

CHALMERS



Reducering av genomloppstid i produktionen vid Manufaktor AB

Reduction of Manufacturing Throughput Time at Manufaktor AB

Kandidatarbete i Industriell ekonomi

Martina Andreasson
Amanda Bankel
Isabelle Cedulf
Sara Landfors
Adam Myrén
Jenny Olsson

Institutionen för Teknikens ekonomi och organisation
Avdelningen för Logistik och transport
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2015
Kandidatarbete TEKX04-15-07

Sammandrag

Denna rapport behandlar en studie på ett företag, i rapporten benämnt Manufaktor, med cirka 100 anställda. Företaget tillverkar metallprodukter och upplever problem med kapitalbindning, flexibilitet, konkurrenskraft och ledtid för en av sina produktfamiljer, kallad Sigma. Gemensamt för dessa problem är att de kan kopplas till lång genomloppstid i verkstaden. Syftet med studien är att ta fram förslag på hur Sigmaprodukternas genomloppstid kan reduceras på Manufaktor. Syftet har tagits fram i samråd med företaget och har tidigare rapporterats i en förstudie.

Det teoretiska ramverket tar sin utgångspunkt i kötid eftersom kötid utgör majoriteten av genomloppstiden på företaget. Ramverket behandlar resursutnyttjande och variationer, layout, material- och produktionsstyrning samt batchstorlek, vilka är områden som potentiellt kan påverka kötiden för Manufaktors produktfamilj. För att identifiera orsaker till kötid i produktionen genomfördes datainsamling inom varje område. Gällande resursutnyttjande och variationer, layout samt material- och produktionsstyrning användes mestadels halvstrukturerade intervjuer med anställda i produktionen. Information om batchstorlek erhöles med hjälp av strukturerade intervjuer. Därtill kompletterades datainsamlingen med bland annat sekundärdata från Manufaktors materialplaneringssystem.

Problem kopplade till kötid identifierades genom analys av det empiriska materialet. Högt resursutnyttjande i kombination med stora variationer är problematiskt eftersom detta ger upphov till produktionsstörningar som leder till kötid. Den funktionella layouten i företagets verkstad är inte optimerad för Sigmaproduktionen, vilket leder till ett materialflöde som är svårt att styra och därmed att artiklar ofta får vänta på ledig maskintid. Material- och produktionsstyrningen tillämpar ett tryckande system som ger upphov till buffertar i form av lager och således också kötid. Vidare innebär stor batchstorlek att komponenter måste vänta i kö medan övriga i batchen bearbetas. För att komma till rätta med dessa problem presenteras förändringsförslag, bland annat i form av standardisering av processer, minskat resursutnyttjande, minskad batchstorlek, celllayout samt dragande system. Dessutom presenteras en rad förutsättningar för att genomföra dessa förändringar.

Förändringsförslagen har potential att reducera kötiden, vilket i sin tur leder till reducerad genomloppstid. Vidare har förändringsförslagen positiv påverkan på ekonomisk och ekologisk hållbarhet för Manufaktor. En implementering av förändringsförslagen leder till minskad kapitalbindning. Det kan även medföra ökad flexibilitet, ökad konkurrenskraft och minskad ledtid, men eftersom studien inte fokuserat på områdena i fråga krävs ytterligare studier för att klarlägga sådana effekter vid Manufaktor.

Abstract

This report discusses a study of company, called Manufaktor, with about 100 employees. The company is a producer of metal products, and experiences problems regarding capital accumulation as work-in-progress inventory, flexibility, competitive power and lead time of one of its product families -Sigma. These four problems can be linked to excessive manufacturing throughput time in the plant. The aim of the study is to present suggestions as to how manufacturing throughput time for the Sigma products can be reduced. The aim has been developed in cooperation with the company and has been presented in a pre-study.

