system som ikke har noen eksplisitt grense på mengden arbeid som kan være i systemet».

MRP blir typisk sett på som en push-tilnærming, mens tradisjonell lean og JIT er en pull-tilnærming (Klausen, 2012), (Arnold et al., 2011). Pull-systemet ble utviklet som et alternativ til klassisk push-basert MRP, og blir av mange sett på som det viktigste aspektet av JIT-produksjon (Arnold et al., 2011). Det underliggende konseptet er ikke å planlegge og generere produksjonsplaner på forhånd, men heller å reagere til sluttkundens ordre og produsere bare nøyaktig det som trengs for å tilfredsstille etterspørselen, og også akkurat når det trengs (Arnold et al., 2011). Det eksisterer også flere hybrid-tilnærminger som kombinerer både push og pull.

Et viktig system innen JIT-produksjon er kanban, som ble utviklet for å kunne generere et nytt re-ordre-signal uten å være avhengig av et formelt system som kunne bruke for lang tid på å reagere (Arnold et al., 2011). Dette systemet fungerer enkelt ved at et kort fungerer som et kanban-signal for delen det er plassert sammen med. Et *uttaks-kanban* starter bevegelsen av deler, mens et *produksjons-kanban* starter produksjonen av deler (Rother and Shook, 1999).

Informasjonen som står på Kanban-kortet inkluderer som oftest (Arnold et al., 2011):

- Artikkelnnummer på del
- Lagerlokasjon
- Beholderstørrelse hvis delene er lagret i beholdere
- Opprinnelig arbeidsstasjon

Metoden ble utviklet med et formål om å begrense WIP i en produksjon, ved at nye jobber må vente dersom kapasiteten ikke kan takle mer arbeid (Arnold et al., 2011). Den pågående jobben må altså gjøres ferdig før neste kan startes. Videre i oppgaven fokuseres det på pull produksjon, altså JIT på et lavere nivå, og med JIT menes da i utgangspunktet pull produksjon.

3.7.2. Fordeler pull produksjon

Noen av fordelene man kan oppnå ved bruk at JIT kan oppsummeres som:

- Redusert svinn.
- Redusert WIP.
- Minimert bufferlager.
- Minimert ferdigvarelager.
- Reduserte kostnader knyttet til lagring.
- Mer stabil og forutsigbar produksjon.
- Hyppigere lagerutskiftninger fører til mindre grad av foreldete deler.
- Produksjonsfeil oppdages tidligere.

3.7.3. utfordringer JIT

Noen av de mulige utfordringene ved bruk at JIT kan oppsummeres som:

- Nødvendig med et stabilt produksjonsmiljø.
- Takler ikke signifikante utskiftninger i produkter og produktdesign.
- Takler ikke svingninger i etterspørsel.
- Kan kreve en omfattende omstilling fra tradisjonell MRP.
- Kan få omfattende konsekvenser om leverandører ikke leverer i tide eller rett mengde.
- Implementering medfører ofte nødvendige endringer i IKT-systemer.

3.7.4. Egnede produksjonsmiljø for pull produksjon

Det er ikke nødvendigvis alle produksjonsmiljø som egner seg for bruk at pull produksjon. På grunn av mindre planlegging på forhånd er det avgjørende med et stabilt produksjonsmiljø. Metodene vil fungere dårlig om det er mye endringer i produktdesign, eller om det er mye svingninger i etterspørsel. Pull-planlegging vil også fungere dårlig om kvaliteten i produksjonen er ustabil, eller om produksjonsvolum er for lavt.

3.7.5. Litteraturoversikt

Forfatter	CODP	Styringsmetode	Prestasjonsmål			Antall siteringer
		Just-in-time (pull)	Redusere gjennomløpstider	Redusere WIP	Forbedre flyt	
(Clotet, 2015)	Semi-process industry	X	X	X	X	0
(Ettl et al., 2012)	ATO	X	-	X	-	10
(Klausen, 2012)	MTO/RBV	X	X	X	X	0
(Mendis, 2012)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	0
(Arnold et al., 2011)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	467
(Slack et al., 2010)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	2 346
(Womack et al., 2007)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	13 698
(Hopp and Spearman, 2004b)	MTO/MTS	X	X	X	X	359
(Rother and Shook, 1999)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	1 388
(Swanson and Lankford, 1998)	Ingen spesifikk	X	X	-	-	24

Tabell 4 – Litteraturoversikt Just-in-time (pull)

Clotet (2015) – Lean production planning and control in semi-process industry (master thesis)

Ettl et al. (2012) – A production-inventory model for a push-pull manufacturing system with capacity and service level constraints

Klausen (2012) – Using lean, ERP and theory of constraints to support the flow of materials in the production of composite aircraft components for the Joint Strike Fighter (master thesis)

Mendis (2012) – What factors facilitate or inhibit the successful implementation of Lean Manufacturing (master thesis)

Arnold et al. (2011) – Introduction to Materials Management

Slack et al. (2010) – Operations Management

Womack et al. (2007) – The Machine that Changed the World

Hopp and Spearman (2004) – To pull or not to pull: what is the question?

Rother and Shook (1999) – Learning to see – Value stream mapping to create value and eliminate muda

Swanson and Lankford (1998) – Just-in-time manufacturing

3.8. FLASKEHALSSTYRING

3.8.1. Introduksjon til flaskehalsstyring

En *flaskehals* defineres av businessdictionaries.com som (Businessdictionary.com, 2016a):

«En avdeling, fasilitet, maskin eller ressurs som arbeider på full kapasitet og som derfor ikke kan takle økt etterspørsel»

En flaskehals kalles ofte også for en *kritisk ressurs*. En flaskehals begrenser gjennomstrømmingen av tilknyttede ressurser (Businessdictionary.com, 2016a). En overarbeidet arbeidsstasjon kalles av Arnold et al. (2011) en flaskehals, og er de arbeidsstasjonene hvor nødvendig kapasitet er større enn tilgjengelig kapasitet (Arnold et al., 2011).

Flaskehalsen kontrollerer totalt gjennomstrømningsvolum i en fabrikk (Arnold et al., 2011). Hvis arbeidssentre tilfører flaskehalsen mer enn den kan prosessere, så vil overflødig WIP oppstå. Derfor bør arbeid planlegges gjennom en flaskehals ved den hastigheten den kan prosessere arbeidet.

Siden flaskehalsen kontrollerer gjennomstrømmingen i en produksjonsfasilitet, er det noen viktige prinsipper som bør fremheves (Arnold et al., 2011):

1. Utnyttelse av en ressurs som ikke er en flaskehals blir ikke bestemt av dens potensiale men av andre begrensninger i systemet.
2. Ved arbeidsutnyttelse i en flaskehals ved 100% av tiden betyr ikke at man produserer med 100% utnyttelse i systemet.
3. Kapasiteten i systemet er avhengig av kapasiteten til flaskehalsen.
4. Tid spart ved en ikke-flaskehals sparer ikke systemet noen ting.
5. Kapasitet og prioritet må vurderes sammen.
6. Produksjonsmengder kan, og burde, splittes.
7. Fokus bør være å balansere flyten gjennom fabrikk.

Siden flaskehalsen er så viktig for gjennomstrømmingen i et system, er produksjonsplaner og kontrollering av dem svært viktig (Arnold et al., 2011). Da må blant annet følgende gjøres:

1. Etablere en tidsbuffer foran hver flaskehals. Altså at en tidsbuffer som fungerer som et lager bør plasseres før hver flaskehals.
2. Kontrollere hastigheten på materialer som går inn i flaskehalsen. En flaskehals må mates i et tempo lik dens kapasitet slik at tidsbufferen holdes konstant.
3. Gjør alt for å sørge for å tilføre flaskehalsen nødvendig kapasitet, da alt som øker kapasiteten i flaskehalsen øker kapasiteten i hele systemet.

Ved å identifisere begrensningene for hver produktfamilie og etablere planlegging- og kontrollrutiner for begrensninger i systemet, vil det gi færre planleggingspunkter og klare fokuspunkter for investeringer og forbedringer (Goldratt et al., 1992). Dette kommer av at økt kapasitet ved flaskehalsen vil, per definisjon, øke gjennomstrømmingen i systemet.

Det er generelt sett blitt forsket mye på flaskehalsstyring og metoder innen flaskehalsstyring, men det er funnet lite litteratur som tar for seg flaskehalsstyring innen komposittproduksjon eller

verktøyavhengig produksjon. Av de ulike metodene innen flaskehalsstyring finner vi blant annet «drum-buffer-rope» (DBR), «simplified drum-buffer-rope» (SDBR) og «theory of constraints» (TOC).

Lee et al (2010) presenterer en artikkel som tar for seg SDBR hvor det blant annet blir sett på hvordan man kunne benytte metoden for å redusere gjennomløpstider og forbedre leveringspresisjon (Lee et al., 2010). Det blir spesielt tatt for seg MTO-bedrifter, hvor leveringspresisjon er spesielt viktig for å vinne markedsandeler.

Det er også blitt forsket mye på hvordan leveringspresisjonen kan forbedres ved å ha fokus på ordreslipp, prioriteringsregler for produksjon, og flaskehalsutnyttelse. Én av de mest anerkjente metodene for å forbedre leveringspresisjonen er TOC-DBR-metoden utviklet av Goldratt på slutten av 80- og starten av 90-tallet, som ble gjort kjent gjennom boka «The Goal» (Goldratt et al., 1992).

Hovedforskjellen mellom SDBR og DBR er at SDBR ikke trenger å bestemme en konkret sekvens av flaskehalsen på forhånd (Lee et al., 2010). Den faktiske sekvensen bør bestemmes av ordrens bufferstatus, definert av formelen (Lee et al., 2010):

$$\text{Buffer status (BS)} = \frac{(\text{production buffer (PB)} - \text{remain days to due date})}{\text{production buffer (PB)}}$$

Ved DBR antar man at man har en aktiv kapasitetskritisk ressurs, men dette stemmer ikke alltid i realiteten (Lee et al., 2010). Det ble derfor foreslått en forenklet metode (SDBR) av Schragenheim og Dettmer i 2000 (Schragenheim and Dettmer, 2000). Nøkkelprinsippet innen SDBR er planlegging av produksjon og metoder for å bestemme ordredato (Lee et al., 2010). Et viktig prinsipp innen SDBR er planlagte skift og bestemmelse av forfallsdato. Den planlagte belastningen er opphopingen av deler produsert av flaskehalsen for alle ordre som krever levering innen en gitt tidshorisont.

I en SDBR ordrebestemmelse hvor buffertiden er utvidet sier man at ordren har «slack time», altså ekstra tidsbuffer til å fullføre ordren (Lee et al., 2010). Ideen er at ordren slippes tidlig nok til å sikre at flaskehalsen ikke sulter, med et håp om at økt etterspørsel vil oppstå på kort sikt.

Som navnet tilsier kan metoden enkelt implementeres og signifikante resultater kan oppnås innen en kort periode (Lee et al., 2010).

3.8.2. Potensielle fordeler

Noen av fordelene man kan oppnå med flaskehalsstyring kan oppsummeres som:

- Bedre kapasitetsutnyttelse i produksjonssystemet.
- Økt fokus på balansert flyt.
- Reduserte gjennomløpstider.
- Bedre leveringspresisjon.
- Gode resultater kan oppnås innen en kort tidsperiode.
- Økt kontroll av WIP.
- Færre planleggingspunkter.
- Klare fokuspunkter for forbedringer.

3.8.3. Potensielle utfordringer

Noen av utfordringene som kan oppstå ved bruk av flaskehalsstyring kan oppsummeres som:

- Lite litteratur på bruk av flaskehalsstyring relatert til komposittproduksjon som er avhengig av to ulike produksjonsruter som må samkjøres (del-rute og verktøyform-rute).

3.8.4. Egnede produksjonsmiljø

For at man skal kunne utnytte flaskehalsstyring er det nødvendig å ha én eller flere tydelig definerte flaskehals i et produksjonssystem.

3.8.5. Litteraturoversikt

Forfatter	CODP	Styringsmetode	Prestasjonsmål			Antall siteringer
		Flaskehalsstyring	Redusere gjennomløpstider	Redusere WIP	Forbedre flyt	
(Arnold et al., 2011)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	467
(Lee et al., 2010)	Generell/MTO	X	X	-	-	28
(Schrageheim and Dettmer, 2000)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	127
(Goldratt et al., 1992)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	3 522

Tabell 5 – Litteraturoversikt flaskehalsstyring

Arnold et al. (2011) – Introduction to Materials Management

Lee et al (2010) – Research on enhancement of TOC simplified drum-buffer-rope system using novel generic procedures

Schrageheim and Dettmer – Manufacturing at warp speed: optimizing supply chain financial performance

Goldratt et al. (1992) – The goal: a process of ongoing improvement

3.9. WORKLOAD CONTROL (WLC)

Utviklingen av lean har vært en av de mest betydningsfulle i historien om styring av produksjon. Likevel er det mange av lean produksjons- og planleggingsteknikkene som ikke kan brukes direkte av fabrikker som produserer produkter med høy variasjon, slik som små og medium store MTO-bedrifter.

«Workload control» (WLC) er et produksjonsplanlegging- og kontrollkonsept utviklet for å møte behovene til disse MTO-bedriftene (workloadcontrol.com).

Hendry et al (1998) beskriver WLC som (Hendry et al., 1998):

«En produksjonsplanleggings- og kontrollmetode som er designet for å kontrollere køer i et job-shop produksjonsmiljø»

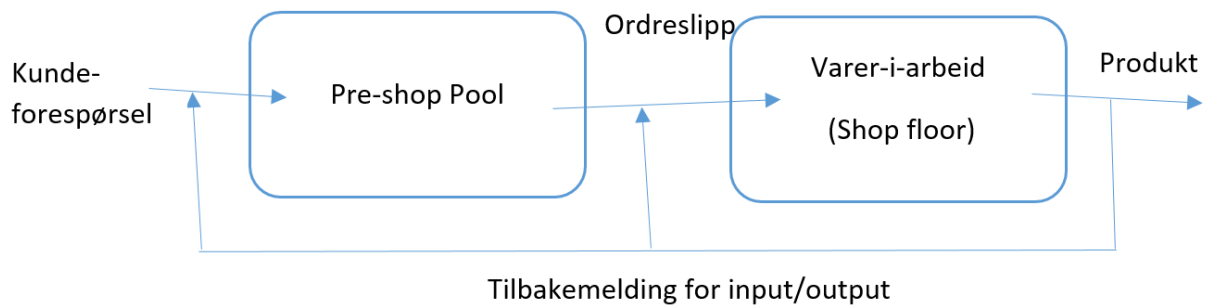
Hovedfokus innen dette konseptet er å opprettholde et fleksibelt produksjonsmiljø i MTO-bedrifter, som kjennetegnes ved at de produserer forskjellige produkter til forskjellige kunder (Hendry et al., 1998). Målsetningen av WLC-konsepter er å forbedre en bedrifts prestasjonsindikatorer, inkludert reduserte og stabile gjennomløpstider, og stabilt WIP (Thürer et al., 2011), (Hendry et al., 1998), noe som igjen bidrar til reduserte produksjon- og lagerkostnader.

Thürer et al (2011) presenterer WLC som et konsept som ble utviklet for å overvinne «gjennomløpstidssyndromet», altså at gjennomløpstidene er lengre enn nødvendige (Thürer et al., 2011). Hovedmålet for WLC er å opprettholde WIP på et optimalt nivå samtidig som man holder køene foran arbeidsstasjonene korte (Thürer et al., 2011). Output-mengdene manipuleres ved å justere kapasitet og det har blitt vist at de to kontrollmekanismene komplementerer hverandre, altså at input bør reguleres i samsvar med output-mengdene (Thürer et al., 2011).

En nøkkelutfordring for disse bedriftene er å finne en balanse mellom inngangshastighet på ordre for å sikre at arbeidsressursene er fylt opp mens man også leverer bekreftede ordre i tide (workloadcontrol.com). Nøkkelprinsippet av WLC er input/output-kontroll, dvs. at faktisk output bestemmer input. Dette gjør at WIP stabiliseres og reduseres. WLC er spesielt egnet for små og medium store bedrifter ettersom det (workloadcontrol.com):

- Tillater at gjennomløpstider er korte og forutsigbare.
- Tillater at kapasiteten blir kontrollert og utnyttet effektivt.
- Kontrollerer WIP og varelager, noe som resulterer i en lean produksjon.
- Dets hovedprinsipper er enkle i bruk og anvendelse.

Figur 2 illustrerer en enkel prinsipiell skisse av hvordan WLC fungerer.



Figur 2 – WLC prinsipiell skisse utviklet fra workload.com (workloadcontrol.com)

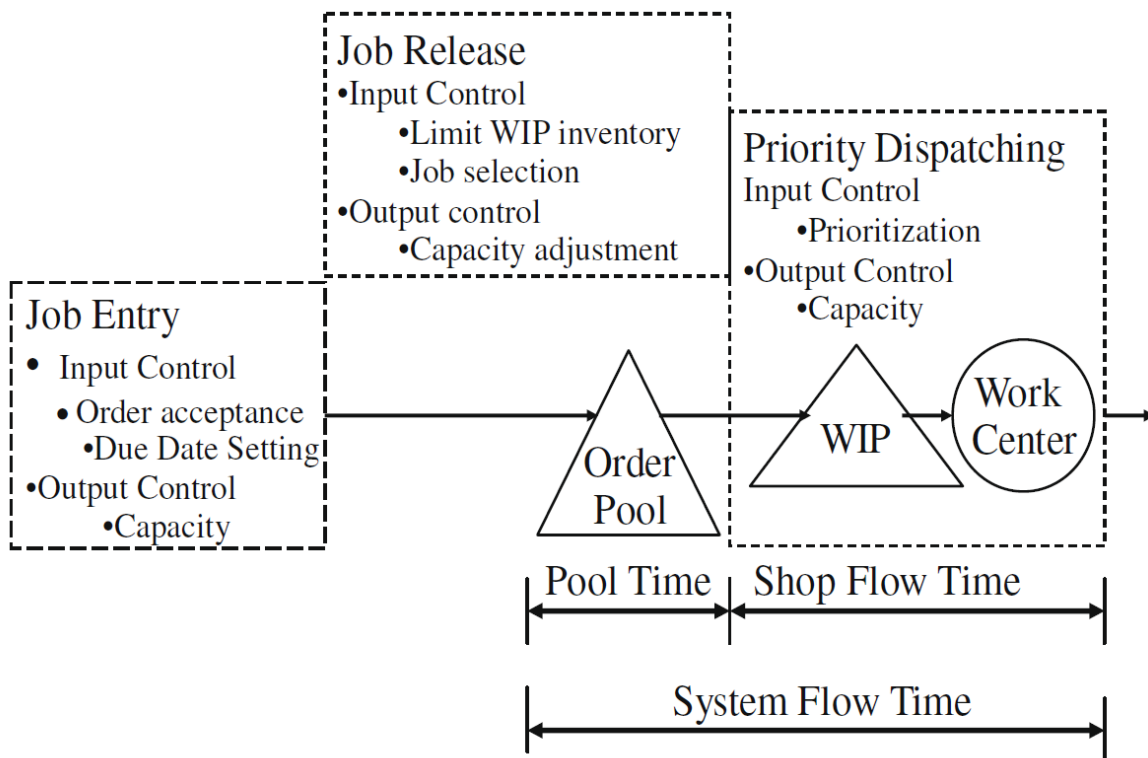
WLC støtter bedrifter til effektiv bruk av lager, kapasitet- og gjennomløpstidbuffer gjennom å kombinere kontroll av lagerbeholdning, kapasitet og gjennomløpstider, integrasjon av produksjon og salg inn i et hierarkisk system av arbeidsmengder eller «workloads». Dette hierarkiet av arbeidsmengder inneholder arbeidsmengde på shop floor-nivå, planlagt arbeidsmengde, og total arbeidsmengde (workloadcontrol.com).

Tiden forespørslene (jobber) bruker i «pre-shop pool» gjør det mulig å utsette avgjørelser (Oosterman et al., 2000). Det vil redusere svinn som kommer av kansellerte ordre, forenkler senere ordre av råmaterialer, og tar bort behovet for å fremskynde hasteordre på «shop floor»-nivå.

I praksis brukes som regel WLC-regler, som er regler som kontrollerer både input og output av arbeid i produksjonsprosessene (Kingsman and Hendry, 2002). Hensikten med WLC-regler er å sikre at ordre blir fullført innen tidsfristen mens man samtidig utnytter hele kapasiteten til de ulike arbeidssentrene/ressursene innen en produksjon (Fredendall et al., 2009). Ett av problemene med forskning på WLC-regler er mangelen på teori innen emnet.

En WLC-regel består typisk av tre nivåer: ordre inn, ordre ut (release) og jobbprioritering (se figur 3) (Fredendall et al., 2009). Figur 3 viser hvordan de forskjellige nivåene av en WLC-regel henger sammen. Ved det første nivået – ordre inn – avgjøres det om man skal akseptere eller avvise en ordre. Før man går videre til neste nivå settes leveringsdato for ordregjennomføring og justerer kapasiteten på arbeidssentrene

Ved det andre nivået behandles ordre som allerede er akseptert for produksjon, har gitt leveringsdato og er lagt inn i ordreoversikten. Det siste nivået – jobbprioritering – oppstår i det en jobb er hentet fra ordreoversikten og satt i produksjon. Da vil WLC bruke jobbprioritering til å velge en jobb fra produksjonskøen (Fredendall et al., 2009).