Further, the theoretical framework is based on queue time, as this constitutes the majority of manufacturing throughput time at Manufaktor. The framework includes machine utilization and variability, layout, production planning and control, as well as batch size, since these are areas that potentially affect queue time. In order to identify reasons for production queue time, empirical studies were conducted to gather data regarding all areas included in the theoretical framework. Regarding machine utilization and variability, layout, and production planning and control, semi structured interviews with production employees were used. Information regarding batch size was obtained through structured interviews. Also, secondary source data from Manufaktor's material requirements planning system was used.

The reasons for queue time at Manufaktor are identified through analysis of the empirical material. High resource utilization combined with a substantial amount of variability is problematic, because it gives rise to production disturbances that cause queue time. The job shop layout of the plant is not optimal for the Sigma production. It causes difficulties in controlling the materials flow, which consequently causes components to wait for free machine time. Furthermore, the production planning and control applies a push system which gives rise to buffer inventories, and therefore also queue time. Finally, a large batch size means components must wait until the entire batch has been processed, resulting in queue time. In order to reduce the impact of these issues, the following suggestions for change are presented: Standardized processes, reduced machine utilization, a cellular layout, and a pull system. In addition, prerequisites needed in order to implement these changes are presented.

In effect, the suggestions have the potential to reduce queue time, which leads to reduced manufacturing throughput time. Further, the suggestions will have a positive impact on Manufaktor's economic and ecological sustainability. An implementation of the presented suggestions leads to reduced capital accumulation. Also, it may result in increased flexibility, increased competitive power and reduced lead time. However, since these areas are not the primary focus of this study, additional studies are required in order to highlight such effects at Manufaktor.

Förord

Denna kandidatuppsats skrevs under våren 2015 vid institutionen för Teknikens ekonomi och organisation på avdelningen för Logistik och transport på Chalmers tekniska högskola. Studien genomfördes på företaget som i rapporten kallas Manufaktor och handleddes av Mats Johansson, professor vid avdelningen för Logistik och transport.

Vi vill med detta rikta ett stort tack till alla anställda på Manufaktor som med ett leende på läpparna bidragit med åtskilliga timmar av sin tid till intervjuer, workshop och guidade rundvandringar i produktionen. Ett särskilt tack riktas till Manufaktors produktionschef som outtröttligt svarat på frågor och tillhandahållit ovärderlig information, utan vilken studien inte hade kunnat genomföras.

Dessutom vill vi tacka Mats Johansson, som med tålamod och insiktsfullhet bidragit med hjälp, stöd och vägledning under studiens gång. Mats har varit delaktig och engagerad under hela processen och bidragit med den erfarenhet och kunskap vi själva saknat.

Slutligen vill vi också tacka kandidatgrupp TEKX04-15-06 för ett givande samarbete under våren.

Martina Andreasson, Amanda Bankel, Isabelle Cedulf, Sara Landfors, Adam Myrén och Jenny Olsson

Göteborg
2015-05-17

Innehållsförteckning

Sammandrag	ii
Abstract.....	iv
Förord	vi
1 Inledning.....	1
1.1 Introduktion till företaget.....	1
1.2 Företagets problembild	2
1.2.1 Likviditet och genomloppstid.....	2
1.2.2 Flexibilitet och genomloppstid	3
1.2.3 Konkurrenskraft och genomloppstid	3
1.2.4 Ledtid och genomloppstid	4
1.2.5 Betydelsen av genomloppstidsreducering	4
1.3 Syfte.....	4
1.3.1 Delsyften.....	5
1.3.2 Studiens omfattning och avgränsningar	5
1.4 Rapportens disposition	6
2 Teoretiskt ramverk.....	7
2.1 Uppdelning av genomloppstid i beståndsdelar	7
2.2 Utredning av områden som orsakar kötid	8
2.3 Orsaker till kötid.....	10
2.3.1 Resursutnyttjande och variationer	10
Variationer	10
Stillastående maskiner	11
Ställtid.....	11
Bearbetningstid.....	11
Kvalitet	11
Detaljerad modell av det teoretiska ramverket	11
2.3.2 Layout.....	12
Produkt-processmatrisen	12
Funktionell layout.....	13
Cellayout.....	13
Detaljerad modell av det teoretiska ramverket	14
2.3.3 Material- och produktionsstyrning	14
Tryckande och dragande system.....	14