Figur 3 – Oppbygning av en typisk WLC-regel (Fredendall et al., 2009).

Når man anvender WLC-regler må unike regler lages for hver produksjonsprosess (Fredendall et al., 2009). Man kan ta utgangspunkt i drum-buffer-rope (DBR) som planlegger for flaskehals og som begrenser størrelsen på bufferlageret foran flaskehalsen (Fredendall et al., 2009). Dette er viktig fordi at ved å sette en øvre grense for WIP-nivåer lager et pull-system, som er et essensielt element innen lean produksjon (Hopp and Spearman, 2004a).

3.9.1. Potensielle fordeler

Noen av fordelene man kan oppnå med WLC kan oppsummeres som:

- Bedre kontroll av, samt kortere køer i et job-shop produksjonsmiljø.
- Reduserer og stabiliserer gjennomløpstider.
- Reduserer og stabiliserer WIP.
- Opprettholde/forbedre fleksibiliteten i MTO-bedrifter.
- Reduserer svinn.
- Kan ta bort behovet for å fremskynde hasteordre på «shop floor» -nivå.

3.9.2. Potensielle utfordringer

Noen av utfordringene som kan oppstå ved bruk av WLC kan oppsummeres som:

- Må utvikles unike WLC-regler for hver produksjonsprosess.
- Mangel på forskning innen WLC-regler.

3.9.3. Eget produksjonsmiljø for WLC

WLC er et verktøy som egner seg spesielt godt for små og medium store MTO-bedrifter som produserer produkter med høy variasjon.

3.9.4. Litteraturoversikt

Forfatter	CODP	Styringsmetode	Prestasjonsmål			Antall siteringer
		WLC	Redusere gjennomløpstider	Redusere WIP	Forbedre flyt	
(Thürer et al., 2011)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	35
(Fredendall et al., 2010)	Ingen spesifikk	X	X	-	-	63
(Oosterman et al., 2000)	Ingen spesifikk	X	X	X	X	126
(Hendry et al., 1998)	MTO	X	X	X	-	64

Tabell 6 – Litteraturoversikt workload control

Thürer et al. (2011) – Three decades of workload control research: a systematic review of the literature

Fredendall et al. (2010) – Concerning the theory of workload control

Oosterman et al. (2000) – The influence of shop characteristics on workload control

Hendry et al. (1998) – The effect of workload control (WLC) on performance in make-to-order companies

3.10. OPPSUMMERING OG SAMMENLIGNING AV JIT, FLASKEHALSSTYRING OG WLC

Mens VSM er et overordnet kartleggingsverktøy er JIT, flaskehalsstyring og WLC planleggingsmetoder på et lavere nivå. Tabell 7 nedenfor sammenligner JIT, flaskehalsstyring og WLC.

	JIT (pull)	Flaskehalsstyring	WLC
Tilnærming	Produksjon basert på forbruk	Produksjon basert på forbruk i flaskehalsen	Produksjon basert på prioriteringsregler
Type	Pull	Hybrid	Pull
CODP	Ingen spesifikk	Ingen spesifikk	MTO
Materialflyt	Fokus på å opprettholde materialflyt	Fokus på å opprettholde materialflyt gjennom flaskehalsen	Fokus på jevn materialflyt
Svinn («waste»)	Fjerner svinn	-	Reduserer svinn
WIP	Redusere WIP	Planlegge og jevne ut WIP	Stabilisere WIP på et optimalt nivå
Bufferlagre	Minimere bufferlager	Kontrollere bufferlagre foran flaskehals(er)	Kontrollere bufferlager
Gjennomløpstider	Redusere gjennomløpstider	Redusere gjennomløpstider	Redusere og stabilisere gjennomløpstider
Kapasitetsbuffer	Under kapasitetsplanlegging	Tid og buffer	Tid og buffer
Metoder i praksis	Kanban	DBR, SDBR, TOC	WLC-regler

Tabell 7 – Oppsummering og sammenligning av JIT (pull), flaskehalsstyring, WLC og VSM basert på litteraturstudie

4. BEDRIFTSSTUDIE

Dette kapitlet skal presentere et bedriftsstudie av case-bedriften denne oppgaven ble utarbeidet i samarbeid med, altså Kongsberg Gruppen med tilhørende underavdeling Kongsberg Aerostructures. Funnene i dette kapitlet skal bidra til utarbeidelse av løsning, diskusjon og konklusjon. Et bedriftsstudie inneholder en detaljert beskrivelse av et emne, i dette tilfellet Kongsberg Gruppen med tilhørende underavdeling Aerostructures. Det skal i hovedsak presenteres hvilke produkter som produseres, hvordan de produseres, hvilke forretningsstrategier Aerostructures benytter seg av, og produksjonskarakteristikk.

Målet med bedriftsstudiet er å presentere bedriften og analysere utfordringene og problemområdene bedriften står ovenfor, for videre å undersøke om teorien fra litteraturstudiet kan anvendes hos denne bedriften og/eller ved bedrifter med lignende produksjonskarakteristikk.

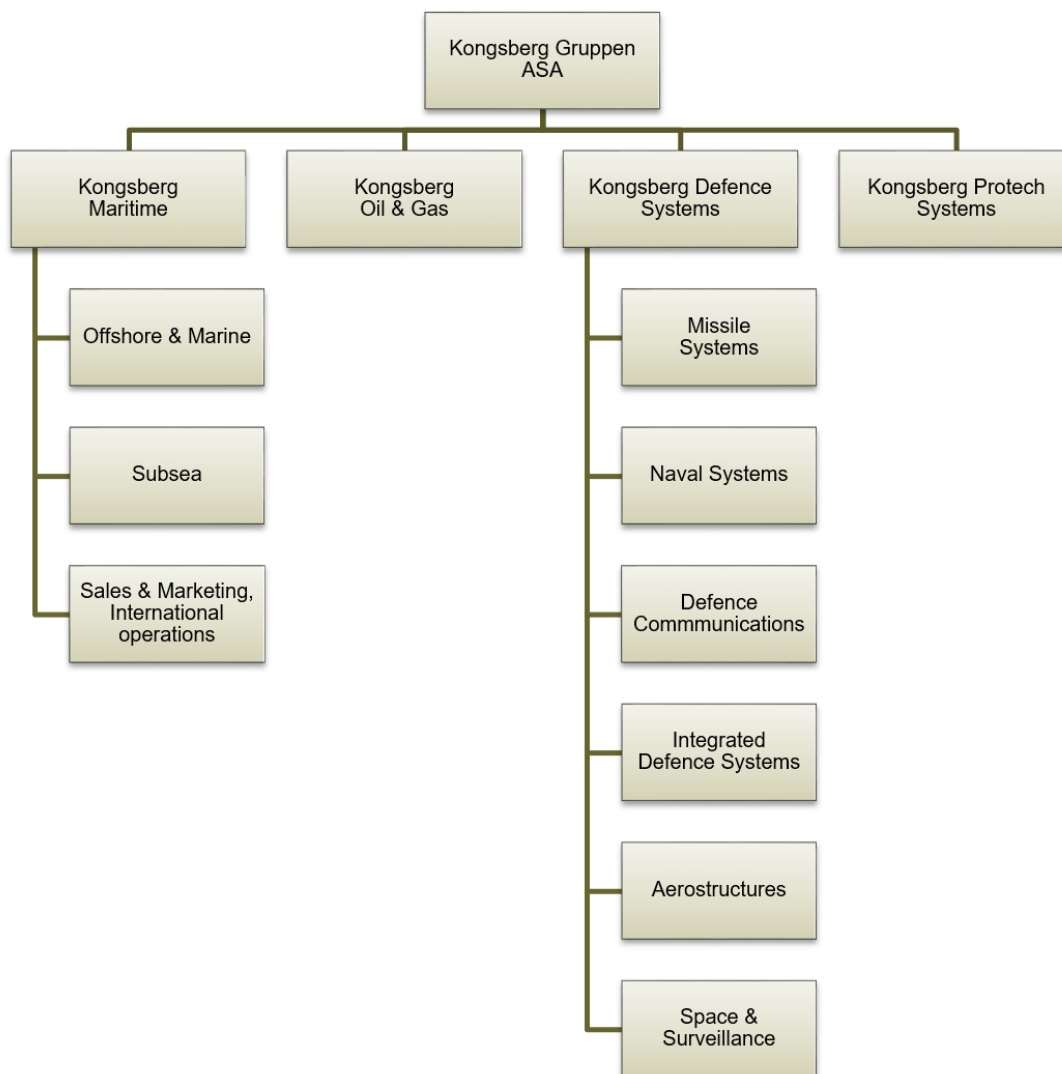
4.1. INTRODUKSJON

Kongsberg Gruppen er et internasjonalt teknologikonsern som leverer avanserte teknologiske løsninger som forbedrer pålitelighet, sikkerhet og effektivitet i komplekse operasjoner under alle typer forhold, og opererer i over 25 land.

Kongsberg Gruppen er delt inn i ulike forretningsområder, som inkluderer både produksjon innen luftfart, maritimt, olje og gass, og forsvarssystemer, og de er delt inn i fire forretningsområder, hvor Aerostructures er en del av Kongsberg Defence Systems (se figur 4):

- Kongsberg Maritime
- Kongsberg Oil & Gas Technologies
- Kongsberg Defence Systems
- Kongsberg Protech Systems

Aerostructures er altså bare én av flere underavdelinger som hører til under Kongsberg Gruppen. Kongsberg Gruppen er kjent for å være helt i spissen når det gjelder å utvikle ny teknologi, og de er verdensledende på flere områder, spesielt innen materialer og produktutvikling. Videre i bedriftsstudiet kommer det til å fokuseres på komposittproduksjonen som utføres i Kongsberg Aerostructures.



Figur 4 – Organisasjonsstruktur Kongsberg Gruppen

Hver avdeling innenfor Kongsberg Gruppen har flere underavdelinger, og mange hierarkiske ledelsesnivåer, med både ledere og mellomledere.

Kongsberg Aerostructures er kjent for å være verdensledende innen komposittproduksjon, og er en viktig leverandør av haleror samt andre komposittdele som hører til skroget til F35-flyene som produseres av LM. Aerostructures er enleverandør på noen av produktene, noe som gjør bedriften kritisk for LMs produksjon av F35.

En stor utfordring avdelingen står ovenfor er en kraftig økning av etterspørsel de kommende årene, og de har innsett at det trengs forbedringer på flere områder innen produksjon og logistikk for å være kapable til å møte denne etterspørselen.

4.2. KUNDER, INDUSTRI OG MARKEDSSEGMENT

Kongsberg Aerostructures produserer komposittdeler kun til forsvarsmarkedet, og det er et marked som stadig vokser. I 2012 hadde norsk forsvarsindustri en omsetning på 12,2 milliarder NOK (FFI-Fokus, 2013) mens det i 2013 hadde en omsetning på 11,9 milliarder NOK (Tvetbråten, 2014).

Forsvarsindustrien blir i stor grad påvirket av politiske avgjørelser og avtaler mellom ulike land. Dette gjør at evnene til myndigheter til å forhandle om avtaler innen industrien ofte blir sett på som en ordrekvalifiserende faktor (Hill and Hill, 2009).

Alle andre partnere i F35-programmet kan sees på som konkurrenter til Kongsberg Gruppen. Kontraktene i programmet fordeles mellom et gitt antall land og leverandører som er med i programmet. LM kan også velge å utføre produksjonen selv, eller bruke leverandører i USA. Hvem som får kontrakter avhenger altså av hvilke land som kjøper fly. Typisk varer en kontrakt 12-24 måneder før den eventuelt fornyes.

Aerostructures har allerede opparbeidet seg et visst antall kontrakter, noe som gir dem en fordel, fordi det er en stor jobb å eventuelt flytte produksjonen til en annen leverandør. Dette gjelder ikke bare utstyr, men i stor grad nødvendig kompetanse som er opparbeidet gjennom et lengre samarbeid.

Leverandørene til avdelingen er både gode, pålitelige og samarbeidsvillige, og det er sjelden forsinkelser ved levering av råmaterialer. Det er strenge krav fra kunden til hvem avdelingen kan ha som leverandører, noe som gjør at man ikke kan velge fritt hvem de skal kjøpe råmaterialer fra.

Kundene til Aerostructures er oftest bedrifter knyttet til myndigheter og forsvar fra både Norge og andre land. Komposittproduktene som produseres leveres som nevnt til Lockheed Martin og Northrop Grumman Corporation. LM er produsent av F35-jagerflyene, mens NGC er en underleverandør til LM. Det vil si at produktene som leveres til NGC til slutt ender opp hos LM som er sluttkunden. Aerostructures er dermed «first tier» -leverandør til LM og «second tier» -leverandør til NGC. En «first tier» - leverandør er altså en bedrift som leverer deres produkter direkte til kunden, mens en «second tier» - leverandør leverer produktene til en «first tier» - leverandør uten å gå direkte til sluttkunden (Iskandar et al., 2001).

4.3. FORRETNINGSSTRATEGI

Kongsberg Aerostructures produserer som nevnt produkter til F35. Foreløpig har de kontrakter til en viss pakke med produkter, som de ønsker å utvide noe i fremtiden. En viktig del av strategien er opptrapping av produksjonen de kommende årene for å møte etterspørsel på bestillingene. Videre kommer det frem gjennom intervjuer at strategien baserer seg på å gjøre produksjonen mest mulig effektiv med tanke på ressursutnyttelse og gjennomløpstider, forbedre flyten på «shop floor» -nivå, og automatisere der det er mulig. Det er også viktig for dem å kjøre så mye ubemannet som mulig i maskinering- og målingsprosesser.

Aerostructures har en tydelig strategi som baserer seg på å være verdensledende innen komposittproduksjon. Dette skal oppnås først og fremst gjennom høy kvalitet og et høyt nivå av leveringsdyktighet. For avdelingen er det disse to kriteriene som er ordrevinnende, samtidig som at pris er også er svært viktig. I tillegg vil fokus på kvalitet og leveringsdyktighet i seg selv gjøre at

kostnadene øker. Samtidig vet vi også at prestasjonsmålene bygger på hverandre, slik at økt kvalitet fører til færre defekter, som da igjen vil redusere kostnadene. Det er altså en kausalitet mellom prestasjonsmålene, men «trade-off»-er eksisterer fremdeles (Alfnes, 2015).

Kostnader er basis for forhandlinger av neste kontrakt, og dersom ikke Aerostructures oppnår målprisene vil de ikke bli valgt som videre leverandør. Dette er én av årsakene til at avdelingen har gjort flere store forbedringsprosjekter den siste tiden med en målsetning om å kutte kostnader. Dette har gitt avdelingen flere utmerkelser fra LM og NGC og blir sett på som en av de beste leverandørene for F-35-programmet.

Et annet viktig element av strategien til Aerostructures er å «outsource» noen av prosessene i produksjonen, som betyr at avdelingen bruker tjenester fra en ekstern leverandør i stedet for å utføre disse selv. De prosessene hvor det brukes eksterne leverandører er typisk prosesser som går på maling og overflatebehandling. Her tilstreber Aerostructures å bruke leverandører innenfor et visst geografisk område for å minimere og kostnad for transport. Det er også svært strengt regulert av kunden hvilke leverandører som kan og i noen tilfeller hvilke som må benyttes. Det er også i ferd med å bygges kapasitet for maling på fabrikken til avdelingen.

4.4. PRODUKTER

Fabrikken til Kongsberg Aerostructures er delt inn i tre produksjonsområder, hvor to tredeler av produksjonslokalene brukes til komposittproduksjon. På grunn av begrensningene i denne oppgaven er det kun dette området som skal undersøkes. Delene som produseres er deler som leveres til Lockheed Martins (LM) F35 Joint Strike Fighter-program, og er en del av Norges samarbeid med USA og LM angående levering av de norske jagerflyene, som skal leveres fra 2017.

Som nevnt tidligere produserer Aerostructures deler til 60 fly per år (2015), men maksimalt volum som skal oppnås innen 2022 er på hele 152 fly. Innen 2020 skal produksjonsvolumet være opp mot maks, på 150 fly. For hvert fly det leveres deler til er det 12 ulike leveranseprodukter til LM (2 «ruddere» og 2 «VLE» til hvert fly, i tillegg til 2 paneler til CV/STOVL), mens det er 29 ulike deler som produseres til Northrop Grumman Corporation (NGC), hvor 12 av dem er leveranseprodukter. Totalt produseres det 29 ulike inngående deler til LM og 42 ulike inngående deler til NGC. Produktene som leveres blir levert til tre forskjellige flytyper: F-35A CTOL (Conventional Take Off and Landing), F-35B STOVL (Short Take Off, Vertical Landing) og F35C CV (Carrier Version).

I tillegg til produksjon av deler til F35-programmet produserer komposittavdelingen ved Aerostructures andre produkter hvor volumet er langt lavere. Noen av delene som produseres er skrog til missiler, helikoptergulv til NH90, samt prototyper av andre produkter, deriblant «remote tower» for Avinor.

Totalt ble det i løpet av 2015 produsert omtrent 3900 deler i komposittdelen av fabrikken (vedlegg C).

Produksjonen til Aerostructures passer inn under beskrivelsen av «Repeat Business Customizer» (RBC) (Amaro et al., 1999), som er en bedrift som produserer med lite produktvariasjon til et fåtall kunder, men med relativt høye volumer per produkt.

Fra intervjuer med veileder fra Aerostructures produseres det totalt 71 ulike inngående komposittdele til LM og NGC som er de to største prosjektene til Aerostructures. Merk at videre i oppgaven forenkler vi problemet til å konsentrere oss om de 34 ulike inngående delene som produseres til CTOL og STOVL (vedlegg C), da det produseres svært få deler til CV sammenlignet med CTOL og STOVL fordi LM produserer færre av denne flytypen. STOVL og CTOL er i tillegg relativt like parter.

Hvis man tar med de andre prosjektene til avdelingen vil man få noen flere ulike deler, men dette går ut over rammene til denne oppgaven. Noen deler produseres mer frekvent enn andre, og vi kan dermed dele de ulike delene inn i «runners», «repeaters» og «strangers». Det skal produseres 3-8 stk. av de ulike delene per uke på maksimalt produksjonsvolum i de to største prosjektene (vedlegg C), og alle disse definerer vi som «runners» siden det produseres flest av disse. Delene som vil gå under kategoriene «repeaters» og «strangers» hører til de mindre prosjektene ved avdelingen og vil ikke bli inkludert i denne oppgaven.

Delene som produseres er spesielle komplekse deler hvor det stilles ekstreme krav til utstyr, renhold, måletoleranser og produksjonsmetoder. Delene skal dermed gjennom relativt mange prosesser, noe som bidrar til at gjennomløpstidene blir lange.

Etterspørselen bestemmes av LM, som planlegger med en tidshorisont på flere år og er ikke sesongavhengige. Alle produkter som produseres blir produsert til ordre, «make-to-order» (MTO).

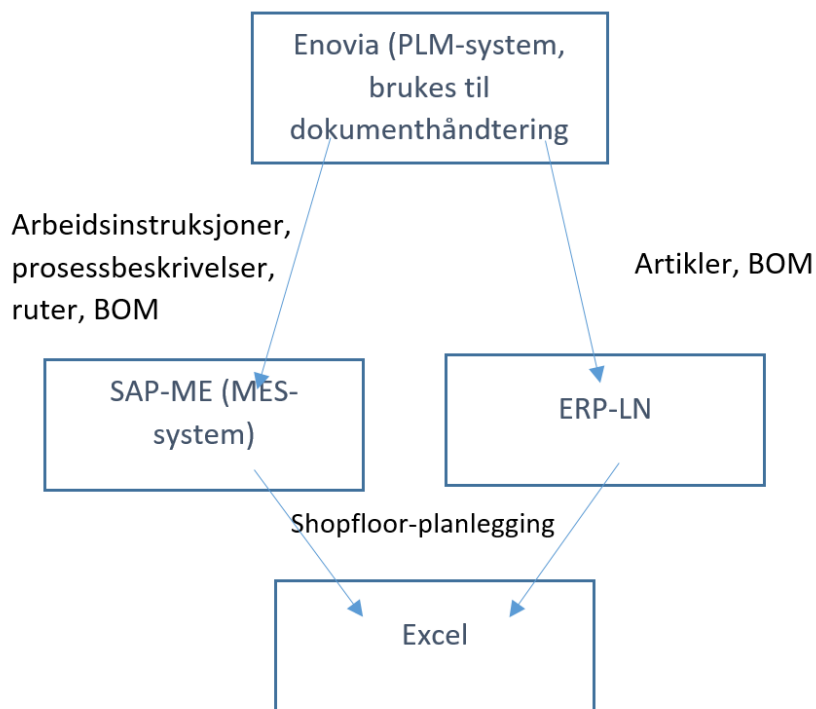
Kundeordrens dekoblingspunkt er plassert før produksjonen starter, da Aerostructures ikke produserer noen deler uten å være sikker på at de skal leveres. Vi har allerede konkludert med at Aerostructures produserer til ordre, og vi finner igjen kundeordrens dekoblingspunkt i figur 1 hvor det ligger etter råvareinnkjøp og før produksjonsstart.

4.5. INFORMASJONSTEKNOLOGI

Kongsberg Aerostructures benytter seg av flere IKT systemer for å støtte opp om prosessene, hvor de viktigste er:

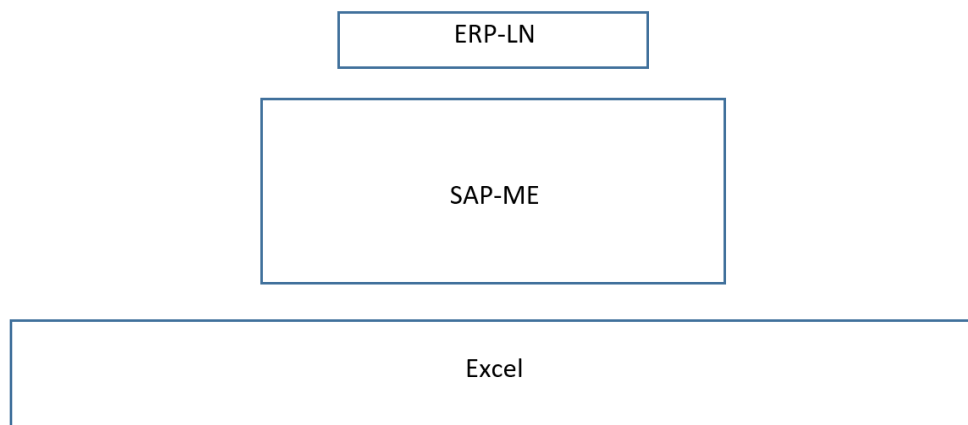
- Enovia: brukes til alt av teknisk underlag.
- ERP-LN: brukes til innkjøp, planlegging, økonomi og oppfølging.
- SAP ME: styring og sporing av data.
- Improve (egenutviklet): avvikshåndtering.
- Pro Flow (egenutviklet): timeregistrering.
- Excel: Shop floor planlegging, re-planlegging.

De viktigste programmene med tanke på denne oppgaven er ERP-LN, SAP ME og Excel. Figur 5 viser sammenhengen mellom de ulike IKT-systemene ved Aerostructures.



Figur 5 – Sammenheng mellom IKT-systemer

ERP-LN er systemet som ligger på topp av detaljpyramiden vist i figur 6, og er et transaksjonsbasert system. Alle transaksjoner, f.eks. innkjøp, forgår i ERP-LN. I neste nivå finner vi SAP-ME, som er et «event driven» system, altså et hendelsesbasert system. Her ligger arbeidsinstruksjoner, rutinger og BOM. Gjennom SAP-ME genereres jobber ut fra tilgjengelige ressurser. Nederst er detaljplanlegging, som foregår i form av shop floor-planlegging i Excel. Det tas da utgangspunkt i jobbene i SAP-ME.

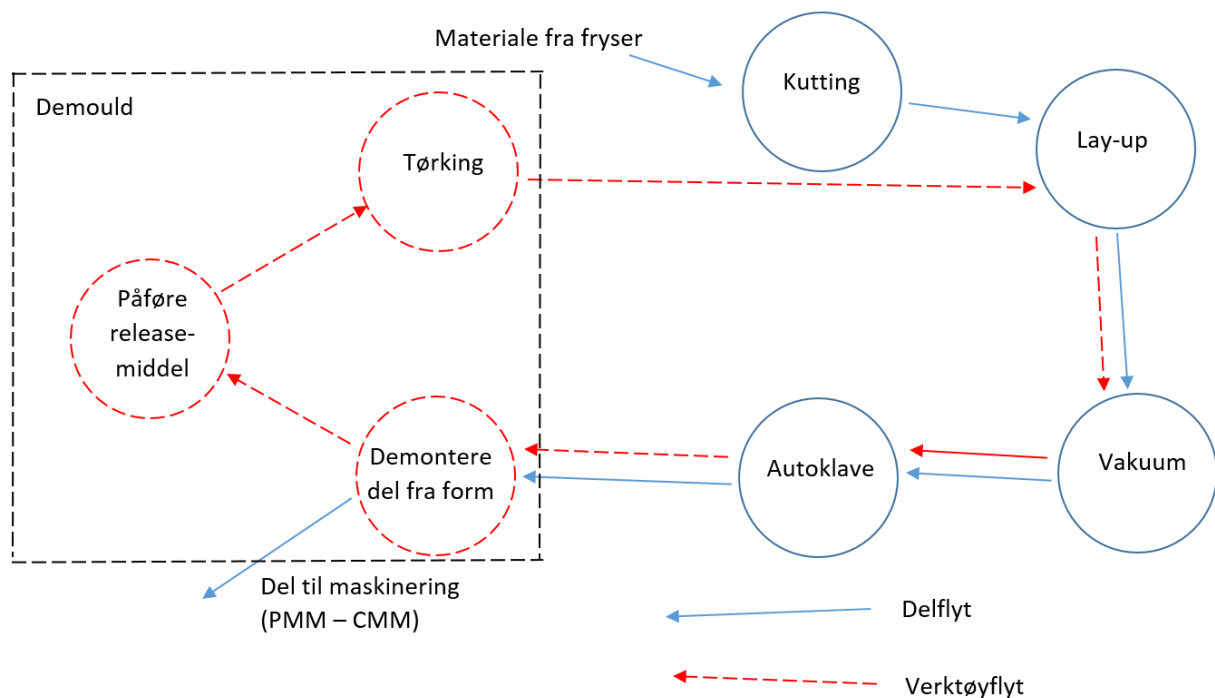


Figur 6 – Detaljnivå i planlegging

4.6. PRODUKSJONSPROSESSER

4.6.1. Produksjonsrute

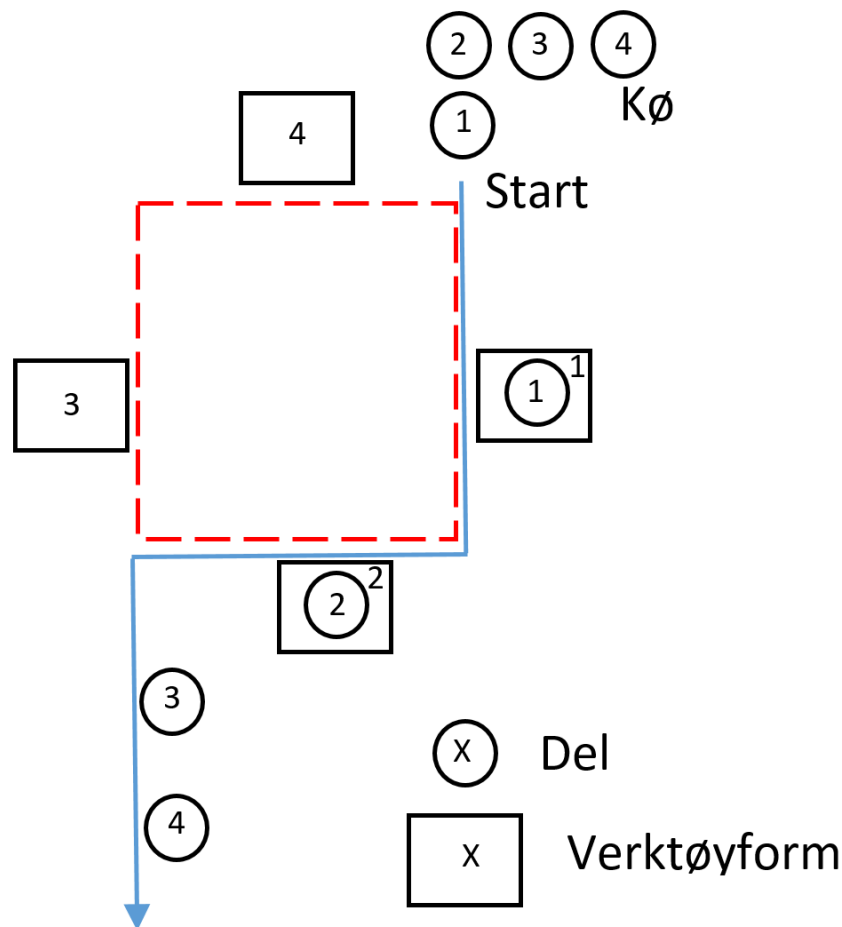
Aerostructures har som nevnt i introduksjonen utfordringer med planlegging av komposittproduksjonen. Figur 7 viser hvordan delflyt og verktøyflyt er avhengig av hverandre. I utgangspunktet hører én verktøyform til én spesifikk del. Man har 1-3 verktøyformer til hver deltype avhengig av hvor mange som skal produseres av de ulike delene. Disse verktøyformene er dyre i tillegg til at de opptar mye plass i produksjonen, så det er ikke ønskelig å ha flere verktøyformer enn nødvendig. Delkapittelet vil videre presentere de ulike prosessene som inngår i produksjonsruten til en «vanlig» komposittdel. Her er det viktig å huske at denne ruten er en forenklet og generell rute. I realiteten vil noen deler hoppe over noen steg mens andre deler går tilbake igjen og gjennomfører steg på nytt. Det er for eksempel noen deler som skal flere ganger gjennom lay-up etter herding i autoklave, og andre som skal herdes flere ganger.



Figur 7 – Del og verktøyflyt i komposittproduksjonen, første del av produksjonsrute

Figur 8 illustrerer enkelt hvordan dette fungerer i praksis. Ut fra figuren ser vi at:

- Del 1 hører til verktøyform 1, og kan ikke brukes sammen med andre verktøyformer.
- Del 2 hører til verktøyform 2, osv.
- I det del og verktøyform skiller lag følger de hver sin rute videre.
- Del 1 kan ikke påbegynnes før verktøyform 1 er tilbake til start.
- Del 2 kan ikke påbegynnes før verktøyform 2 er tilbake til start, osv.



Figur 8 – Enkelt eksempel av samkjøring mellom verktøyform-rute og del-rute

Det skjer stadig at defekter, avvik eller problemer fører til stopp i produksjonsruten. Det ble dessverre ikke funnet noe statistikk på hvor ofte dette oppstår. Én av hovedgrunnene til stopp er at kontrollmålinger finner små avvik på toleransemål som gjør at kunden må inn å godkjenne at man får lov til å fortsette produksjonen av den aktuelle delen. Gjennom intervjuer kom det frem at prosessene stoppes ved feil hvor man forsøker å finne kilden til problemet.

Videre i kapitlet vil hver av prosessene beskrives i detalj. Det vil i tillegg bli oppgitt verdier som skal brukes til tegning av VSM. Det er her brukt verdier til to av de delene til LM som det produseres flest av, LM1 og LM2. I løpet av 2015 ble det produsert 91 stk. LM1 og 152 stk. LM2.

Fordi det er mange ulike deler som blir produsert har det blitt valgt ut to deler som følger den generelle produksjonsruten i størst mulig grad. Det er også valgt to deler som er produsert mange av slik at grunnlaget for beregning av tider blir mest mulig nøyaktig, da det er brukt gjennomsnittstider registrert i hver operasjon.

4.6.2. De ulike produksjonsprosessene

Kutting og lay-up:

Produksjonen av komposittdeleer starter ved at materialruller med «pre-preg» blir tatt ut av et fryselager, fordi holdbarheten til materialene øker ved nedfrysning. Materialrullene må tines i 24 timer før kuttingen kan starte. Når materialrullene blir levert fra leverandøren blir det også oppgitt hvor lang levetid materialene har igjen ved romtemperatur før de må brukes, noe som gjør at antall opptinger av rullene derfor vil holdes til et minimum.

Ved planlegging av produksjonen blir det ukentlig levert ut lister fra shop floor-planleggerne til kutting og lay-up, basert på overordnede planer for de ulike prosjektene. Det finnes to ulike «sett» med produkter, ett sett som leveres til LM og ett som leveres til NGC. Disse kalles shipset (SS), og 1 SS er alle produkter som leveres til ett og samme fly. Planleggingslistene som leveres til kutting og lay-up forteller hvilke deler som skal gjennom disse prosessene innen ei gitt uke uten at det tas hensyn til hvilke deler som skal kjøres sammen eller tidspunkt for kjøring i autoklaven for herding. Det er opp til lay-up-personell å legge opp ukeplanen for legging av lay-up, som prioriteres ut fra egne arbeidstimer.

Tendensen når det gjøres på denne måten er at lay-up-arbeidere tilpasser sine arbeidstider og ressurser uten å ha noen fast plan for hvordan å samtidig ta hensyn til hva som egner seg best ved kjøring av autoklavene. Dette kommer frem gjennom intervjuer utført i avdelingen, samt ved observasjoner. Det er altså lay-up som styrer autoklaven, og ikke omvendt, selv om autoklaven sannsynligvis er en mer kritisk prosess med tanke på kostnader på grunn av høyt energiforbruk.

Fra planleggerens side prioriteres det heller ikke alltid å ta hensyn til kjøringene i autoklaven. Det er spesielt to faktorer som bestemmer hvordan det planlegges: leveringsdato og ressursbruk. De mest kritiske delene med tanke på leveringsdato må prioriteres først, i tillegg til at de ulike prosessene bør ha konstant tilførsel av deler for at de ikke skal gå tom for arbeid. Det kommer videre frem gjennom intervjuer gjennomført i avdelingen at det fryktes at «riktig» jobb ikke prioriteres med oppstart i lay-up, noe som kan bli en utfordring ved høyere produksjonsvolum.

Prosjektene LM og NGC har egne personell, slik at en operatør som hører til NGC ikke kan legge LM-deler i lay-up uten opplæring, og omvendt. LM-personell kan derimot legge alle deler innenfor prosjektet LM i lay-up, det samme gjelder for NGC.

Tiden det tar å legge én del i lay-up varierer fra et par timer opp mot 12 timer.

Kutting:

C/T – Cycle Time LM1	120 min
C/T – Cycle Time LM2	45 min
C/O – Changeover	0
Oppetid	98%
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 8 – Kutting

Lay-up:

C/T – Cycle Time LM1	870 min (totalt inkl. mellomsteg)
C/T – Cycle Time LM2	240 min
C/O – Changeover	0
Oppetid	98%
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 9 – Lay-up

Kommentar: Det registreres ikke timer for kutting. Når én rull først er opptint skjærer man ut plies til mange deler samtidig, slik at tiden der tar per del er svært lav. Dette bidrar også til at C/O er neglisjerbar.

Ved Lay-up skal LM1 gjennom noen ekstra mellomsteg. Denne delen skal tre ganger gjennom lay-up. Etter de to første skal delen herdes i en ovn, men etter siste gangen i lay-up skal den herdes i autoklave som hører til den «standard» ruten for en komposittdel.

Autoklave:

Autoklaven fungerer som en stor ovn, og det er i denne prosessen at herding av komposittdelene utføres. Det er i dag tre store og én liten autoklave i avdelingen, hvor den lille ofte brukes til testing eller kjøring av små deler fra andre prosjekter enn LM og NGC.

Etter at lay-up er utført og vakuum-bag lagt på blir delene fraktet til kø til autoklave og koblet til vakuum for å unngå luftbobler. Gjenværende holdbarhet blir notert ned i følgemappa til hver del. Følgemappa er ei mappe som følger hver del gjennom produksjonen som inneholder artikkelnummer, tider, gjenværende materialholdbarhet etc.

Gjennom intervju kommer det frem at mellom lay-up og autoklave er flyten god på grunn av den korte levetiden på materialer og dermed strenge krav til omløpshastighet på verktøy. Når delene har ankommet autoklave-kø er det opp til operatørene i autoklaven å bestemme hvilke deler som skal kjøres til hvilket tidspunkt ut fra hvilke deler som ligger i kø, og fra hvilke deler som blir ferdige samme uke i lay-up. Av og til holder de igjen kjøringene for å prøve å få inn flere deler i kjøringene, avhengig av utløpstid på materialene. Det skjer ofte at planleggere fra de ulike prosjektene kommer innom og gir beskjed om deler som haster å få kjørt gjennom slik at man ikke alltid får fylt autoklavene til et tilfredsstillende nivå, noe som også fører til at det blir vanskelig å planlegge kjøringene. Den lille autoklaven brukes til en viss grad til denne typen kjøringene, men det er ikke alle delene som får plass her.

For komposittdelene som inngår i produktene som leveres til LM og NGC er det totalt 5 ulike kjøringene med forskjellige programmer, så man kan altså ikke kombinere fritt hvilke deler som kjøres sammen. 4 av kjøringene er LM-kjøringene mens den siste er NGC (vedlegg C). Ved at man ikke tar hensyn til autoklavekjøringene i planleggingen fører det til at det kommer et ujevnt antall deler av hver type fra lay-up, slik at man sjelden får fylt opp autoklaven. Det vil si at man for eksempel kjører alle fire LM-kjøringene én gang per uke med to deler på hver kjøring, i stedet for å kjøre to kjøringene med fire deler i hver kjøring, noe som er dårlig utnyttelse av autoklaven.

Fra intervjuer med en prosjektplanlegger kommer det også frem at:

- Autoklaven er en energikrevende prosess, men en sub-optimalisering på multiload ut over den som er nødvendig kan være uheldig for helheten. Dette spesielt med tanke på hva det vil innebære i bemanning for å få verktøyene til å supportere multiload. Multiload vil her si å kjøre flere deler i autoklaven samtidig for å utnytte kapasiteten bedre.
- Autoklaven er ikke en flaskehals før antall deler som lastes per herdeprogram er under et visst nivå. Med 4 autoklaver (3 store + 1 liten) er det verktøy og bemanning som vil begrense dette.
- For autoklaven er det gjort og jobbes fremdeles med flere forbedringer som tilsier at de skal klare kravene til multiload.

En autoklavekjøring inkludert inn- og utlasting tar 4-18 timer. Autoklaven står for omtrent 6% av kostnadene for produksjonstimer og 30% av maskintimekostnaden.

C/T – Cycle Time LM1	660 min
C/T – Cycle Time LM2	660 min
C/O – Changeover	180 min (90 min innlasting + 90 min utlasting)
Oppetid	96%
Tid tilgjengelig	168 timer/uke, 45 uker/år To stk. store autoklaver → 336 timer/uke Tre stk. store autoklaver → 504 timer/uke
Minutter tilgjengelig per uke	To autoklaver: 20 160 min Tre autoklaver: 30 240 min

Tabell 10 – Autoklave

Kommentar: Grunnen til at man også ser på tider for to store autoklaver er at den tredje nylig har blitt tatt i drift, og ikke var tilgjengelig ved starten på denne oppgaven.

Demould:

Etter at delene er kjørt i autoklaven blir de fraktet til området for demould. Selve utpakking og påføring av release-middel tar omtrent 1 time per verktøy. Påføring av release-middelet kan være skadelig å puste inn, derfor utføres dette på egne rom hvor operatører bruker maske. Her er kapasiteten maks 2 store deler, noe som gjør at det kanskje ikke vil være positivt for prosessen som helhet å fylle opp autoklavene fordi batchene som da kommer til demould vil bli større og ankomme med lengre mellomrom mellom hver batch.

Etter at release-middelet er påført må det tørke. Ved lufttørking tar dette 4 timer, ved ovnstørking tar det en halv time. Ovnskapasiteten er svært begrenset så man prøver så langt det lar seg gjøre å unngå å bruke ovnene til å tørke verktøy, men om det er noen deler som haster brukes ovn for å få verktøyene klare tidligere. Etter at tørking er ferdig fraktes verktøyet tilbake til lay-up og lagres her frem til det skal brukes på nytt.

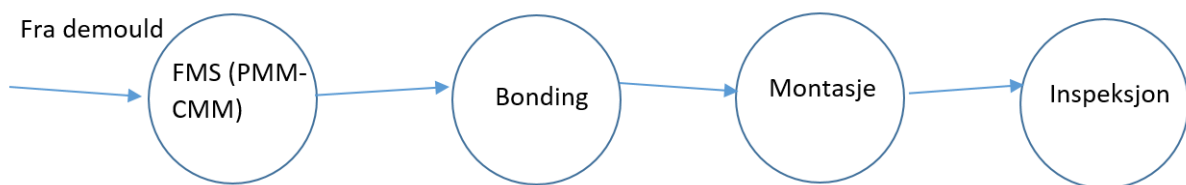
C/T – Cycle Time LM1	75 min
C/T – Cycle Time LM2	75 min
C/O – Changeover	-
Oppetid	-
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 11 – Demould

Kommentar: Det er ikke nødvendig å snakke om oppetid da det er en manuell prosess som bare krever operatører. Det er heller ingen C/O.