Planeringspunkter	15
Synkronisering.....	15
PIA.....	16
Tryckande och dragande systems lämplighet.....	16
CONWIP	16
Detaljerad modell av det teoretiska ramverket.....	17
2.3.4 Batchstorlek.....	17
Tradeoff mellan kötid och flödestakt.....	17
Differentierade batchstorlekar	17
Förutsättningar för reduktion av batchstorlek	18
Detaljerad modell av det teoretiska ramverket.....	18
2.3.5 Komplette modell av det teoretiska ramverket.....	19
2.4 Hållbar utveckling	19
2.4.1 Definition.....	19
2.4.2 Ekonomisk hållbarhet	20
2.4.3 Ekologisk hållbarhet.....	20
3 Metod.....	21
3.1 Utredningsmetodik	21
3.1.1 Bekräftande av problembild och syftesformulering	21
3.1.2 Planering av studien	23
3.1.3 Utformning av teoretiskt ramverk	23
3.1.4 Datainsamling.....	24
Genomloppstidens beståndsdelar	24
Genomsnittlig genomloppstid.....	24
Bearbetningstid.....	24
Ställtid.....	25
Transporttid	25
Orsaker till kötid.....	25
Resursutnyttjande och variationer	25
Layout.....	26
Material- och produktionsstyrning	26
Batchstorlek.....	26
Begränsningar och krav	26
3.1.5 Analys och förändringsförslag.....	27

Genomloppstidens beståndsdelar	27
Orsaker till kötid.....	27
Resursutnyttjande och variationer	28
Layout.....	28
Material- och produktionsstyrning	28
Batchstorlek	28
Utvärdering av förändringsförslagen.....	28
3.1.6 Sammanställning av data	29
3.2 Insamling av empiriskt material	30
3.2.1 Primärdata.....	30
Direkt observation	30
Intervjuer	30
Strukturerad intervju.....	30
Halvstrukturerad intervju.....	31
Workshop	31
3.2.2 Sekundärdata	31
4 Analys av genomloppstid vid Manufaktor	33
4.1 Orienterande beskrivning av Sigmaproduktionen	33
4.2 Analys av genomloppstid för Sigmaprodukterna	34
5 Nulägesbeskrivning	35
5.1 Resursutnyttjande och variationer	35
5.1.1 Resursutnyttjande	35
5.1.2 Variationer	35
Stillastående maskiner	35
Ställtid.....	35
Bearbetningstid.....	35
Kvalitet	36
5.1.3 Begränsningar för förändring	36
5.2 Layout.....	36
5.2.1 Verkstadens utformning och maskinplacering	36
5.2.2 Begränsningar för förändring	37
5.3 Material- och produktionsstyrning	37
5.3.1 Material- och produktionsstyrningsprocessen	37
5.3.2 Indata till Monitor.....	38