Maskinering og måling (FMS):

Etter demould blir delene lagret i hyller før de blir fraktet videre til maskinering og måling (PMM og CMM). Resten av produksjonsruten er illustrert i figur 9. Det er flere årsaker til at delene lagres i hyller etter demould, blant annet at autoklavekjøringene må ses over og godkjennes av produksjonsingeniører. Denne mellomagringen gjør at det oppstår et bufferlager mellom demould og maskinering som ikke har noen hensikt annet enn at de må vente på godkjenning for å kunne fraktes videre.



Figur 9 – Del og verktøyflyt i komposittproduksjonen, siste del av produksjonsrute

Etter at delene er godkjent blir de lagt i «Load Fastems». Det vil si at de blir spent opp på maskineringsverktøy og kjørt inn i Fastems' lagringshyller hvor de lagres mens de venter på å bli maskinert og målt.

C/T – Cycle Time LM1	235 min
C/T – Cycle Time LM2	180 min
C/O – Changeover	0
Oppetid	80%
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 12 – Maskinering og måling

Kommentar: C/O er tilnærmet 0, fordi det tar ikke mer enn et par minutter for Fastems å hente ut en del som allerede ligger inne på lager. Det som tar tid er oppspenning av delene, men dette utføres av operatører mens maskinen maskinerer andre deler.

Vi regner maskinering og måling i samme operasjon fordi dette utføres automatisk rett etter hverandre, det kreves dermed ingen ekstra C/O.

Overflatebehandling:

Overflatebehandling outsources enten til en annen avdeling innen samme bedrift eller til en ekstern bedrift. Det er bare et fåtall deler som må gjennom denne prosessen, og delene LM1 og LM2 er begge deler som ikke skal til overflatebehandling.

C/T – Cycle Time LM1	0
C/T – Cycle Time LM2	0
C/O – Changeover	-
Oppetid	N.A.
Tid tilgjengelig	-
Minutter tilgjengelig per uke	-

Tabell 13 – Overflatebehandling

Kommentar: Hverken LM1 eller LM2 er deler som skal til overflatebehandling.

Bonding og montasje

Etter maskinering og måling limes delene sammen i bonding, og ett shipset (SS) består av 4 produkter som skal leveres til LM, hvor to av dem er produktene «VLE» og «rudder» (én til hver ving). Ett VLE-produkt består av 6 inngående deler (til CTOL/STOVL), mens én rudder består av 14 inngående deler (CTOL/STOVL), mens de resterende delene brukes til CV.

Et problem som oppstår i denne prosessen er at det ofte oppstår forsinkelser på noen av delene tidligere i produksjonen slik at man ikke har de riktige delene klare før montasje og bonding, og man kan ikke starte denne prosessen uten at samtlige deler til ett produkt er klare.

Etter montasje og bonding er det kun kontroll/inspeksjon som gjenstår.

C/T – Cycle Time LM1	210 min
C/T – Cycle Time LM2	90 min
C/O – Changeover	0
Oppetid	-
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 14 – Montasje og bonding

Kommentar: Dette er manuelle prosesser som ikke krever noen C/O. Vi neglisjerer dermed også oppetid.

Kontroll/inspeksjon:

C/T – Cycle Time LM1	90 min
C/T – Cycle Time LM2	60 min
C/O – Changeover	0
Oppetid	-
Tid tilgjengelig	37,5 timer/uke, 45 uker/år
Minutter tilgjengelig per uke	2250 min

Tabell 15 - Kontroll

Kommentar: Dette er manuelle prosesser som ikke krever noen C/O. Vi neglisjerer dermed også oppetid.

4.6.3. Fleksibilitet i produksjonssystemet

Produksjonssystemet til Aerostructures er til en viss grad fleksibelt, spesielt når det gjelder komposittprodukter. Kuttmaskinen i kutting kan kutte hvilke som helst former basert på programmering. I lay-up er man derimot ikke fleksibel i det hele tatt da man trenger ei spesifikk verktøyform for hver del. Ei verktøyform er dyr, tar opp plass og tar lang tid å bestille. Operatører er fleksible innenfor sine prosjekter, men en operatør som legger LM-deler kan ikke legge deler til andre prosjekter, for eksempel NGC-deler.

Autoklavene er fleksible da hvilke som helst produkter som skal herdes kan herdes her. Det eneste som varierer er programmene som brukes, som bestemmer temperatur, trykk og tid brukt i prosessen. En begrensning er også størrelsen på autoklavene, men da disse er relativt store bør de fleste deler få plass her.

I demould er det unødvendig å diskutere fleksibilitet da det ikke brukes noe utstyr, og alle operatørene kan utføre demould på alle komposittdeler.

FMS består av både maskinering og måling. Begge disse prosessene er relativt fleksible. Begrensningen er programmene som brukes på de ulike delene. Skal det produseres en ny type del må et nytt program lages både for maskinering og for måling, noe som tar tid.

Det varierer en del på hvordan de to siste prosessene utføres ut fra hvilke deler og produkter som produseres, men både bonding, montasje og inspeksjon kan ses på som fleksible prosesser hvor operatører utfører alt arbeidet manuelt.

Operatører er utdannet og opplært innenfor hver sine arbeidsprosesser, slik at operatører ikke er fleksible og kan veksle mellom de ulike arbeidsprosessene, for eksempel ved sykdom. Alle operatører er utdannet med minst fagbrev, og utdanningsnivået er generelt høyt både på ledelses- og «shop-floor» -nivå.

Konklusjonen er at produksjonssystemet kan produsere mange ulike produkter innenfor kompositt, og innenfor samme produktfamilie, men ut over dette er de ikke i stand til å takle store endringer, og i vertfall ikke på kort tid. Det er i hovedsak på grunn av at alle ulike deler må ha egne verktøyformer. I tillegg må nye programmer i autoklave og FMS utarbeides noe som også er tidkrevende. På en annen side vet man at denne type produksjon planlegges lenge i forveien slik at det er mulig å omstille seg, kjøpe inn verktøy og utarbeide nye programmer innenfor tiden kundene forventer.

4.7. PRODUKSJONSPANLEGGING

De ulike prosjektene, i denne oppgaven LM og NGC, har egne planleggere som legger hovedplaner basert på leveringsdato. Disse legges inn i ERP-LN. Shop-floor-planleggerne henter ut disse og lager produksjonsplan for lay-up for hver uke. Det er totalt fem ulike prosjekter, hvor NGC og LM er de to største. Videre i produksjonen planlegges hverken autoklavekjøringer eller demould, men disse utføres «når det passer», og hver avdeling tar fortløpende vurderinger på hvilke jobber som bør utføres når, ut fra når delene er ferdige i lay-up. Her kommer taus kunnskap og erfaring inn i bildet, og dette er kunnskap avdelingen er avhengig av. Etter flere år med planlegging og samarbeid har operatører opparbeidet seg mye erfaring som gjør at de kan planlegge fortløpende på kort sikt.

Etter demould blir delene lastet inn i FMS-lageret, før de maskineres og måles. Deretter skal delene til manuell kontroll. Alle disse stegene planlegges av verkstedplanleggerne ukentlig, mens re-planlegging utføres daglig i Excel.

Gjennom intervjuer med shop-floor-planleggerne i avdelingen kommer det frem at ERP-systemet egner seg til å bruke for planlegging av lay-up, og det er i utgangspunktet enkelt å planlegge slik at delene starter i riktig rekkefølge til riktig tid. Videre kommer det frem at store mengder re-planlegging må til fordi det er avvik som gjør at man ikke kan følge planene som i utgangspunktet blir laget i ERP. Denne re-planleggingen får man ikke utført i ERP-systemet på en tilfredsstillende måte på grunn av begrensninger i ERP-LM, og derfor lages det shopfloor-rapporter i Excel for re-planleggingen. Re-planlegging utføres, sitert fra intervju, «hele tiden, hver dag». Det kom også frem at mye tid brukes av planleggerne til å løpe rundt i produksjonen for å lete etter deler, se hvor ting befinner seg, og se hvilke og hvor mange deler som ligger hvor. Dette oppstår spesielt ved lay-up, autoklave, FMS, og bonding og montasje. Disse stedene er merket som «go-see scheduling» i «current state» VSM.

Det påpekes i et intervju fra en prosjektingeniør at dette sannsynligvis har mer med arbeidsrutiner og en stor mengde WIP å gjøre, enn begrensninger i ERP-LM.

Når et avvik oppstår kan ikke avdelingen fikse problemene selv, men avvikene må først godkjennes av kundene på grunn av svært strenge krav angående kvalitet og toleranser. Dette kan ta opptil flere uker, og gjør at verktøyformene som delene ligger fastspent på ikke kan brukes til andre deler i mellomtiden. Dette gjelder til og med ved gjentakende feil. Det jobbes per i dag med å få utarbeidet standard prosedyrer for avvik i fremtiden. Konsekvensene av dette er at man får lange stopp i verktøyflyten, noe som bidrar til at man ikke har riktige deler tilgjengelig når de ferdige produktene skal settes sammen i bonding og montasje.

Det ble videre undersøkt hva som prioriteres først ved oppstart av produksjon av deler. Det kommer da frem, som nevnt tidligere, at det er to ting som spiller inn; leveringsdato og ressurser. Leveringsdato prioriteres i utgangspunktet først, men det forsøkes også å planlegge slik at de ulike arbeidsstasjonene hele tiden har arbeid. Dette gjelder spesielt for montasje og bonding, da disse har størst problemer med at riktige deler hele tiden må være tilgjengelig.

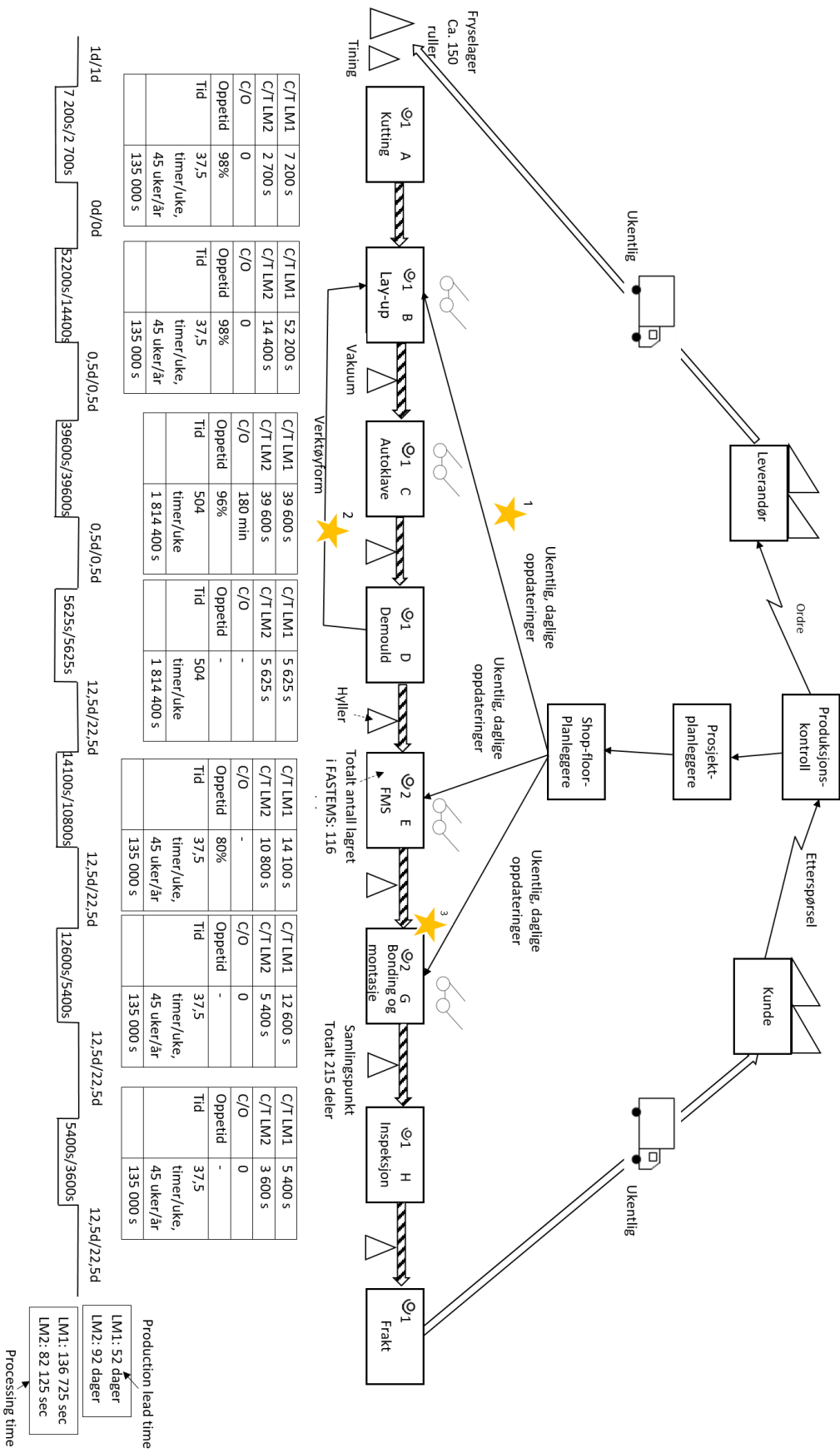
Hovedtendensen gjennom de ulike stegene i produksjonen, er at verkstedplanleggerne planlegger ukentlig, og legger detaljplanleggingen over på de ulike produksjonscellene. Dette fører til en push-

tendens i produksjonen da de ulike arbeidsstasjonene er opptatt av å bli ferdige og få sendt delene videre så fort som mulig.

Når det gjelder langtidsplaner ved avdelingen vet man hva som skal produseres i minst ett år frem i tid.

4.8. AS-IS VSM

Dette delkapittelet presenterer en «As-is», eller en «current state» Value Stream Map, samt forklaringer og antakelser som er gjort i modellen (figur 10).



Figur 10 – Nåværende «current state» Value Stream Map for LM-deler ved Kongsberg Aerostructures



Problemområde

Resten av tegnbruken er brukt konsekvent fra Rother og Shook (1999).

Problemområde 1: Planlegging av lay-up

Se også Kapittel 4.7. Lay-up planlegges av shopfloor-planlegger ukentlig, uten at det tas hensyn til kapasitet eller produksjonsvolum i autoklaver. Dette fører til at lay-up produserer «slik det passer dem best», noe som fører til push-produksjon.

Problemområde 2: Verktøyform-rute

Se også Kapittel 4.6. Produksjon av deler er avhengig av ledige verktøyformer for å kunne starte. Verktøy er både dyre og opptar mye plass, derfor har man ikke flere enn absolutt nødvendig. Kapasiteten i demould er også begrenset da de har et lite område for påføring av release-middel tilgjengelig. Ett av de største problemene er likevel at verktøyformene ikke kan separeres fra en del ved små toleransavvik eller andre problemer før kunden har godkjent avvikene, noe som gjør at et verktøy kan være bundet i opptil flere uker. Dette bidrar til mye ikke-verdiskapende tid i produksjonen.

Problemområde 3: Bonding og montasje

Se også Kapittel 4.6. Disse to prosessene kan ikke starte før alle inngående delene i et produkt er tilgjengelig. Forsinkelser og avvik gjør at det ofte samles opp mange deler her, noe som bidrar til mye WIP og lange gjennomløpstider.

Kommentarer til modellen:

Figur 9 viser en forenklet «current state» VSM for komposittproduksjonen ved Aerostructures. Produksjonsruten er forenklet til en standard rute for LM-deler slik at modellen til en viss grad kan relateres til alle komposittdelene som produseres. I virkeligheten er produksjonsrutene ofte mer komplekse hvor noen deler har flere tilbakehopp da de skal flere ganger gjennom noen av prosessene. Modellen er i hovedsak utarbeidet ved et bedriftsbesøk, men da tiden var knapp hadde man ikke tid til å følge en del gjennom hele produksjonen slik det er anbefalt (Rother and Shook, 1999). Tidene er hentet ut fra datasystemene til avdelingen. Intervjuer og samtaler med veileder ved avdelingen var også sentralt under utarbeidelse av modellen.

Det er tatt utgangspunkt i to deler, kalt LM1 og LM2. Grunnen til at akkurat disse er valgt er at de i størst mulig grad følger «standard» produksjonsrute som er vist i VSM. Det er også tatt med to deler fordi det i større grad illustrerer at tidene kan variere selv om de tilhører samme produktfamilie.

Det brukes gjennomsnittstider ved de ulike arbeidsstasjonene, og i virkeligheten er det stor variasjon i disse tidene. Gjennomsnittstidene er regnet ut fra alle delene av LM1 og LM2 som er produsert i 2015, hvor det ble produsert 91 stk. LM1 og 152 stk. LM2.

Det antas at frakt til kunde skjer ukentlig, i virkeligheten vil dette variere. Det samme gjelder for mottak av råvarer.

På grunn av kort levetid på materialene og verktøytilgjengelighet før herding kan man anta at ventetidene stemmer godt overens med virkeligheten. Etter herding i autoklavene er det stor

variasjon på hvor lenge deler venter mellom hver prosess, men et mål som er oppgitt fra avdelingen selv er at de skal ligge i maks 7 dager mellom hver arbeidsprosess nedstrøms demould. I realiteten ble det funnet ut at LM1 nå venter i snitt 12,5 dager og LM2 22,5 dager mellom de fire arbeidsstasjonene nedstrøms demould, men nøyaktige tider er var ikke mulig å få tak i.

Man ser tydelig av modellen hvor lite av total gjennomløpstið som er verdiskapende tid.

LM1 har andel verdiskapende tid:

$$LM1 = \frac{136\,725 \text{ sek}}{52d * 24t * 60 \text{ min} * 60\text{sek}} = 0,030$$

Som tilsvarer bare 3,0% av total gjennomløpstið.

LM2 har andel verdiskapende tid

$$LM2 = \frac{82\,125 \text{ sek}}{92d * 24t * 60 \text{ min} * 60\text{sek}} = 0,010$$

Som tilsvarer bare 1,0% av total gjennomløpstið.

I modellen er det valgt å illustrere oppetid/kjøretid ukentlig da det er noen prosesser som kjører 7 dager i uka, mens andre kjører 5 dager i uka.

4.9. OPPSUMMERING AV NØKKELDATA FOR KOMPOSITTPRODUKSJONEN VED KONGSBERG AEROSTRUCTURES

<u>Generelt</u>	Marked	Forsvarsmarked
	Konkurrenter	Andre partnerland i F35-programmet
	Kunder, «first tier» Kunder, «second tier»	Lockheed Martin (LM) Northrop Grumman Corporation (NGC)
<u>Strategi</u>	Ordrevinnende faktorer	Kvalitet, leveringsdyktighet
	Ordrekvalifiserende faktorer	Pris
	Outsourcing	Kun overflatebehandling
<u>Produkter</u>	Deler til antall fly per år (2015)	60
	Deler til antall fly per år (2022)	152
	Antall leveringsprodukter	41
	Antall inngående deler	71
	Antall inngående deler til CTOL/CV	34
	Totalt antall deler produsert (2015)	3900
	Totalt antall deler produsert etter oppramping (2022)	7000
	Antall verktøyformer per del	1-3
<u>Produksjonskarakteristikk</u>	Type produksjon	«Repeat Business Customizer» (RBC)
	Kundeordrens dekoblingspunkt	MTO
	Gjennomløpstider	Ustabile
<u>Produksjonsplanlegging</u>	Shop-floor planleggingsfrekvens	Ukentlig
	Shop-floor re-planlegging	Daglig
	Planleggingsverktøy	ERP-LN og Excel (re-planlegging)
	Grad av «go-see scheduling»	Høy
<u>Operatører</u>	Utdanningsnivå	Høyt
	Anvendelse av taus kunnskap	Stor grad

Tabell 16 – Oppsummering av nøkkeldata for komposittproduksjonen ved Kongsberg Aerostructures

5. LØSNING OG DISKUSJON

Dette kapitlet inneholder et forslag til løsning på oppgavemålene og forskningsspørsmålene. Ett av de viktigste fokusområdene har vært å foreslå løsninger som bidrar til redusert gjennomløpstid, redusert WIP, og forbedring av material- og verktøyformflyt. Resultatene er basert på observasjoner ved Kongsberg Aerostructures, intervjuer, samt litteraturstudiet.

5.1. IDEELT PRODUKSJONSSYSTEM FOR VERKTØYAVHENGIG KOMPOSITTPRODUKSJON GJENNOM VSM

Oppgavemål 1 er som følger:

«Utvikle et ideelt produksjonssystem for en MTO komposittproduksjon avhengig av to ulike produksjonsruter som må samkjøres (del-rute og verktøyform-rute) gjennom en «future state» VSM».

Dette delkapitlet presenterer en fremtidig – «future state» – value stream map for produksjonen av LM-deler i produksjonen til Kongsberg Aerostructures. I tillegg til modellen beskrives og begrunnes alle endringer som er gjort fra «current state» value-stream-map. Figur 12 side 65 viser alle endringene i VSM som forklares i dette delkapitlet.

Ved tegning av modellen brukes de 7 retningslinjene (designelementene) utarbeidet av Rother og Shook presentert i kapittel 3.6. Retningslinje 8 som går på prosessforbedringer vil ikke bli vurdert da det går utenfor rammeverket til denne oppgaven.

Retningslinje 1: Produser til takt tid.