5.3.3	Begränsningar för förändring	39
5.4	Batchstorlek	39
5.4.1	Produktions- och transportbatch	39
5.4.2	Begränsningar för förändring	39
6	Nulägesanalys	41
6.1	Resursutnyttjande och variationer	41
6.1.1	Resursutnyttjande	41
6.1.2	Variationer	41
	Stillastående maskiner	41
	Ställtid	41
	Bearbetningstid	41
	Kvalitet	42
6.2	Layout	42
6.3	Material- och produktionsstyrning	43
6.3.1	Materialplaneringsmetod	43
6.3.2	Produktionsstyrningsprocessen	43
6.3.3	Indata till Monitor	44
6.4	Batchstorlek	44
6.5	Sammanfattning av nulägesanalys	45
7	Förändringsförslag	47
7.1	Begränsningar och krav	47
7.2	Kötidsreduktion	47
7.2.1	Resursutnyttjande och variationer	47
	Resursutnyttjande	47
	Variationer	48
	Stillastående maskiner	48
	Ställtid	48
	Bearbetningstid	48
	Kvalitet	49
7.2.2	Layout	49
7.2.3	Material- och produktionsstyrning	51
7.2.4	Batchstorlek	52
7.2.5	Sekventiellt beroende mellan förändringsförslagen	53
7.3	Utvärdering med avseende på genomloppstid	54

7.4	Utvärdering med avseende på hållbar utveckling.....	55
7.4.1	Ekonomisk hållbarhet.....	55
7.4.2	Ekologisk hållbarhet.....	55
8	Diskussion	57
8.1	Manufaktors problembild	57
8.1.1	Förändringsförslagets effekt på PIA	57
8.1.2	Förändringsförslagets effekt på flexibilitet.....	57
8.1.3	Förändringsförslagets effekt på konkurrenskraft.....	57
8.1.4	Förändringsförslagets effekt på ledtid	58
8.2	Utformning av teoretiskt ramverk	59
8.3	Utformning av metod	59
8.4	Studiens omfattning och avgränsningar	59
8.4.1	Leverantörs- och kundrelationer.....	59
8.4.2	Utformning av förändringsförslag.....	60
9	Slutsatser.....	61
10	Källförteckning.....	63
	Appendix A – Intervjumallar.....	i
	Appendix B – Read a Plant	v
	Appendix C – Kapitalbindning.....	vi
	Appendix D – Transporttid.....	viii
	Appendix E – Beläggningsbar maskintid	xii
	Appendix F – Maskingruppering.....	xiii
	Appendix G – Antal möjliga ställ.....	xiv
	Appendix H – Räkneexempel genomloppstid	xv
	Appendix I – Räkneexempel kapitalbindning	xix

1 Inledning

Denna rapport behandlar en studie kring reduktion av genomloppstid på verkstadsindustriföretaget Manufaktor AB, härnäst benämnt Manufaktor. I detta kapitel redogörs för studiens bakgrund, syfte och slutligen rapportens disposition.

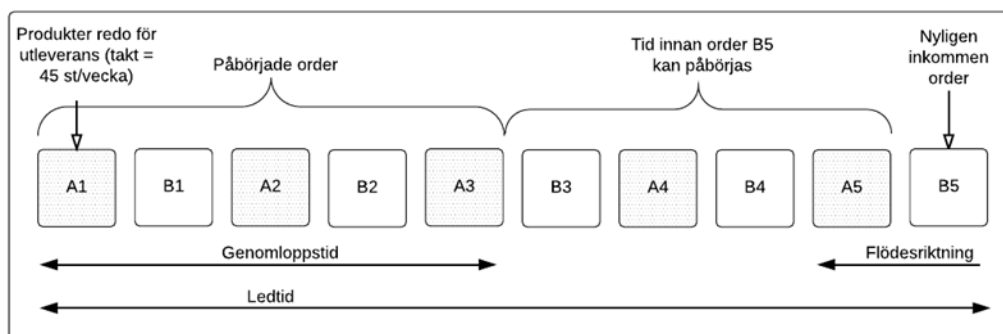
1.1 Introduktion till företaget

Manufaktor är ett företag med cirka 100 anställda och tillverkar produkter inom tre affärsområden: Sigma, Gamma, samt specialbeställningar av metallprodukter. Sigma är det största affärsområdet och står för cirka 50 procent av omsättningen. Det är enligt företaget det viktigaste segmentet och denna rapport kommer härnäst uteslutande att behandla dessa produkter.