Takt tid synkroniserer hastigheten av produksjonen for å matche hastigheten av salg (Rother and Shook, 1999). Formelen for takt tid kan skrives som:

$$\text{takt tid} = \frac{\text{tilgjengelig arbeidstid per skift}}{\text{kundeetterspørsel per skift}}$$

Først må man finne ut hvor stor kundeetterspørselen er per skift, eller per dag.

$$\text{Etterspørsel} = \frac{7020 \text{ deler per år}}{45 \text{ uker} * 5 \text{ dager per uke}} = 31,2 \text{ deler per dag}$$

Altså rundt 31 deler.

For Aerostructures gir det takt tid:

$$\text{takt tid} = \frac{27\,000s}{31 \text{ deler}} = 871 \frac{\text{sek}}{\text{del}}$$

Det vil si at takt tid er på 871 sekunder, eller omtrent 14,5 minutter, per del som skal produseres. Det er da regnet ut fra 7 020 deler per år (maks volum), 45 produksjonsuker per år, 5 dager i uken, 7,5 timers skift. Avdelingen er derimot klar over at denne takt-tiden er for lav ut fra kapasitet og kjøretider i produksjonen, og det kan kjøres opp til tre skift per dag, altså 22,5 timer per døgn, som gir 81 000 sekunder tilgjengelig.

$$takt\ tid = \frac{81\ 000s}{31\ deler} = 2\ 613 \frac{sek}{del}$$

Noe som gir 2 613 sekunder per del, eller omtrent 43,5 minutter. Dette gir i tillegg 1,5 timer i buffertid som kan utnyttes ved stopp eller feil i produksjonen. Det er her også regnet ut for 5 arbeidsdager per uke, noe som gir ekstra buffertid i helgene ved stopp i produksjonen. Hvis det skulle oppstå flaskehals for fordi man ikke klarer å produsere til takt-tid må man utvide produksjonen til 24 timer per døgn og/eller gå helgeskift. Om dette ikke er tilstrekkelig må man vurdere flaskehalsstyring ved gjeldende prosesser og/eller utvide kapasiteten.

Hvis man sammenligner dette med total verdiskapende produksjonstid for LM1 og LM2 ser man at det trengs langt mer tid enn dette for å produsere én del med kun én produksjonslinje. Dette løses ved at man produserer flere deler parallelt, noe som gjør at man alltid vil ha en relativt stor andel WIP i produksjonen.

Hver dag får man antall produserte deler:

$$deler\ per\ dag = \frac{22,5t * 60min}{43,5min} = 31 \frac{deler}{dag}$$

Takt tid brukes til å synkronisere hastigheten av produksjonen med hastigheten av salg, og spesielt ved pacemaker-prosessen (Rother and Shook, 1999). Det kan ses på som et referansetall som gir en indikasjon på hastigheten av produksjonen. At takt tid er mye lavere enn syklustid for flere av prosessene løses i praksis gjennom flere arbeidere i lay-up, multiload i autoklaver, flere bearbeidingsmaskiner i FMS, og flere arbeidere i montasjen.

På grunn av store variasjoner i gjennomløpstider, både for ulike deler og for like deler, kan det bidra til at det blir utfordrende å produsere til takt-tid. Før dette skal bli mulig må problemer med avvik og stopp i produksjonen elimineres, og man må få et stabilt produksjonsmiljø.

Retningslinje 2: Utvikle kontinuerlig flyt der det er mulig.

Kontinuerlig flyt vil si å produsere én del av gangen, hvor hver del umiddelbart blir fraktet videre fra ett prosesssteg til det neste uten stopp imellom (Rother and Shook, 1999). Kontinuerlig flyt er den mest effektive måten å produsere på, og man bør prøve å tenke kreativt for å klare å oppnå det.

For Aerostructures kan man implementere kontinuerlig flyt fra kutting til lay-up, fra bonding og montasje til inspeksjon, og fra inspeksjon til frakt, da det ikke er noen grunn til at deler skal vente mellom disse prosessene. Mellom lay-up og autoklave kan man ikke implementere kontinuerlig flyt fordi man er avhengig av å samle opp deler som kan kjøres sammen i autoklavene for å utnytte denne ressursen på en god måte. Videre bør det implementeres kontinuerlig flyt mellom autoklave og demould. Det er viktig at verktøyformene raskt blir klare til å brukes på nytt, det vil derfor være en stor fordel med kontinuerlig flyt mellom disse prosessene for å unngå opphoping av WIP i form av både deler og verktøyformer.

Etter autoklaven er det et krav at kjøringene skal godkjennes av produksjonsingeniører, det vil derfor være vanskelig å implementere kontinuerlig flyt etter demould. I dag legges delene i hyller etter demould mens de venter på godkjenning. Før bonding og montasje har man et samlingspunkt hvor

alle deler innen et produkt må være tilgjengelig før prosessen kan starte, det er dermed ikke egnet for kontinuerlig flyt i dette området. Etter bonding og montasje fjerner vi samlingspunktet for deler og implementerer kontinuerlig flyt, da dette mellomlageret ikke har noen praktisk betydning.

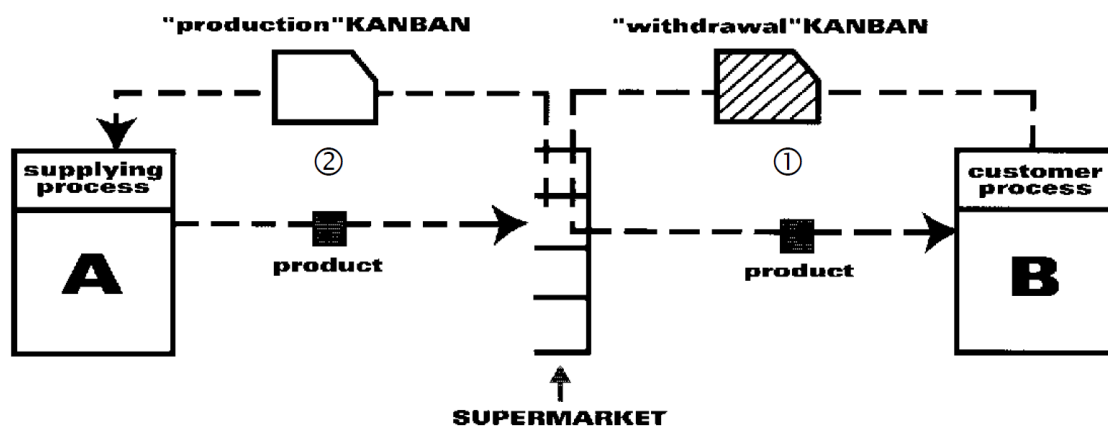
Kontinuerlig flyt illustreres enkelt gjennom prosessbokser – hver prosessboks illustrerer et område med kontinuerlig flyt, bokser kan dermed slås sammen. Da vil også gjennomløpstider og nedetider slås sammen.

Rother og Shook (1999) foreslår å starte med en kombinasjon av pull/FIFO (first-in-first-out), for deretter å utvide graden av kontinuerlig flyt etter hvert som prosessrelabilitetene forbedres, og omstillingstidene reduseres til nærmere null (Rother and Shook, 1999). For Aerostructures, som kun har omstillingstid i autoklaver, og gode prosessrelabiliteter, kan de gå direkte til kontinuerlig flyt ved nevnte prosesser.

Retningslinje 3: Bruk «supermarkets» til å kontrollere produksjonen hvor kontinuerlig flyt ikke forlenges oppstrøms.

I stedet for å uavhengig planlegge hver enkelt produksjonsprosess bør man kontrollere produksjonsprosessene ved å linke dem til deres nedstrøms prosess, som regel gjennom et «supermarket pull-system» (Rother and Shook, 1999). Det vil si, installer pull-systemer der kontinuerlig flyt blir forstyrret, mens oppstrøms-prosessen fortsatt må operere med partier (batch).

Figur 11 viser hvordan et «supermarket pull-system» fungerer (Rother and Shook, 1999).



Figur 11 – Supermarket pull-system (Rother and Shook, 1999)

- (1) Kundeprosessen henter det som trengs når det trengs fra «supermarket».
- (2) Leveranseprosessen (supplying process) produserer for å erstatte det som har blitt hentet av kundeprosessen.

Hensikten med «supermarkets» er å kontrollere leveringsprosessen uten behov for å planlegge (Rother and Shook, 1999). Man kan dermed gi nøyaktige produksjonsinstruksjoner til oppstrømsprosessene uten å prøve å spå nedstrømsetterspørselen. Det er en metode som kontrollerer produksjonsflyten, i stedet for å planlegge hver prosess hver for seg, noe som er en tendens ved avdelingen i dag. Det er nå nedstrømsprosessen som ved å hente en del fra et «supermarket» som bestemmer hva oppstrømsprosessen skal produsere, og når.

«Supermarket pull-systemer» kan innføres før kutting og lay-up, mellom prosessene lay-up og autoklave, og mellom demould og FMS. På denne måten kan man produsere etter pull-prinsippet mellom disse prosessene.

Det første «supermarket» erstatter lageret med materialruller. Avdelingen kan feste et «withdrawal-kanban» -kort til hver materialrull, og når en rull er brukt opp sendes dette kortet til «produksjonskontroll» som bestiller nye materialruller fra leverandøren. På denne måten kan materialruller bestilles basert på faktisk forbruk av materialer i stedet for å bruke MRP. Det er ingen grunn til å endre på leveringsfrekvensen av materialruller da det tar ei stund for disse brukes opp. Merk at man sannsynligvis alltid må ha minst én ekstra materialrull av hver type for at man ikke skal bli fri for én type materialruller. Hvor mange materialruller ekstra man trenger av hver type må vurderes ut fra forbruk av de ulike materialrulle samt leveringstid fra leverandører.

Før kutting og lay-up finner vi enda et mellomlager, hvor opptining av materialruller foregår. Dette er et mellomlager som dermed har en viktig funksjon som dermed ikke kan fjernes. I dag fungerer det uproblematisk ved avdelingen å ha dette mellomlageret, det blir dermed ikke endret i «future state» VSM.

Ved å benytte seg av «supermarket» mellom lay-up og autoklave kan man dele det inn i ulike soner, hvor hver sone hører til én spesifikk kjøring, altså én sone med deler som tilhører hvert kjøreprogram. Maks grense settes til målsetningen om antall deler som skal kjøres i hver kjøring. Dvs. at for sone «2020» er maks grense 12 deler, og for sone «2011» er maks grense 4 deler (vedlegg C). Før produksjonsvolumet har økt til maks vil man slite med å oppnå så mange deler som dette før utløpstiden på materialer går ut. Da må man starte kjøringene før sonene er fylt opp.

«Supermarkets» bør plasseres nærme leveranseprosessen for å hjelpe prosessen med å få et visuelt bilde av forbruket fra kundeprosessen. På den måten ser leveranseprosessen enkelt hva som må forsynes. Det vil si at det andre «supermarket» bør plasseres nærme lay-up som leverer deler til autoklave, og det tredje bør plasseres ved demould som leverer deler til FMS.

Man kan eventuelt bruke FIFO mellom to frakoblede prosesser for å erstatte et «supermarket» og dermed opprettholde flyten mellom dem. Når FIFO-lageret blir fullt, må leveringsprosessen stoppe opp produksjonen til kundeprosessen har brukt noe av lageret. På denne måten vil FIFO-lageret hindre leveringsprosessen fra å overprodusere, selv om prosessene ikke er linket sammen gjennom kontinuerlig flyt.

På grunn av problemområde 3 før bonding og montasje innføres det her et sikkerhetslager (fungerer på samme måte som et «supermarket» (Rother and Shook, 1999)) for å demme opp for forsinkelser på enkelte deler. Dette vil føre til WIP i systemet, men på grunn av problemene som er erfart tidligere er man avhengig av en form for buffer slik at man får tilført arbeid til prosessen bonding og montasje. Her må man forhåndsdefinere hvor mange deler som skal tillates. Det anbefales å ha så få deler som mulig for å begrense WIP, samtidig som man klarer å demme opp for stopp og variasjon i produksjonen oppstrøms. En mulighet kan være ei maksgrense på 2 deler for deler som det produseres flere av enn 1 stk. per uke, og maks 1 del for deler som produseres med et færre volum enn det. Deretter kan grensene justeres ut fra erfaringer underveis.

Maks antall deler som vil befinne seg ved dette sikkerhetslageret blir da:

- 34 stk. runners*2 = 68 deler (vedlegg B)
- 37 stk. strangers = 37 deler
- Totalt 68+37 = 105 deler

Dette er en stor nedgang fra samlingspunktet som er der i dag, hvor det ble registrert 215 deler ved bedriftsbesøket. Merk også at man nå planlegger for dobbelt så høyt produksjonsvolum enn det som produseres i dag.

Dette pullsystemet fungerer slik at det trigges når pacemaker-prosessen forbruker en del. Et signal fra sikkerhetslageret før bonding og montasje (altså pacemaker-prosessen, se retningslinje 4) vil fortelle FMS at de må produsere en ny del som akkurat ble forbrukt i pacemaker-prosessen. FMS vil da benytte «pull» ved å hente ut deler fra «supermarket» før denne prosessen, som videre sender signal til autoklave og demould med instruksjoner om å erstatte forbrukt del. På samme måte vil autoklave forbruke fra «supermarket» før denne prosessen, som samtidig sender signal til kutting og lay-up om å erstatte delene. Ved å bruke denne metoden slipper man også «go-see scheduling» da produksjonen skal gå mest mulig «av seg selv», uten behov for like mye planlegging på forhånd.

Ideelt sett burde man innføre kontinuerlig flyt så mange steder i produksjonsruten som mulig, men på grunn av begrensninger og krav i produksjonen til Aerostructures er det vanskelig, eller bortimot umulig, å skulle innføre kontinuerlig flyt flere steder enn de som er foreslått. Det velges dermed «supermarket pull-systemer», som gir bedre flyt enn MRP-planlegging.

For at det ikke skal oppstå for mye WIP i «supermarkets» må man også her innføre en maksimumsgrense på antall deler som kan oppbevares her til enhver tid. Nåværende mål for avdelingen er at deler ikke skal ligge i mer enn 7 dager mellom hver prosess, så det er viktig å begrense størrelsen på «supermarkets» slik at deler ikke blir liggende lengre enn 7 dager.

Retningslinje 4: Prøv å send produksjonsplanen til bare én produksjonsprosess.

Denne ene prosessen kalles *pacemaker-prosessen* og bestemmer hastigheten til hele produksjonen oppstrøms. Merk at materialer som føres fra pacemaker-prosessen nedstrøms til ferdigvarelager må være kontinuerlig flyt, ikke «supermarkets» eller pull (Rother and Shook, 1999). På grunn av dette er ofte pacemaker-prosessen den lengst nedstrøms kontinuerlig flyt-prosessen i verdistrømmen. Denne prosessen kontrolleres av kundeordre.

For Aerostructures egner bonding og montasje seg som pacemaker-prosessen, da man kan implementere kontinuerlig flyt nedstrøms denne prosessen. Det vil si at produksjonen planlegges kun ut fra denne prosessen.

Retningslinje 5: Fordel produksjon av forskjellige produkter jevnt over tid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsmiksen).

Å utjevne produksjonsmiksen betyr å fordele produksjonen av forskjellige produkter jevnt over en tidsperiode (Rother and Shook, 1999). Desto mer man jevner ut produktmiksen ved pacemaker-prosessen desto bedre rustet er man til å kunne respondere til forskjellige kundekrav med kort gjennomløpstid mens man samtidig opprettholder lite ferdigvarelager.

Kongsberg Aerostructures har allerede en jevn produksjonsmiks fra starten av produksjonsruten på grunn av begrensningene i verktøyformer. Produksjonsplanene er gitt for 12-24 måneder frem i tid og oppfyller kravene til utjevning av produksjonsmiks. Som nevnt av Womack (2003) bør utjevning utføres ved hver nedstrøms prosess for å oppnå «smooth» utnyttelse av ressursene. Dette er spesielt viktig hvor delte ressurser mater flere separate linjer, som er tilfellet for Aerostructures.

Retningslinje 6: Lag en «initial pull» ved å frigi og trekke fra små, konsistente deler av arbeid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsvolum).

Det er mange bedrifter som frigir for store partier av arbeid til «shop floor» -prosessene, noe som fører til flere problemer, som inkluderer (Rother and Shook, 1999):

- Vanskelig å definere takt tid og ikke noe pull som resten av produksjonen kan respondere til.
- Volum av arbeid vil typisk variere.
- Vanskelig å overvåke.
- Med store mengder arbeid frigitt til «shop floor» kan hver prosess blande ordre, som vil øke gjennomløpstider og behovet for å fremskynde ordre.

Produksjonen til Aerostructures har allerede et jevnt produksjonsvolum, på grunn av begrenset holdbarhet på materialer og begrenset tilgang på verktøyformer. Dette gjør at det allerede er umulig å starte produksjonen av for store partier da det uansett ikke er tilgjengelige verktøyformer ved starten av produksjonsruten.

Det kan likevel føre til problemer at arbeid blir frigitt bare én gang per uke, altså at produksjonsprosessene får én produksjonsplan per uke over deler som må produseres (Rother and Shook, 1999). Dette gjør det vanskelig å produsere til takt tid. Det forslås dermed å gå over til dag-til-dag planlegging da det vil gjøre det enklere å produsere til takt-tid. Andre fordeler det gir er økt grad av flyt og pull da «shop-floor» -planleggerne har et bedre bilde over hele produksjonssystemet enn operatører innen hver enkelt prosess. I dag utfører operatører innen hver produksjonsprosess planlegging av dag-til-dag operasjoner basert på en ukeplan fra «shop-floor» -planleggere, og denne planleggingen er basert på erfaring og taus kunnskap.

Retningslinje 7: Utvikle evnen til å lage «hver del hver dag (every product every ...)», EPE), i produksjonsprosessene oppstrøms pacemaker-prosessen.

Ved å korte ned omstillingstiden (C/O) og kjøre mindre partistørrelser oppstrøms vil de prosessene være i stand til å respondere raskere til endringer nedstrøms (Rother and Shook, 1999). Etter hvert kan det føre til at mindre lager blir holdt i «supermarkets». EPE beskriver hvor ofte en prosess kan endres til å produsere alle delvariasjoner.

For Aerostructures anbefales det ikke å forsøke å etterstrebe EPE, fordi det er så stor variasjon i hvilke produkter som skal produseres til hvilke tidspunkt. I tillegg er gjennomløpstidene så lange at det vil være vanskelig å produsere én av hver unik del så ofte som hver dag. Det anbefales heller å bare planlegge produksjonen daglig ved pacemaker-prosessen.

Oppsummering av tiltak i «future state» value stream map:

Retningslinje	Prinsipp	Tiltak
1	Takt tid	Produser til en takt tid på 2 613 sekunder (43,5 minutter) per del.
2	Kontinuerlig flyt	Implementer kontinuerlig flyt mellom prosessene: <ul style="list-style-type: none"> • Kutting og lay-up • Autoklave og demould • Bonding og montasje, og inspeksjon
3	«Supermarket»	Implementerer «supermarket» i stedet for lager før kutting og lay-up. Implementer også «supermarkets» mellom prosessene: <ul style="list-style-type: none"> • Lay-up og autoklave • Demould og FMS Implementer sikkerhetslager mellom prosessene: <ul style="list-style-type: none"> • FMS og bonding
4	Pacemaker-prosess	Benytt bonding og montasje som pacemaker
5	Utjevn produksjonsmiksen	Ingen, fordi produksjonsmiksen allerede er utjevnet pga. begrenset verktøyformtilgjengelighet.
6	Utjevn produksjonsvolum	Ingen, fordi det allerede er jevnet ut, også pga. begrenset verktøyformtilgjengelighet.
7	Every-product-every ...	Ingen, fordi det er for stor variasjon i hvilke deler og produkter som skal produseres, både til hvilke tidspunkter og hvor store mengder.

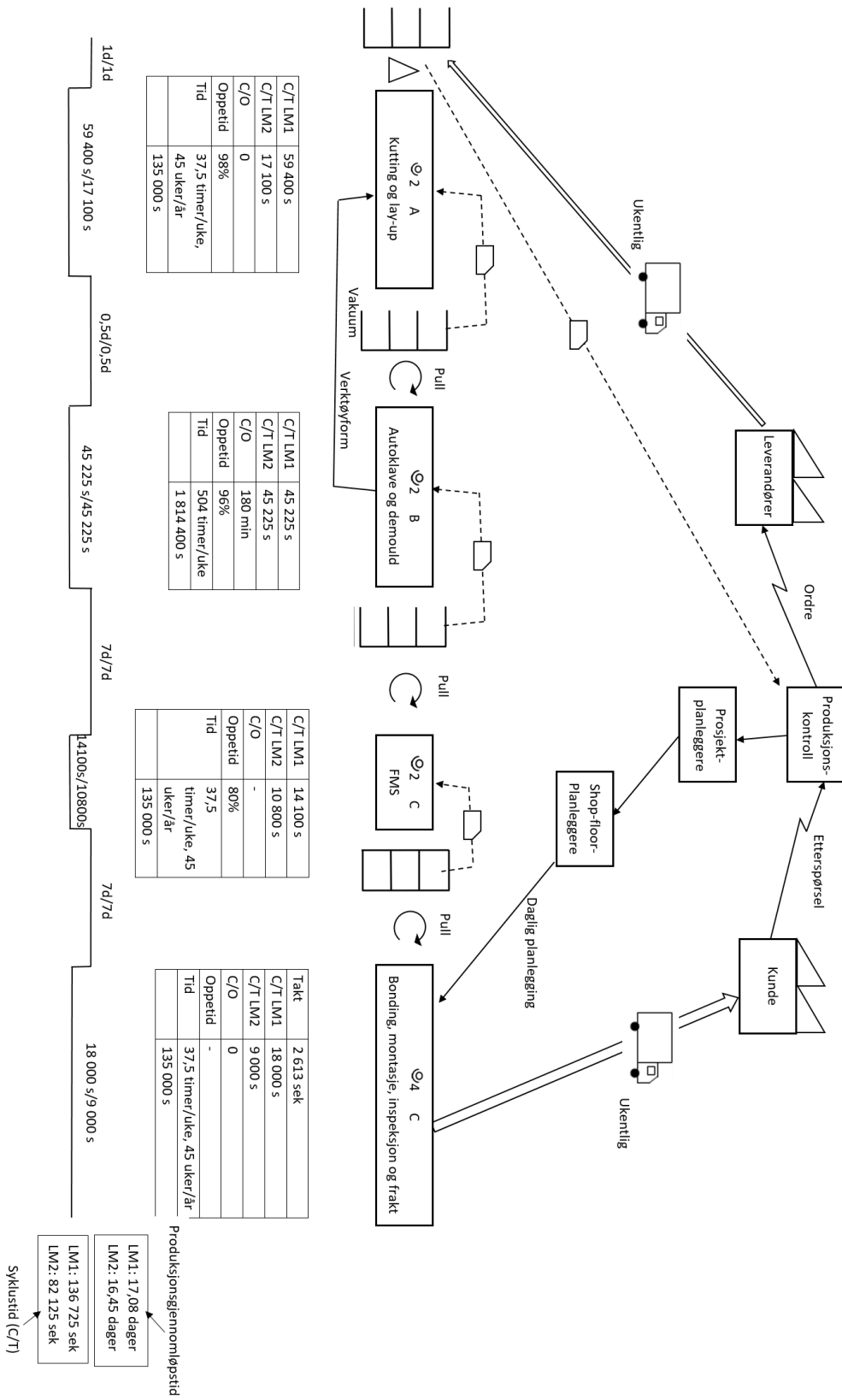
Tabell 17 – Oppsummering av tiltak i «future state» value-stream map

Oppsummering av tiltak for å løse fremhevede problemområder fra «current state» til «future state» value stream map:

Problemområde	Problem	Tiltak
1	Planlegging av lay-up	<ul style="list-style-type: none"> • Daglig planlegging av pacemaker-prosessen. • Lay-up blir dratt («pulled») ut fra behovet i autoklave.
2	Verktøyform-rute	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuerlig flyt mellom autoklave og demould reduserer ventetiden og WIP av verktøyformer før demould.
3	Bonding og montasje	<ul style="list-style-type: none"> • Innføres sikkerhetslager med et forhåndsbestemt maksimum og minimum antall deler før bonding og montasje.

Tabell 18 – Oppsummering av tiltak for å løse fremhevede problemområder i «future state» value-stream map

5.1.1. Future state value stream map



Figur 12 – “Future state” value stream map

Produksjonsgjennomløpstid blir nå:

$$\text{Gjennomløpstid LM1} = 15,50 d + 1,58 d = 17,08 d$$

$$\text{Gjennomløpstid LM2} = 15,50 d + 0,95 d = 16,45 d$$

Andel verdiskapende tid for LM1 blir nå:

$$LM1 = \frac{136\,725 \text{ sek}}{17,08d * 24t * 60 \text{ min} * 60 \text{ sek}} = 0,093$$

Som tilsvarer 9,3% verdiskapende tid.

Andel verdiskapende tid for LM2 blir nå:

$$LM2 = \frac{82\,125 \text{ sek}}{16,45 d * 24 t * 60 \text{ min} * 60 \text{ sek}} = 0,058$$

Som tilsvarer 5,8% av verdiskapende tid.

For LM1 har man økt andel verdiskapende tid fra 3,0% til 9,0% prosent fra «current state» til «future state» VSM.

På samme måte har man økt andel verdiskapende tid fra 1,0% til 5,8% for LM2.

5.2. LEAN-METODER SOM KAN BRUKES FOR Å OPTIMALISERE PRODUKSJONSEFFEKTIVITETEN

Oppgavemål 2 er som følger:

«Identifiser om lean-metodene VSM, JIT (pull produksjon), flaskehalsstyring, eller WLC er egnet til å forbedre produksjonen med tanke på redusert WIP, reduserte gjennomløpstider og forbedret flyt i en MTO komposittproduksjon som er avhengig av to ulike produksjonsruter som må samkjøres».

De påfølgende underkapitlene vil vurdere om lean-metodene som er presentert i kapittel 3 er egnet for anvendelse av avdelingen Kongsberg Aerostructures med tanke på blant annet forbedret materialflyt, reduserte og stabiliserte gjennomløpstider, og stabilisert og redusert WIP.

Hver metode vil vurderes kort opp mot litteraturstudiet og bedriftsstudiet for deretter å konkludere hva som egner seg for avdelingen og andre MTO-bedrifter med liknende karakteristikk, men konkrete løsninger for hvordan å forbedre produksjonen ved hjelp av disse metodene vil ikke bli presentert. Det vil likevel bli undersøkt hvor stor nytteverdi Aerostructures potensielt kan ha av disse metodene.

5.2.1. Value stream mapping

VSM er en lean styringsmetode med hensikt å analysere nåværende og designe en fremtidig tilstand som tar et produkt eller en tjeneste fra start til kunde, og metoden kan brukes til omtrent alle verdikjeder (Duggan, 2012). Navnet til metoden kommer av at den fokuserer på verdiskapende aktiviteter og skiller mellom verdiskapende og ikke-verdiskapende aktiviteter (Slack et al., 2010), (Arnold et al., 2011). I litteraturen blir VSM sett på av mange som et startpunkt for å oppdage svinn og samtidig finne årsaker til at svinn oppstår (Slack et al., 2010).

Gjennom bedriftsstudiet kom det frem at avdelingen Aerostructures har store utfordringer med at mye av tiden som går til produksjonen av deler er «ikke-verdiskapende». Derfor ble det laget en nåværende «current state» -VSM for å få tydelig frem hvor mye av tiden som var verdiskapende og ikke-verdiskapende. Resultatene var oppsiktsvekkende, og det ble dermed besluttet å prøve å forbedre denne modellen for å finne ut om det var mulig å øke andelen verdiskapende tid brukt i produksjonen. En «future state» VSM ble laget i kapittel 5.1, figur 12.

Etter utarbeidelse av «future state» VSM erfarte man at metoden fint kunne brukes til denne type produksjon, selv om det oppsto noen utfordringer underveis.

I tabell 19 vil anvendbarheten av de ulike retningslinjene (designelementene) for denne typen produksjon vurderes.

Retningslinje	Vurdering	Karakter
1 – Takt tid	På grunn av store variasjoner i gjennomløpstider, både for ulike deler og for like deler, kan det bidra til at det blir utfordrende å produsere til takt-tid. Før dette skal bli mulig må problemer med avvik og stopp i produksjonen elimineres, og man må få et stabilt produksjonsmiljø.	★
2 – Kontinuerlig flyt	Mellom noen prosesser er det mulig å innføre kontinuerlig flyt, mens mellom andre prosesser er det vanskelig. Dette er både fordi man foran noen prosesser er avhengig av bufferlager/sikkerhetslager, og fordi deler må vente mens de venter på godkjenning mellom andre prosesser.	★★
3 – «Supermarket»	Å innføre «supermarkets» hvor man ikke kan innføre kontinuerlig flyt er et godt alternativ for denne typen produksjon. Man kan på den måten kontrollere WIP på en bedre måte.	★★★
4 – Pacemaker-prosess	Å innføre en pacemaker-prosess vil være mulig i denne type produksjon, men på grunn av ustabile gjennomløpstider kan det tenkes at man uansett vil måtte re-planlegge produksjonsprosessene oppstrøms pacemaker-prosessen.	★★
5 – Utjevn produksjonsmiksen	Produksjonen ved Aerostructures er allerede utjevnet på grunn av begrenset tilgang til verktøyformer for de forskjellige delene.	★★★
6 – Utjevn produksjonsvolum	Produksjonsvolumet er allerede jevnt, på grunn av begrenset holdbarhet på materialer før herding, i tillegg til begrenset tilgang til verktøyformer.	★★★
7 – «Every product every ...»	På grunn av stor variasjon i hvilke produkter og deler som produseres til hvilke tidspunkt er det vanskelig å etterstrebe EPE. For at det skal være gunstig bør man kunne definere en fast produksjonssyklus for de ulike delene og produktene, men dette er ikke mulig for Aerostructures.	★
<u>Konklusjon</u>	Man kan konkludere med at VSM til en viss grad er anvendbart for denne typen produksjon. Retningslinjene 3, 5 og 6 er godt egnet, mens retningslinje 1 og 7 byr på store utfordringer. Retningslinje 2 og 4 byr også på utfordringer, men dette er utfordringer det er mulig å overkomme på sikt.	★★

Tabell 19 – Anvendbarhet av VSM

	Dårlig egnet
	Noe egnet
	Godt egnet

5.2.2. Just-in-time (pull)

Pull er en planleggingsmetodikk med stort fokus på å kontinuerlig forbedre prosesser gjennom å fjerne svinn/avfall. For Aerostructures er ikke svinn den største utfordringen, men heller det å kontrollere størrelsen på bufferlagre. Dette vil man kunne mestre på en bedre måte ved å bruke pull-produksjon hvis det er mulig, da det er en metode hvor det å ha riktig materiale til riktig tid er det viktigste prinsippet. Da snakker vi om en spesifikk JIT-produksjon på et lavt nivå, hvor fokuset ligger på å levere materiale til en produksjonsprosess «akkurat når det trengs», altså pull. Gjennom nøye planlegging og utbedring av produksjonen kan avdelingen ha stor nytte av å teste ut pull-produksjon med kontrollerte bufferlagre eller «supermarkets»

Det underliggende konseptet innen JIT er ikke å planlegge og generere produksjonsplaner på forhånd slik det gjøres i avdelingen i dag, men heller å reagere til sluttkundens ordre og produsere bare nøyaktig det som trengs for å tilfredsstille etterspørselen, og også akkurat når det trengs (Arnold et al., 2011). Avdelingen produserer i dag bare det de vet de skal levere, men de tar hensyn til ganske mange forsinkelser i produksjonen, noe som fører til unødvendige store lagre, både for ferdige produkter og bufferlagre mellom arbeidsstasjonene.

Kanban er som nevnt i litteraturstudiet en viktig del av JIT-produksjon (Arnold et al., 2011), og dette er en metode som burde bli forsket nærmere på til bruk for avdelingen. Det er fordi kanban er en metode som er utviklet for å redusere svinn, WIP, bufferlager og ferdigvarelager, noe som er svært relevant for avdelingen. Om det skal innføres kanban i dette produksjonsmiljøet kreves det at produksjonen er stabil og forutsigbar. Gjennom bedriftsstudiet fant man ut av avdelingen har problemer med forsinkelser, feil og avvik i produksjonen, noe som gjør at kanban kan vise seg å bli vanskelig å innføre. Det kan likevel være en mulighet å innføre kanban mellom enkelte stabile prosesser, slik det er foreslått i «future state» VSM i kapittel 5.1.

5.2.3. Flaskehalsstyring

En flaskehals, eller en kritisk ressurs (CCR), kjennetegnes av at den begrenser gjennomstrømmingen, for eksempel av deler, i en produksjon (Businessdictionary.com, 2016a). Det finnes flere ulike metoder innen flaskehalsstyring, det er i denne oppgaven blitt sett på DBR, SDBR og TOC. Ved hjelp av flaskehalsstyring kan man redusere gjennomløpstider og forbedre leveringspresisjon, og det er i litteraturstudiet spesielt blitt fokusert på MTO-bedrifter hvor leveringspresisjon er viktig.

For at disse metodene skal egne seg for avdelingen må man klare å definere tydelig hva som er flaskehalsen eller flaskehalsene i produksjonen. Dette viste seg å være svært vanskelig, da det er andre grunner til at produksjonen blir forsinket enn at noen ressurser går «tregere» enn andre. Ved oppstart av denne oppgaven kunne man argumentere for at autoklavene var en flaskehals, men etter at en ekstra autoklave kom i drift er ikke dette lengre et problem. Ved økt produksjonsvolum ser det heller ut til at demould eller FMS kan utvikle seg til en flaskehals i produksjonen. Demould kan bli en flaskehals fordi det er liten plass i lokalene som brukes til å påføre release-middel, men det er enkelt

å øke kapasiteten her ved behov. Her trengs kun mer plass og noen flere operatører, mens det vil være betydelig dyrere å utvide kapasiteten i FMS og autoklaver. Ut fra syklustider i «future state» VSM kan det se ut som at FMS kan bli en flaskehals etter opptrapping av produksjonsvolum, selv ved produksjon i flere maskiner parallelt.

Det er også viktig å være obs på at flere flaskehals kan eksistere innen et produksjonssystem, selv om det ikke er noen indikasjoner på at det finnes flere flaskehals i dette tilfellet.

I dag er WIP foran FMS, bonding, montasje og inspeksjon ukontrollert med store variasjoner. Om noen av disse ressursene viser seg å være en flaskehals burde den ha en buffer som er stor nok til å absorbere variasjon fra prosessene oppstrøms, men som heller ikke bør være høyere enn nødvendig. For å oppnå stabile gjennomløpstider er det viktig å kontrollere WIP før flaskehals. Dagens WIP-nivå i produksjonen gjør at det brukes mye tid på å prioritere arbeid, og deler bruker lang tid i kø før prosessene utføres. Dette illustreres gjennom «current-state» value stream map.

For å holde bufferen foran flaskehals(e) konstant bør produksjonen bare startes når bufferlageret er under et forhåndsbestemt nivå. Grunnen til dette er at store bufferlager over en bestemt grense ikke vil øke gjennomstrømningen i systemet, men bare forlenge gjennomløpstidene.

Siden det ikke kan defineres tydelige flaskehals i produksjonssystemet konkluderer vi med at andre metoder innen lean produksjon vil være bedre egnet.

5.2.4. Workload Control

WLC er et produksjonsplanleggingsverktøy som er utviklet for å møte behovene til MTO-bedrifter som spesielt fokuserer på produksjon med høy variasjon (workloadcontrol.com). Kongsberg Aerostructures har 71 ulike inngående deler, noe som gjør at de har relativt høy variasjon i produksjonen. Metoden går i stor grad ut på å finne en balanse mellom inngangshastighet på ordre for å sikre at ressursene er fylt opp mens man også klarer å levere ordre i tide (workloadcontrol.com). Dette skal gjøre at WIP både stabiliseres og reduseres. Det er da nærliggende å tro at WLC egner seg godt for videre undersøkelse.

I praksis brukes WLC-regler som kontrollerer både input og output av arbeid i produksjonsprosessene. Hensikten med disse reglene er å sikre at ordre blir fullført innen tidsfristene mens man samtidig utnytter hele kapasiteten til de ulike arbeidssentrene/ressursene innen en produksjon (Fredendall et al., 2009). Dette er noe som er svært interessant for avdelingen som har utfordringer med både tidsfrister og kapasitetsutnyttelse i de ulike arbeidssentrene.

Selv om det ville vært interessant og knyttet WLC-regler opp mot ressursene til avdelingen og andre bedrifter med lik MTO-karakteristikk går dette utenfor rammene til denne oppgaven og vil derfor ikke bli vurdert videre.

5.2.5. Oppsummering JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC

Tabell 20 oppsummerer hvor anvendbare metodene som har blitt presentert er for produksjonen til Kongsberg Aerostructures som er presentert i bedriftsstudiet.

Metode	Vurdering	Karakter
Just-in-time (pull)	Pull er en metode hvor man oppnår bedre kontroll av bufferlager eller «supermarkets». Bruk av kanban burde undersøkes nærmere da metoden er utviklet for å redusere svinn, WIP, bufferlagre og ferdigvarelager, noe som er relevant for produksjonen til Aerostructures. Pull krever et stabilt produksjonsmiljø, noe som derimot ikke er tilfellet ved avdelingen på nåværende tidspunkt.	☆☆
Flaskehalsstyring	Flaskehalsstyring kan potensielt sett bidra til reduserte gjennomløpstider for et produksjonssystem. For Aerostructures er det vanskelig å finne noen tydelig definerte flaskehals, noe som gjør at det er unødvendig å undersøke nærmere. Merk at flaskehals kan oppstå underveis, da blir flaskehalsstyring relevant.	☆
Workload control	WLC er et verktøy som kan bidra til redusert og stabilisert WIP, som er spesielt rettet mot små/medium store MTO-bedrifter med høy produktvariasjon. Dette er et verktøy som burde undersøkes nærmere for Aerostructures fordi avdelingen har utfordringer spesielt med WIP, som WLC er utviklet for å forbedre. I tillegg passer karakteristikken for avdelingen godt med karakteristikken på bedrifter WLC er utviklet for. Ut fra grunnprinsippene til WLC er dette altså et verktøy som kan egne seg godt for Aerostructures, men det trengs grundigere utredninger for å bekrefte dette, samt hvordan det eventuelt kan utnyttes.	☆☆☆

Tabell 20 – Anvendbarhet av JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC



5.3. ANVENDELSE AV DE ULIKE DESIGNELEMENTENE

Forskningsspørsmål 1 er som følger:

«Hvordan kan de ulike retningslinjene (designelementene) for VSM anvendes for en generell MTO komposittproduksjon?»

Dette delkapittelet vil igjen ta opp hver enkelt retningslinje (designelement) og vurdere hvordan de kan brukes innen en mer generell produksjon.

Først må man definere en «mer generell produksjon». Hva skiller Kongsberg Aerostructures fra andre bedrifter innen samme kategori?

Samme tabell som ble brukt i bedriftsstudiet blir brukt til å kategorisere en bedrift av samme type, men hvor karakteristikken er generalisert (tabell 21). Merk at vi også her snakker om en MTO komposittproduksjon som er avhengig av timing mellom to ulike produksjonsruter, altså del- og verktøyformrute. Det antas også at i det generelle tilfellet ønsker bedriften å etterstrebe lavere og bedre kontroll over WIP, kortere produksjonsgjennomløpstider, og bedre flyt i produksjonen. Den viktigste forskjellen fra karakteristikken til Kongsberg Aerostructures er at gjennomløpstidene er stabile i det generelle tilfellet.

<u>Generelt</u>	Etterspørsel	Stabil og forutsigbar
	Konkurrenter	Noen få store
	Kunder, «first tier»	Få
	Kunder, «second tier»	Få
<u>Strategi</u>	Ordrevinnende faktorer	Kvalitet, leveringsdyktighet
	Ordrekvalifiserende faktorer	Pris
	Outsourcing	Liten grad
<u>Produkter</u>	Antall ulike deler som produseres	Medium (100-200)
	Antall leveringsprodukter	Medium (20-80)
	Totalt produksjonsvolum årlig	5-10 000 deler
	Antall verktøyformer per del	1-3
<u>Produksjonskarakteristikk</u>	Gjennomløpstider	Stabile
	Type produksjon	«Repeat Business Customizer» (RBC)
	Kundeordrens dekoblingspunkt	MTO
<u>Produksjonsplanlegging</u>	Shop-floor planleggingsfrekvens	Ukentlig/daglig
	Shop-floor re-planlegging	Daglig
	Planleggingsverktøy	ERP og/eller Excel
	Grad av «go-see scheduling»	Høy
<u>Operatører</u>	Utdanningsnivå	Middels
	Anvendelse av taus kunnskap	Middels

Tabell 21 – Generalisert produksjonsbedrift for MTO kompositt

Retningslinje 1: Produser til takt tid.

Regn ut takt tid og planlegg pacemaker-prosessen deretter. Bedriften kan velge å takte produksjonen raskere enn takt tid hvis de sliter med problemer knyttet til stopp og nedetid.

Retningslinje 2: Utvikle kontinuerlig flyt der det er mulig.

Kontinuerlig flyt bør kunne innføres gjennom store deler av produksjonsruten, spesielt hvis bedriften ikke har problemer med avvik og nedetider. Det er ett sted det ikke vil egne seg å ha kontinuerlig flyt, og det er før sammenstillingsprosessen. Her bør man ha en form for mellomlagring for å demme opp for variasjoner i etterspørsel og feil på deler i produksjonen, for å holde prosessen i gang.