Varje Sigmaprodukt består av många metallkomponenter vilka i sin tur består av flertalet delar. Manufaktor tillverkar i huvudsak två olika Sigmavarianter, typ A och B, som produktionsmässigt har mycket lika flöden. En Sigmaprodukt väger 17 kilo.

Produktionen av Sigmaprodukterna sker i en verkstad med i huvudsak svarv-, fräs-, och svetsoperationer. Sigmaprodukterna produceras mot order och har i dagsläget en genomsnittlig genomloppstid på knappt 17 veckor. Genomloppstid definieras i denna studie som tiden från det att en tillverkningsorder av den första ingående komponenten släpps i produktionen till det att produkten är helt färdigmonterad och klar för leverans. Under tillverkningsprocessen skickas produkterna till en extern part för ytbehandling. Denna behandling tar tre veckor och inkluderas i den totala genomloppstiden. Leverans sker uteslutande i batcher om 30 produkter, då detta är den ordervolym i vilken de köps av kunderna.

Flödestakten är för närvarande 45 Sigmaprodukter i veckan, vilket i snitt innebär att en och en halv order levereras till kund per vecka. Företaget har möjlighet att öka flödestakten, men då detta innebär stora kostnader i form av övertidsarbete alternativt införande av fler skift, vill Manufaktor undvika detta. Efterfrågan på Sigmaprodukter är för tillfället hög och den begränsande flödestakten medför att ledtiden blir lång (se figur 1.1). Ledtid definieras som tiden från det att kunden lägger en order till dess att leveransen mottagits. För Sigmaprodukter är ledtiden i dagsläget cirka 40 veckor.



Figur 1.1 Förhållandet mellan genomloppstid och ledtid. A1-B5 representerar order i systemet, varav A1-A3 är påbörjade. Ledtiden för nya order blir lång eftersom endast en och en halv order utleveras per vecka.

1.2 Företagets problembild

Trots att efterfrågan på Sigmaprodukter för tillfället är hög och stabil har den under tidigare år visat prov på att vara mycket varierande. Orsaken till denna variation är att Manufaktor står i en stark beroendeställning till en kund som står för en stor majoritet av omsättningen för just Sigmaprodukter. Vidare producerar denna kund själv Sigmaprodukter, vilket innebär att Manufaktors största kund också är en konkurrent. På grund av konkurrenssituationen vill kunden inte bygga en nära relation med Manufaktor. Därmed är det av yttersta vikt för Manufaktor att istället bedriva en konkurrenskraftig verksamhet eftersom de konkurrerar med kundens egen produktion vad gäller ledtid, pris, kvalitet och flexibilitet. I sin strävan mot att förbättra sin produktionsprocess inom dessa områden har Manufaktor sedan en tid tillbaka påbörjat ett arbete med att utbilda medarbetare i Lean Production. Lean Production är en produktionsfilosofi som innefattar principer för att bland annat minska slöserier och för att standardisera processer (Monden, 1998). Ytterligare ett sätt för Manufaktor att vara långsiktigt konkurrenskraftiga är att bedriva en hållbar produktion. Med hållbar produktion menas att tillgodose alla företagets intressenters (så som ägare, anställda, kunder och samhället) behov utan att äventyra företagets möjlighet att tillfredsställa framtida intressenters behov (Dyllick och Hockerts, 2001). Det är därmed viktigt att eventuella förändringar och projekt som drivs igenom utvärderas ur ett hållbarhetsperspektiv med avseende på någon eller några av dimensionerna ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet.

Osäkerheten i efterfrågan i kombination med beroendeställningen till Sigmakunden innebär en stor risk för Manufaktor. Detta har lett till att Manufaktor försöker frigöra kapacitet i verkstaden för att i större utsträckning möjliggöra produktion av andra kunders order och således inleda nya relationer med dessa kunder. Andra kunder efterfrågar i regel inte Sigmaprodukter, utan det rör sig då om andra metallprodukter.