Hvis syklustiden er tilnærmet lik for flere prosesser, og i tillegg til takt tid, vil sannsynligvis kontinuerlig flyt være godt egnet så lenge prosessene er stabile. Prøv å plasser de ulike prosessene nærme hverandre hvis det er mulig, og fordel arbeidet slik hver prosess produserer til like under takt tid. Husk at ved lengre syklustider enn takt tid ved enkelte prosesser må man produsere flere deler parallelt.

Retningslinje 3: Bruk «supermarkets» til å kontrollere produksjonen hvor kontinuerlig flyt ikke forlenges oppstrøms.

Bedriften bør implementere «supermarkets» hvor det ikke er mulig å implementere kontinuerlig flyt. Da er det essensielt å sette maksgrenser for antall deler som kan oppbevares her til enhver tid for å begrense og kontrollere WIP.

Det første «supermarket» bør erstatte et eventuelt råvarelager. Bedriften kan bruke «withdrawal-kanban» -kort som fungerer ved at dette kortet sendes enten til produksjonskontroll som bestiller nye råvarer, eller at det sendes direkte til leverandøren, i det noen varer brukes opp eller kommer under en viss forhåndsbestemt grense. På denne måten kan råvarer bestilles basert på faktisk forbruk av materialer i stedet for å bruke MRP til å «gjette» hvor mye råvarer som trengs. Ved å ha hyppige leveringer med mindre partier enn store leveringer ved lange mellomrom vil man kunne minimere mengden råvarer lagret.

Hvis bedriften har én eller flere flaskehalsburde man heller ikke prøve å innføre kontinuerlig flyt, men innføre FIFO før flaskehalsen for at denne prosessen hele tiden skal ha arbeid. Man kan også innføre «supermarkets» eller sikkerhetslager foran flaskehalsen. Her er det også viktig og sette en maks grense over hvor mange deler som kan oppbevares her. Denne grensen må være høy nok til at flaskehalsen alltid har arbeid uavhengig av etterspørsel oppstrøms.

Retningslinje 4: Prøv å send produksjonsplanen til bare én produksjonsprosess.

Alle prosesser nedstrøms denne prosessen må ha kontinuerlig flyt. Benytt derfor den lengste nedstrøms prosessen hvor man har kontinuerlig flyt som pacemaker-prosessen. Prøv å planlegg denne prosessen så nærme som mulig takt tid.

Retningslinje 5: Fordel produksjon av forskjellige produkter jevnt over tid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsmiksen).

Produksjonsmiksen bør utjevnes hvis den ikke allerede er tilstrekkelig utjevnet på grunn av begrensninger i verktøyformer. Dette kan variere mye fra bedrift til bedrift ut fra hvilke komposittdeler bedriften produserer, og hvilken type verktøyformer som benyttes.

Lean produksjon forsøker alltid å unngå eller å eliminere satsstørrelser så mye som mulig, og alltid prøve å etterstrebe kontinuerlig flyt (Rother and Shook, 1999).

Retningslinje 6: Lag en «initial pull» ved å frigi og trekke fra små, konsistente deler av arbeid ved pacemaker-prosessen (utjevn produksjonsvolum).

Mange bedrifter frigir for store partier av arbeid til «shop-floor» -prosessene, men dette er et problem som er lite sannsynlig innen denne typen komposittproduksjon. Dette kommer av at holdbarheten på pre-preg materialene som brukes innen kompositt er begrenset, samt mulig begrensning i tilgang på verktøyformer. Det vil dermed ikke være mulig å starte produksjonen av for store partier da enten holdbarhetene til materialene vil bli for kort eller på grunn av at man ikke har tilgjengelige verktøyformer ved starten av produksjonsruten. Å produsere et jevnt produksjonsvolum kan altså sees på som en forutsetning for denne typen komposittproduksjon.

Retningslinje 7: Utvikle evnen til å lage «hver del hver dag (every product every ...», EPE), i produksjonsprosessene oppstrøms pacemaker-prosessen.

Hvis etterspørselen av de ulike delene er stabile anbefales det å utvikle evnen til å lage hvert produkt hver time/dag/uke/skift etc., avhengig av takt tid og syklustider. Det er også en forutsetning at produksjonssystemet er stabilt, altså lite nedetider, stopp eller feil i produksjonen.

Oppsummering av hvordan de 7 retningslinjene kan brukes:

Retningslinje	Prinsipp	Tiltak
1	Takt tid	Regn ut takt tid og planlegg pacemaker-prosessen deretter.
2	Kontinuerlig flyt	Implementer kontinuerlig flyt der det er mulig. Dette bør kunne gjennomføres gjennom store deler av produksjonsruten.
3	«Supermarket»	Implementerer «supermarkets» eller eventuelt FIFO hvor det ikke er mulig å implementere kontinuerlig flyt.
4	Pacemaker-prosess	Benytt den lengste nedstrøms prosessen hvor man har kontinuerlig flyt som pacemaker-prosess.
5	Utjevn produksjonsmiksen	Produksjonsmiksen bør utjevnes hvis den ikke allerede er tilstrekkelig utjevnet på grunn av begrensninger i verktøyformer.
6	Utjevn produksjonsvolum	Produksjonsvolumet bør utjevnes hvis det ikke er tilstrekkelig utjevnet.
7	Every-product-every ...	Etterstreb EPE hvis etterspørselen av de ulike delene og produktene er stabil. Produksjonssystemet bør også være stabilt.

Tabell 22 – Oppsummering av anvendelse av retningslinjer for en generell MTO komposittproduksjon

5.4. ANVENDELSE AV NØKKELKARAKTERISTIKKER FOR VSM I EN VERKTØYAVHENGIG KOMPOSITTPRODUKSJON

Forsknings spørsmål 2 er som følger:

Hvilke, og i hvilken grad, er de ulike lean-karakteristikkene egnet for en MTO komposittproduksjonsfasilitet med ulik del- og verktøyform-rute?

Lean produksjon er en produksjonsmetodikk med stort fokus på eliminering av svinn og kontinuerlig forbedring av produktivitet. Gjennom bedriftsstudiet har det blitt oppdaget flere utfordringer i produksjonen til avdelingen Aerostructures som elementer innen lean produksjon er utviklet for å forbedre. Det har blitt sett at avdelingen har utfordringer spesielt når det gjelder opphoping av deler i produksjonen som fører til mye WIP. Innen lean produksjon skal det ideelt sett ikke være noe overflødig materiale, i tillegg til at bufferlager og gjennomløpstidene skal være minimale (Arnold et al., 2011).

Videre trekkes det frem av Arnold et al. (2011) hvor viktig det er å tilføre verdi til kunden. Med dette menes blant annet å ha riktige produkter og riktige mengder til riktig tid og sted, altså å ha delene ferdig produsert i det kunden trenger dem (Arnold et al., 2011), (Slack et al., 2010). Dette er noe av det aller viktigste kravet for avdelingen, da produktene som leveres inngår i en større og en svært omfattende produksjon, og det ville vært katastrofalt om produktene ikke ble levert i tide. Dette er også en utfordring som blir tatt for seg innen lean produksjon.

Som en del av Toyotas lean-program har det blitt identifisert syv viktige kilder til svinn innen produksjon (Arnold et al., 2011), (Hines and Rich, 1997), og ut fra funn i bedriftsstudiet kan man trekke ut spesielt tre kilder til svinn som man finner igjen i produksjonen til avdelingen:

- Transport: delene trilles frem og tilbake i produksjonslokalene til avdelingen, noe som øker ikke-verdiskapende produksjonstid for delene.
- Unødvendig lager: man finner flere mellomagingsstasjoner ved avdelingen hvor deler venter av forskjellige grunner – dette er også ikke-verdiskapende produksjonstid.
- Defekter: det blir ofte funnet små toleransefeil på delene ved kontrollmålingene, noe som forstyrrer flyten i produksjonen da både del og tilhørende verktøyform stopper opp.

Litteraturen har også konkludert med at bruk av lean verktøy og teknikker innen vedlikeholdsprosesser kan ha flere gunstige fordeler (Okhovat et al., 2012). Buffere kan reduseres, noe som vil føre til mindre WIP, som igjen vil føre til reduserte gjennomløpstider fordi prosessidene på hver arbeidsstasjon reduseres. En annen fordel med mindre bufferlagre er at det reduserer sannsynligheten av å produsere defekte deler da feil oppdages tidligere.

Dette er bare noen av indikasjonene på at lean produksjonsmetodikk er noe som generelt sett kan egne seg for avdelingen.

På en annen side er lean en metode som typisk er assosiert med høy-volum masseproduksjon, noe som gjør at det sannsynligvis ikke er alle metoder og karakteristikker som egner seg like godt for

avdelingen. Likevel, ulike lean-verktøy og metoder er designet for å løse spesifikke utfordringer og kan bare bli brukt hvor det passer (Hines et al., 2004).

Arnold et al. (2011) trekker frem 8 karakteristikk som beskriver et lean produksjonsmiljø (kap 3.4.2.). I tabell 23 blir hver av de 8 karakteristikkene kommentert og vurdert i hvor stor grad de ulike karakteristikkene er egnet for produksjonsmiljøet til Aerostructures, basert på bedriftsstudiet.

Karakteristikk	Vurdering	Karakter
Flytproduksjon (flow manufacturing)	I hovedsak dreier flytproduksjon seg om produksjon av høyvolum standard produkter, og er lite egnet for å produsere mange forskjellige produkter. På grunn av relativt høy produktvariasjon ved Aerostructures kan det bety at flytproduksjon egner seg dårlig.	★
Prosessfleksibilitet	Prosessfleksibilitet er gruppen av produkter som et system kan produsere. Produksjonssystemet til Aerostructures kan produsere mange ulike produkter innenfor samme produktfamilie, men er ikke egnet til å takle stor variasjon.	★★
Kvalitetsstyring (quality management)	Når defekter, avvik eller andre problemer oppdages, noe som skjer relativt ofte i produksjonen til Aerostructures, stoppes prosessene opp for å finne kilden til problemet.	★★★
TPM	TPM handler om å få operatører involvert i å vedlikeholde utstyr, og ved å vektlegge forebyggende vedlikehold. Ved Aerostructures er alle operatører utdannet og kurset innenfor de ulike ansvarsområdene, noe som gjør dem kunnskapsrike innenfor hver sine områder. Dermed kan de i stor grad bidra til TPM.	★★★
Uavbrutt flyt	Deler bør flyte uavbrutt mellom arbeidsstasjoner uten forsinkelser. Mellom mange av prosessene i produksjonen til Aerostructures er dette umulig av ulike årsaker, og uavbrutt flyt er dermed vanskelig å få til.	★
Kontinuerlig prosessforbedring	Inneholder et sett av logiske steg og teknikker som brukes for å analysere prosesser for deretter å forbedre dem. Eliminering av svinn er avhengig av å forbedre prosesser kontinuerlig. For Aerostructures kan dette i stor grad bidra til å eliminere svinn.	★★★
Leverandørforhold	Hvis det skal være mulig å lage gode produksjonsplaner og utvikle et lean-miljø er det avgjørende å ha gode og pålitelige leverandører. Det kommer frem gjennom bedriftsstudiet at leverandører er pålitelige og at samarbeidet er godt, slik at det ikke skal være noen hindring for et lean produksjonsmiljø.	★★★
Fullstendig ansattinvolvering	Et lean produksjonsmiljø kan bare oppnås gjennom samarbeid og involvering av alle parter i organisasjonen. Dette er mulig for Aerostructures, men det vil by på flere utfordringer. Den største er muligens de mange hierarkiske nivåene i bedriften med mange mellomledere, kombinert med at én av de	★★

	hyppigste årsakene for at bedrifter ikke lykkes er motstanden mot endring (Melton, 2005).	
Konklusjon	Lean produksjon egner seg som regel best for høy-volum standardprodukter, og antall produktvariasjoner gjør det til en utfordring å produsere med uavbrutt og kontinuerlig flyt. På en annen side er det flere av karakteristikene som egner seg godt ved anvendelse for Aerostructures. Det er ingenting som står i veien for at kvalitetsstyring, TPM, kontinuerlig prosessforbedring og gode leverandørforhold ikke skal kunne utnyttes ved avdelingen. Det er likevel viktig å huske på at dette er karakteristikk som krever en viss innsats, opplæring og omstilling før man oppnår gode resultater.	☆☆

Tabell 23 – Lean karakteristikk – egnet for Aerostructures?



For Kongsberg Aerostructures er det en forutsetning at produksjonsplanene må bli mulige å gjennomføre for å kunne oppnå et lean produksjonsmiljø. Dette er ikke tilfellet i dag, på grunn av avvik og stopp i produksjonen, samt lange ventetider ved stopp.

5.5. OPPSUMMERINGSDISKUSJON

Dette delkapittelet oppsummerer sammenhengen mellom litteraturstudiet, bedriftsstudiet og løsningene på oppgavemålene og forskningsspørsmålene.

I introduksjonen blir man kjent med case-bedriften Kongsberg Gruppen samt noen av deres problemområder. Ut fra intervjuer og bedriftsbesøk blir oppgavemål og forskningsspørsmål utarbeidet i samarbeid med bedrift og veileder. Det kommer frem at de har en del utfordringer som omhandler planlegging og materialflyt i avdelingen. Dette er noe som spesielt fører til lange produksjonsgjennomløpstider og mye WIP i produksjonen, som oppgavemål og forskningsspørsmål blir lagt opp til å forbedre.

Litteraturstudiet tar for seg verktøy og teknikker innen lean produksjon som kan være egnet for Aerostructures, i tillegg til begreper og annen teori som blir brukt videre i oppgaven. Sentralt i dette kapittelet er strategi, lean produksjon, planlegging, VSM, JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC.

Videre følger et bedriftsstudie av avdelingen Kongsberg Aerostructures hvor man blir kjent med de viktigste karakteristikene til produksjonen, samt en detaljert beskrivelse av hver produksjonsprosess. Ut fra dette bedriftsstudiet anvendes teorien fra VSM til å tegne en skisse av «current state» -value stream map.

Til slutt presenteres løsningen som skal presenteres ved å anvende teorien fra litteraturstudiet samt informasjon om case-bedriften.

I oppgavemål 1 brukes teorien fra VSM og karakteristikene til Aerostructures til å utarbeide en «future state» VSM. I «current state» VSM fokuseres det spesielt på tre problemområder, som skissen av «future state» VSM skal forbedre. Tiltak som blir utført i «future state» VSM blir oppsummert i tabell 17, og løsningen på problemområdene oppsummeres i tabell 18.

Opgavemål 2 retter seg mot de resterende metodene JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC som presenteres i litteraturstudiet, i tillegg til VSM. Her tas de ulike metodene for seg og de vurderes opp mot karakteristikene for bedriften for å finne ut hvor egnet hver av metodene er for denne typen produksjon. Hvor anvendbar de ulike retningslinjene for VSM er i denne produksjonen oppsummeres i tabell 19, mens JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC vurderes i tabell 20.

Forskningsspørsmål 1 retter seg igjen mot VSM for å vurdere hvor egnet analysen er for en mer generell MTO komposittproduksjon. Her benyttes teori fra litteraturstudiet innen VSM for å foreslå tiltak som kan gjennomføres for en bedrift med karakteristikk presentert i tabell 21. Tiltakene oppsummeres i tabell 22. Hovedhensikten med dette forskningsspørsmålet er å øke den akademiske verdien av oppgaven ved at man tar for seg en mer generell produksjon, for å vise at VSM også kan brukes av lignende bedrifter og ikke bare av bedrifter med eksakt lik karakteristikk som Kongsberg Aerostructures.

Forskningsspørsmål 2 tar for seg teorien innen lean produksjon og knytter den til bedriftsstudiet. Dette gjøres gjennom å vurdere de ulike karakteristikene gitt av Arnold et al. (2011). Det blir her vurdert, i tabell 23, hvor egnet de ulike karakteristikene er for Kongsberg Aerostructures.

Gjennom hele oppgaven er det et overordnet fokus på at alle tiltak som gjennomføres blir vurdert opp mot

- Forbedring av materialflyt
- Reduserte og stabiliserte produksjonsgjennomløpstider
- Redusert og stabilisert WIP

Løsningen på oppgavemålene og forskningsspørsmålene bidrar til forbedring av alle disse tre punktene.

Dette kapittelet har presentert og diskutert oppgavemålene og forskningsspørsmålene som ble definert i innledningen. Videre følger en total konklusjon, samt hva som må gjøres videre, i tillegg til bidrag til forskning og svakheter ved oppgaven.

6. KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

6.1. KONKLUSJON OPPGAVEMÅL 1

I oppgavemål 1 utarbeides en «future state» -value stream map (VSM) hvor ulike tiltak har blitt innført for å forbedre produksjonen til Kongsberg Aerostructures (figur 12). Ved hjelp av de ulike retningslinjene (designelementene) gitt av Rother og Shook har det blitt foreslått en ny VSM som har som hovedmål å forbedre materialflyt, redusert og stabilisert WIP, og reduserte og stabiliserte produksjonsgjennomløpstider. Det er fullt mulig å oppnå store forbedringer ved å benytte VSM, selv om det også vil oppstå utfordringer underveis. Det anbefales likevel at bedriften benytter seg av teori og løsning som er presentert i denne oppgaven for å evaluere hva som kan anvendes.

De tre problemområdene som ble funnet gjennom bedriftsstudiet løses ved hjelp av de ulike retningslinjene for VSM. Daglig i stedet for ukentlig planlegging samt bruk av pull fra autoklave til lay-up løser problemet som omhandler planlegging av lay-up (problemområde 1). Kontinuerlig flyt mellom autoklave og demould reduserer ventetid samt WIP av verktøyformer før demould, som løser utfordringene ved problemområde 2. Før bonding og montasje kan et sikkerhetslager med forhåndsbestemte verdier av maks- og minimum antall deler løse problemområde 3 ved at man har en buffer som demmer opp for variasjon oppstrøms i produksjonssystemet.

6.2. KONKLUSJON OPPGAVEMÅL 2

Opgavemål 2 går gjennom og vurderer om lean-metodene VSM, JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC er egnet for å forbedre prestasjonsindikatorene for en MTO komposittproduksjon ved hjelp av bedriftsstudiet for Kongsberg Aerostructures.

Det er blitt tatt for seg de ulike retningslinjene for VSM, og man ser at det er noen som er problematisk å benytte seg av for avdelingen, deriblant takt tid og EPE, mens andre egner seg godt. Retningslinjer som egner seg godt for anvendelse er bruk av «supermarkets», utjevning av produksjonsmiks, og utjevning av produksjonsvolum. Totalt sett kan man konkludere med at VSM til en viss grad er egnet for denne typen produksjon, men at det også oppstår en del utfordringer.

JIT, eller pull, er en metode hvor man oppnår bedre kontroll av bufferlagre eller «supermarkets». Metoden passer fint mellom enkelte prosesser for avdelingen, men den byr også på problemer fordi pull krever et stabilt produksjonsmiljø, noe som ikke er tilfellet ved avdelingen på nåværende tidspunkt.

Flaskehalsstyring er metoder som potensielt kan bidra til reduserte gjennomløpstider i et produksjonssystem. For avdelingen er det vanskelig å definere noen tydelige flaskehals i produksjonssystemet, noe som gjør at metoden foreløpig er irrelevant for deres produksjon.

WLC er et verktøy spesielt rettet mot små/medium store MTO-bedrifter med høy produksjonsvariasjon, og er et verktøy som spesielt er utviklet for å redusere og stabilisere WIP. Dette er et verktøy som absolutt kan egne seg godt for avdelingen så det burde undersøkes nærmere, da litteraturstudiet i denne oppgaven kun tok for seg WLC på et grunnleggende og enkelt nivå.

Merk at ved grundigere litteraturstudier ved alle emnene som er diskutert her kan det dukke opp problemstillinger som endrer konklusjonene i dette kapittelet.

6.3. KONKLUSJON FORSKNINGSSPØRSMÅL 1

Forskningsspørsmål 1 vurderer hvordan de ulike retningslinjene kan anvendes for en mer «generell» MTO komposittproduksjon. Her finner man ut at de fleste som gjelder for Aerostructures også gjelder for en generell komposittproduksjonsbedrift, samtidig som man kan utnytte VSM enda bedre om man har en stabil produksjon med stabile syklustider og produksjonsgjennomløpstider. Da kan takt tid benyttes på en bedre måte, og man kan planlegge pacemaker-prosessen basert på takt tid. Det anbefales også å etterstrebe EPE hvis etterspørselen er stabil.

6.4. KONKLUSJON FORSKNINGSSPØRSMÅL 2

Forskningsspørsmål 2 vurderer i hvilken grad lean produksjon og ulike lean-karakteristikk egner seg for en MTO komposittproduksjon. Man vet at lean er en produksjonsmetodikk som har stort fokus på eliminering av svinn og kontinuerlig forbedring av produktivitet, det er derfor nærliggende å tro at lean produksjon vil egne seg godt for Aerostructures. I tillegg finner vi igjen spesielt tre av de syv viktigste kildene til svinn i produksjonen til avdelingen; transport, unødvendig lager og defekter.

På en annen side er lean en metode som er assosiert med og passer også best innen høy-volum masseproduksjon av standardiserte produkter, noe som gjør at noen av lean metodene og karakteristikkene kan være ugunstige og vanskelige å implementere for Aerostructures. Ved en gjennomgang og vurdering av karakteristikkene gitt av Arnold et al. (2011) blir det funnet ut at man spesielt får problemer med å innføre flytproduksjon fordi produktvariasjonen ved avdelingen er for høy. Uavbrutt flyt vil også føre til problemer da produksjonen er for ustabil med tanke på feil, avvik og stopp. Likevel er det også flere av karakteristikkene det ikke er noe i veien for å benytte seg av. Dette gjelder spesielt kvalitetsstyring, TPM, kontinuerlig prosessforbedring og leverandørforhold.

De to siste karakteristikkene prosessfleksibilitet og fullstendig ansattinvolvering er til en viss grad egnet ved avdelingen. Produksjonssystemet til Aerostructures kan takle mange ulike produkter innenfor samme produktfamilie, men er ikke egnet til å takle stor variasjon ut over det. Fullstendig ansattinvolvering er fullt mulig, men de mange hierarkiske nivåene i bedriften vil gjøre det til en utfordring å få alle til å dra i samme retning, altså mot et lean produksjonsmiljø.

Totalt sett egner lean produksjon seg best for produksjonssystemer som produserer høy-volum standardprodukter, noe som gjør at det ikke er alle karakteristikkene som egner seg like godt for Aerostructures. Avdelingen kan likevel dra nytte av flere av metodene og karakteristikkene for å oppnå bedre materialflyt, redusert og stabil WIP, og reduserte og stabiliserte produksjonsgjennomløpstider.

6.5. VIDERE ARBEID

For å få bedre svar på om metodene VSM, JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC er egnet for flere MTO komposittproduksjonsbedrifter burde man hatt mer enn én case bedrift. Spesielt med tanke på hvor egnet VSM er for denne typen bedrifter. På den måten kunne man bekrefte at de ulike karakteristikkene (tabell 21) for denne typen bedrifter er noenlunde like, eller eventuelt hvor store avvik man finner mellom ulike bedrifter som produserer komposittprodukter.

Videre burde det ha blitt utført et grundigere litteraturstudie innenfor de ulike metodene for å kunne bekrefte konklusjonene som er gitt i denne oppgaven. Ved å fokusere på fire ulike metoder ble det ikke brukt nok tid eller lest nok litteratur innenfor hvert område til å kunne være helt sikre på noen av konklusjonene som er gitt. Det anbefales derfor å utføre én oppgave innenfor hver av de fire

metodene VSM, JIT (pull), flaskehalsstyring og WLC for å kunne bekrefte eller avkrefte konklusjonene i denne oppgaven. Da kunne man også gått mer i detalj for hvordan de ulike metodene kan anvendes, da det i denne oppgaven kun er vurdert hvordan VSM kan anvendes for case-bedriften.

For Kongsberg Aerostructures blir videre arbeid først å finne ut om noen av metodene og prinsippene i denne oppgaven er realistiske å gjennomføre, da produksjonen er mer kompleks i realiteten enn det som er presentert i bedriftsstudiet. Da må man spesielt finne ut om tiltakene i «future state» VSM er mulig å iverksette i praksis. Om man finner ut at man vil gå videre med noen av tiltakene, må det utarbeides en implementeringsplan for avdelingen.

Videre må man utarbeide en detaljert tiltaksliste. I oppgavemål 1 presenteres ulike tiltak i forbindelse med «future state» VSM, men på grunn av manglende detaljinformasjon om produksjonen til Aerostructures blir ikke tiltakene beskrevet detaljert nok.

7. AKADEMISKE BIDRAG

Denne oppgaven skal bidra til å tette hullet når det gjelder teori innen flyt i MTO komposittproduksjon. Det ble tidlig i prosjektfasen klart at det var utfordrende å finne teori innen produksjonsbedrifter med noenlunde lik karakteristikk som for case-bedriften i denne oppgaven. Den største utfordringen var at det fantes lite litteratur og forskning på produksjonssystemer som må ta hensyn til timing mellom ulike del- og verktøyformrute.

I oppgaven blir en case-bedrift innen komposittproduksjon beskrevet i detalj. For denne bedriften blir det utarbeidet en «future state» VSM basert på et litteraturstudie og et bedriftsstudie av den aktuelle bedriften. Denne modellen kan anvendes av alle bedrifter med samme type karakteristikk. Eventuelt kan hvert enkelt tiltak som blir anbefalt for denne bedriften vurderes opp mot andre bedrifter med liknende karakteristikk, for å undersøke hvilke av tiltakene som kan benyttes.

Videre, for at denne fremgangsmåten for utarbeidelse av VSM skal kunne brukes for et bredere spekter av bedrifter innen komposittproduksjon, blir karakteristikkene til case-bedriften generalisert. Den viktigste forskjellen mellom det generelle tilfellet og for Aerostructures er at produksjonsgjennomløpstidene er stabile i det generelle tilfellet, i motsetning til ved Aerostructures. Det blir også her foreslått tiltak for hver retningslinje (designelement) presentert av Rother og Shook.

Det presenteres videre en vurdering av hvor godt VSM egner seg for denne typen produksjonsbedrift. Dette vil også være gjeldende for andre produksjonsbedrifter med lignende karakteristikk. Det presenteres også vurderinger om hvorvidt pull, flaskehalsstyring og WLC er egnet for denne typen produksjonsbedrift.

Det siste forskningsspørsmålet tar for seg ulike lean-karakteristikker, og vurderer hvor godt de er egnet for case-bedriften. Dette vil også være gjeldende for andre produksjonsbedrifter med gjeldende karakteristikk.

8. SVAKHETER

Det er flere mulige svakheter ved denne oppgaven. Vurderingene i kapittel 5 er basert på argumenter for og mot, og det blir ikke benyttet noen annen form for poengsystem annet enn stjeranerangering fra 1-3. Dette gjør at vurderingene kan anses som noe upresise.

Litteraturstudiet dekker mange ulike emner og begreper, noe som gir begrenset fokus innenfor hvert emne. Det gjør blant annet at kun et begrenset antall artikler og fagbøker undersøkes innenfor hvert emne, noe som gjør at man kan overse eller gå glipp av viktig informasjon og forskning. Det er uansett forsøkt å dekke alle områder med de mest aktuelle og relevante artiklene og fagbøkene, og antall siteringer forteller ofte om kvaliteten på forskningsartikler.

Utrekning av takttider i forbindelse med VSM burde vært undersøkt nærmere, og burde også inkludert utregninger på om denne takttiden er realistisk å utføre i praksis basert på kapasitet i produksjonen oppstrøms. På grunn av manglende datainformasjon og tidsbegrensning av oppgaven ble ikke dette gjort i denne omgang.

For andre verdier i VSM blir det gjort en del antakelser og forenklinger. Noen tall er basert på faktiske observasjoner, noen er basert på faktiske tall fra bedriften, og noen få er basert på målsetninger for bedriften. Tallene som er gitt for syklustider og ventetider i bedriftsstudiet og «current state» VSM er gjennomsnittstider for alle deler av aktuell type som er produsert i løpet av 2015. I realiteten varierte disse tidene mye, noe som ikke kommer fram gjennom å kun se på «current state» VSM.

At produksjonen er ustabil gjør også at problemet blir mye vanskeligere å fremstille ved hjelp av tall, da gjennomløpstidene og ventetidene for hver enkelt del som produseres, selv om det er akkurat samme del, varierer såpass mye. Dette er forsøkt å tatt hensyn til i løsning av oppgaven, blant annet ved å innføre «supermarket» -pull systemer i stedet for kontinuerlig flyt der man ser at produksjonen er for ustabil.

Ved utarbeidelse av forskningsspørsmål 1 som omhandler VSM-retningslinjer for en generell MTO komposittproduksjon ble det innsett at man burde hatt flere case-bedrifter innen samme kategori. At man har bare én case-bedrift gjør at det er vanskelig å se for seg situasjoner i andre bedrifter, selv om karakteristikkene mellom bedrifter kan være nesten helt like. Det ble heller ikke funnet noe god litteratur innen MTO-komposittproduksjon, noe som gjorde at man ikke kunne sammenligne resultater med tidligere studier innenfor samme område.

En annen svakhet er at VSM-tiltakene foreslått i oppgavemål 1 ikke er forklart i detalj. Dette kommer av at man ikke har nok detaljert informasjon om bedriften og hvordan produksjonen fungerer i dag. Dette vil bli en del av det videre arbeidet bedriften selv må utføre om de velger å gå videre med tiltakene som er foreslått.

REFERANSELISTE

- ABDULMALEK, F. A. & RAJGOPAL, J. 2007. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of production economics* 107.1, 223-236.
- ALFNES, E. 2015. Course: Production Strategy (lecture 20.01.2015).
- AMARO, G., HENDRY, L. & KINGSMAN, B. 1999. Competitive advantage, customisation and a new taxonomy for non make-to-stock companies. *International Journal of Operations & Production Management* 19.4, 349-371.
- ARNOLD, J. R. T., CHAPMAN, S. N. & CLIVE, L. M. 2011. Introduction to Materials Management. *Pearson Education*
- BAKER, M. J. 2001. Marketing: Critical Perspectives on Business and Management. 470.
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016a. Bottleneck - <http://www.businessdictionary.com/definition/bottleneck.html> (Hentet 20.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016b. Buffer Stock - <http://www.businessdictionary.com/definition/buffer-stock.html> (Hentet 17.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016c. Capacity - <http://www.businessdictionary.com/definition/engineered-capacity.html> (Hentet 27.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016d. Engineered capacity - <http://www.businessdictionary.com/definition/engineered-capacity.html> (Hentet 27.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016e. Flow - <http://www.businessdictionary.com/definition/flow.html> (Hentet 27.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016f. Manufacturing Lead Time - <http://www.businessdictionary.com/definition/manufacturing-lead-time.html> (Hentet 25.05.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016g. Quality - <http://www.businessdictionary.com/definition/quality.html> (Hentet 21.03.2016).
- BUSINESSDICTIONARY.COM 2016h. True capacity - <http://www.businessdictionary.com/definition/true-capacity.html> (Hentet 27.03.2016).
- CLOTET, J. F. 2015. Lean Production Planning and Control in Semi-process industry.
- DALLAND, O. 2007. *Metode og oppgaveskriving for studenter*, Oslo, Gyldendal akademisk.
- DALLAND, O. 2012. *Metode og oppgaveskriving*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.
- DUGGAN, K. J. 2012. Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand. *CRC Press*.
- ENCYCLOPEDIA-OF-MANAGEMENT 2009. Competitive advantage - http://www.encyclopedia.com/topic/Competitive_advantage.aspx (Hentet 24.11.2015).
- ETTL, M., FENG CHENG, Y. L. & YAO, D. D. 2012. A Production–Inventory Model for a Push–Pull Manufacturing System with Capacity and Service Level Constraints. *Production and Operations Management* 21.4, 668-681.
- FFI-FOKUS 2013. Er norsk forsvarsindustri klar for konkurranse? *Forsvarsfaglig tidsskrift utgitt av forsvarets forskningsinstitutt*.
- FREDENDALL, L. D., OJHA, D. & PATTERSON, J. W. 2009. Concerning the theory of workload control. *European Journal of Operational Research* 201.1 (2010), 99-111.
- FREDENDALL, L. D., OJHA, D. & PATTERSON, J. W. 2010. Concerning the theory of workload control. *European Journal of Operational Research* 201.1 (2010), 99-111.

- GOLDRATT, E. M., COX, J. & WHITFORD, D. 1992. The goal: a process of ongoing improvement. *Great Barrington, MA: North River Press.*
- GRENNES, T. 1997. *Innføring i vitenskapsteori og metode*, [Oslo], Tano Aschehoug.
- HAYES, R. H. & WHEELWRIGHT, S. C. 1984. Restoring our competitive edge: competing through manufacturing.
- HENDRY, L. C., KINGSMAN, B. G. & CHEUNG., P. 1998. The effect of workload control (WLC) on performance in make-to-order companies. *Journal of Operations Management* 16.1, 63-75.
- HILL, T. & HILL, A. 2009. Manufacturing strategy: text and cases. *Palgrave Macmillan.*
- HINES, P., HOLWEG, M. & RICH., N. 2004. Learning to evolve: a review of contemporary lean thinking. *International journal of operations & production management* 24.10, 994-1011.
- HINES, P. & RICH, N. 1997. The seven value stream mapping tools. *International journal of operations & production management* 17.1, 46-64.
- HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2004a. To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management* 6 (2), 133-148.
- HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2004b. To pull or not to pull: what is the question? *Manufacturing & service operations management* 6.2, 133-148.
- HOPP, W. J. & SPEARMAN, M. L. 2011. Factory Physics.
- INVESTOPEDIA.COM 2016. What is 'Lead Time' - <http://www.investopedia.com/terms/l/leadtime.asp> (Hentet 25.05.2016).
- ISKANDAR, B. Y., KUROKAWA, S. & LEBLANC, L. J. 2001. Business-to-business electronic commerce from first-and second-tier automotive suppliers' perspectives: a preliminary analysis for hypotheses generation. *Technovation* 21.11, 719-731.
- KINGSMAN, B. & HENDRY, L. 2002. The relative contributions of input and output controls on the performance of a workload control system in Make-To-Order companies. *Production Planning & Control* 13 (7), 579-590.
- KLAUSEN, N. O. 2012. Sustained lean growth in a high-tech make-to-order (MTO), repeat business customizer (RBV) company. *Master thesis, NTNU.*
- LASA, I. S., LABURU, C. O. & VILA, R. D. C. 2008. An evaluation of the value stream mapping tool. *Business Process Management Journal* 14.1, 39-52.
- LEANPRODUCTION.COM 2016. TPM (Total Productive Maintenance) - <http://www.leanproduction.com/tpm.html> (Hentet: 24.04.2016).
- LEE, J.-H., CHANG, J.-G., TSAI, C.-H. & LI, R.-K. 2010. Research on enhancement of TOC Simplified Drum-Buffer-Rope system using novel generic procedures. *Expert Systems with Applications* 37.5, 3747-3754.
- LIAN, Y.-H. & LANDEGHEM, H. V. 2002. An application of simulation and value stream mapping in lean manufacturing. *Department of Industrial Management, Ghent University, Technologiepark 903.*
- MCDONALD, T., AKEN, E. M. V. & RENTES, A. F. 2002. Utilising simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. *International Journal of Logistics* 5.2, 213-232.
- MELTON, T. 2005. The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. *Chemical Engineering Research and Design* 83.6 662-673.
- MENDIS, P. 2012. What factors facilitate or inhibit the successful implementation of Lean Manufacturing.
- OKHOVAT, M. A., ARIFFIN, M. K. A., NEHZATI, T. & HOSSEINI, S. A. 2012. Development of world class manufacturing framework by using six-sigma, total productive maintenance and lean. *Scientific Research and Essays*, 7, 4230-4241.
- OLHAGER, J., RUDBERG, M. & WIKNER, J. 2001. Long-term capacity management: Linking the perspectives from manufacturing strategy and sales and operations planning. *International Journal of Production Economics* 69.2 215-225.
- OLSSON, N. 2011. Praktisk rapportskrivning. *Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.*

- OOSTERMAN, B., LAND, M. & GAALMAN, G. 2000. The influence of shop characteristics on workload control. *International Journal of Production Economics* 68.1, 107-119.
- OXFORD-DICTIONARY <http://www.oxforddictionaries.com/definition/english/strategy> (Hentet 23.10.2015).
- PORTER, M. E. 2008. *Competitive strategy: Techniques for analyzing industries and competitors.* Simon and Schuster.
- PTAK, C. 1996. MRP and beyond: A toolbox for integrating people and systems. *McGraw-Hill, Inc.*
- ROTHER, M. 2005. Value-stream mapping in a make-to-order environment. *Lean management institute.*
- ROTHER, M. & SHOOK, J. 1999. Learning to See - Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. *Lean Enterprise Institute.*
- RUDBERG, M. & WIKNER, J. 2004. Mass customization in terms of the customer order decoupling point. *Production Planning & Control* 15.4, 445-458.
- SCHRAGENHEIM, E. & DETTMER, H. 2000. Manufacturing at warp speed: optimizing supply chain financial performance. *CRC Press.*
- SCHROEDER, R. G., ANDERSON, J. C. & CLEVELAND, G. 1986. The Content of Manufacturing Strategy: An Empirical Study. *Journal of operations management* 6.3, 405-415.
- SHAVARINI, S. K., SALIMIAN, H., NAZEMI, J. & ALBORZI, M. 2013. Operations strategy and business strategy alignment model (case of Iranian industries). *International Journal of Operations & Production Management* 33.9, 1108-1130.
- SLACK, N., CHAMBERS, S. & JOHNSTON, R. 2010. *Operations Management.*
- SRIRAM, P. K. 2015. Course: Production Strategy (lecture 27.01.2015).
- STAEBLEIN, T. & AOKI, K. 2015. Planning and scheduling in the automotive industry: A comparison of industrial practice at German and Japanese makers. *International Journal of Production Economics* 162 (2015): 258-272.
- SWAMIDASS, P. M. & NEWELL, W. T. 1987. Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: a path analytic model. *Management science* 33.4, 509-524.
- SWANSON, C. & LANKFORD, W. 1998. Just-in-time manufacturing. *Business Process Management Journal*, 4.4, 333-341.
- THÜRER, M., STEVENSON, M. & SILVA, C. 2011. Three decades of workload control research: a systematic review of the literature. *International Journal of Production Research* 49.23, 6905-6935.
- TVETBRÅTEN, K. 2014. Forsvarsindustrien i Norge - statistikk 2013. *Forsvarets Forskningsinstitutt.*
- VOLLMANN, T. E., BERRY, W. L. & WHYBARK, D. C. 2005. Manufacturing planning and control for supply chain management. *New York: McGraw-Hill/Irwin.*
- WOMACK, J. P., JONES, D. T. & ROOS, D. 2007. *The Machine that Changed the World.*
- WORKLOADCONTROL.COM Workload Control - <http://www.workloadcontrol.com/workloadcontrol-concept> (hentet 10.12.2015).
-

VEDLEGG

VEDLEGG A – PRODUSERTE KOMPOSITTDELER I LØPET AV 2015

Antall C06
Autoklave
parter 2015

Row Labels	Sum of Delivered
913	1726
914	1048
916	260
917	544
918	302
Grand Total	3880

VEDLEGG B – INNGÅENDE DELER TIL CTOL/CV

Delnummer	Antall verktøy	Volum per uke	Verktøysyklus per uke	AC-program	Kunde
1	2	4	2	2020	LM
2	2	4	2	2020	LM
3	2	4	2	2020	LM
4	2	4	2	2020	LM
5	2	4	2	2020	LM
6	2	4	2	2020	LM
7	2	8	4	2020	LM
8	4	8	2	2020	LM
9	2	8	4	2020	LM
10	4	8	2	2020	LM
11	4	8	2	2011	LM
12	2	4	2	2011	LM
13	2	4	2	1030	LM
14	2	4	2	1030	LM
15	2	4	2	1020	LM
16	2	4	2	1020	LM
17	2	4	2	1010	NGC
18	2	4	2	1010	NGC
19	2	4	2	1010	NGC
20	2	4	2	1010	NGC
21	2	4	2	1010	NGC
22	1	3	3	1010	NGC
23	2	4	2	1010	NGC
24	2	4	2	1010	NGC
25	2	4	2	1010	NGC
26	2	3	1,5	1010	NGC
27	2	3	1,5	1010	NGC
28	2	3	1,5	1010	NGC
29	2	3	1,5	1010	NGC
30	2	3	1,5	1010	NGC
31	2	3	1,5	1010	NGC
32	2	4	2	1010	NGC
33	2	4	2	1010	NGC
34	2	4	2	1010	NGC

VEDLEGG C – KJØREPROGRAMMER FOR HERDING I AUTOKLAVE

AC-program	Kjøringer/uke	Tid/kjøring (t)	Antall deler/kjøring	Deler totalt/uke	
2020	6	15	12	72	
2011	2	18	4	8	
1030	2	12	4	8	
1020	2	10	4	8	
1010	10	15	6	60	
				156	per uke
				7020	per år
45 uker per år					
Tid kjøring er inkludert innlasting og utlasting (changeover C/O)					

VEDLEGG D – INTERVJUSPØRSMÅL

Følgende spørsmål ble spurt ansatte ved bedriftsbesøk:

1. Ved hvilken operasjon jobber du ved?
2. Hva gjøres ved denne operasjonen?
3. Kan hver operatør utføre alle oppgaver innenfor denne operasjonen?
4. Hvor mange av operatørene kan utføre de forskjellige oppgavene?
5. Hvordan er prosessene koordinert?
6. Hvem er ansvarlig for produksjonsrekkefølge av delene?
7. Hva avgjør hva som skal produseres først?
8. Hvordan blir avvik fra produksjonsplanene behandlet?
9. Hva er de(n) største utfordringene når det gjelder å følge produksjonsplanene?
10. Hvorfor tror du dette er en utfordring?

Intervjuene ble i hovedsak utført av operatører innenfor de ulike operasjonene i produksjonssystemet.

Samtalene ble ikke tatt opp, men notatblokk ble benyttet.