De problem som Manufaktor har i dagsläget innefattar likviditetsbrist, otillräcklig flexibilitet, behov av ökad konkurrenskraft och kundkrav på kortare ledtid. Efterföljande delkapitel kommer att behandla dessa mer djupgående.

1.2.1 Likviditet och genomloppstid

I samband med de stora variationerna i efterfrågan har Manufaktor haft problem med likviditetsbrist. Detta beror på att Sigmaproduktionen är kapitalintensiv och att det dröjer lång tid från inköp av råmaterial till dess att betalning inkommer från kund. Produkterna befinner sig alltså länge i produktionen i form av produkter i arbete, PIA, vilket är problematiskt både ur likviditets- och kapitalkostnadssynpunkt eftersom produkterna är kostsamma. Att produktionen har stor mängd PIA har bekräftats med metoden *Read a Plant - Fast* som Goodson (2002) utformat för att utvärdera en produktion. För en mer detaljerad beskrivning, se kapitel 3 *Metod*.

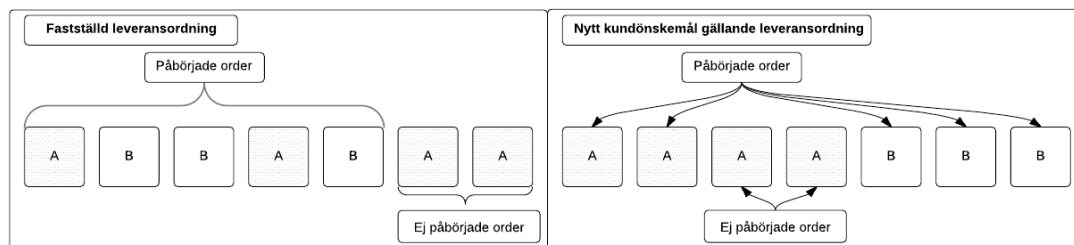
Ett sätt att minska PIA är att minska genomloppstiden för produkten, vilket bekräftas av både Gross och Soriano (1986) samt Shah och Ward (2007). Detta är dessutom i enlighet med Littles (1961) lag som enligt bland andra Jewell (1967), Maxwell (1970) och Stridham (1974) är en vedertagen formel för köteori (se ekvation 1.1). Genom ett proportionerligt matematiskt förhållande mellan PIA och genomloppstid visar

ekvationen att minskad genomloppstid minskar PIA, förutsatt att flödestakten är konstant.

$$PIA = \text{Flödestakt} \times \text{Genomloppstid} \quad [1.1]$$

1.2.2 Flexibilitet och genomloppstid

Sigmakunden vill ofta ändra om i leveransföljden mellan lagda order (se figur 1.2). Förändringarna tilläts tidigare eftersom de ökar kundnöjdheten men har i dagsläget begränsats eftersom problemen de orsakar är för stora. Problemen tar sig i uttryck i att produktionsledare och operatörer blir förvirrade och frustrerade. Detta kan förklaras med att produktionssystemet inte är tillräckligt flexibelt för att hantera dessa förändrade önskemål. Flexibilitet definieras här i enlighet med Tsourveloudis och Phillis (1998) som ett produktionssystems förmåga att anpassa sig till förändrade externa förutsättningar och osäkerheter kopplade till produktionsprocesserna.



Figur 1.2 Illustration av förändrade kundönskemål gällande leveransordning mellan två varianter (A och B).

Manufaktors sätt att hantera den otillräckliga flexibiliteten är alltså att låsa en tidszon för lagda order. Denna tidszon kommer i enlighet med Mattsson och Jonssons (2013) definition benämnas avrop. Avrop innebär den del av utleveransplanen som inte får ändras utan vidare av kunden, specifikt gällande ordningsföljden på leverans av olika Sigmavarianter. Eftersom problemen kopplade till ändrade kundönskemål främst uppstår vid ändring av order där tillverkning påbörjats har avropet satts till att vara lika långt som genomloppstiden. På så sätt tillåts inte kunden ändra ordningsföljd för några produkter vars ingående komponenter börjat tillverkas.

Cross och Lynch (1988) menar att en reducerad genomloppstid ger ökad flexibilitet eftersom det innebär att förändrade kundönskemål snabbare kan besvaras. I Manufaktors fall innebär ökad flexibilitet att behovet av ett långt avrop minskar. Manufaktor hade således kunnat öka sin flexibilitet, och därmed också kundnöjdheten, genom en reducerad genomloppstid.

1.2.3 Konkurrenskraft och genomloppstid

Anställda på Manufaktor menar att genomloppstiden på cirka 17 veckor är betydligt längre än tiden det tar att tillverka en Sigmaproduct om alla operationer skulle utföras sekventiellt utan att vänta på någon komponent eller operation. De menar därmed att Manufaktor har stora möjligheter att reducera användandet av tid i produktionen. Enligt Bower och Hout (1988) ger en reduktion av användandet av tid konkurrensmässiga fördelar.

Principen tidsbaserad konkurrenskraft bygger på att tid är en resurs och att företag bör hushålla med tid precis som med andra produktionsresurser (Stalk, 1988). Tersine och

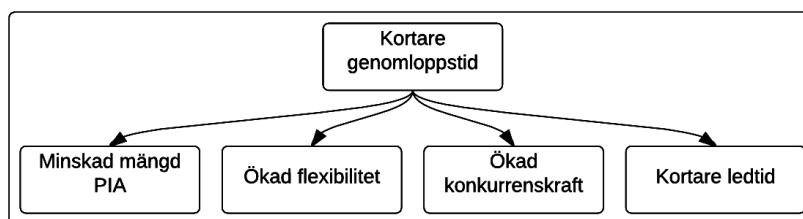
Hummingbird (1995) hävdar att ett reducerat användande av tid förbättrar konkurrensmedel så som kostnad, kvalitet, kundservice och flexibilitet mångfaldigt. Hum och Sim (1996) menar att tidsbaserad konkurrenskraft innefattar tidsreducering av alla produktens faser från produktutveckling och produkttillverkning till produktleverans, där genomloppstiden då är tiden för produkttillverkningsfasen. En minskad genomloppstid hade således kunnat bidra till att ge Manufaktor konkurrensmässiga fördelar, något som företaget är i behov av på grund av den speciella kundrelationen.

1.2.4 Ledtid och genomloppstid

I dagsläget upplever Manufaktor påtryckningar från Sigmakunden gällande kort leddid. Eftersom företagets flödestakt i nuläget är 45 Sigmaprodukter i veckan finns en leddidsbegränsning (se figur 1.1) som synliggörs när efterfrågan stiger kraftigt. Schmenner och Swink (1998) menar att ökad produktivitet kan uppnås genom att minska användandet av tid. I Manufaktors fall skulle detta innebära att ett minskat användande av tid, exempelvis minskad genomloppstid, skulle kunna resultera i en ökad produktivitet. Därmed skulle det innebära möjlighet att öka flödestakten till mer än 45 Sigmaprodukter i veckan, utan att investera i kapacitetsökningar i form av exempelvis nya maskiner.

1.2.5 Betydelsen av genomloppstidsreducering

Manufaktor har problem med stor mängd PIA och otillräcklig flexibilitet. Dessutom har företaget ett behov av att öka sin konkurrenskraft och att minska Sigmaprodukternas leddid. Reducerad genomloppstid kan minska PIA (Little, 1961) och dessutom öka flexibiliteten (Cross och Lynch, 1988). Vidare kan reducerad genomloppstid bidra till ökad konkurrenskraft (Hum och Sim, 1996) samt kortare leddid eftersom produktiviteten kan öka (Schmenner och Swink, 1998). Sammanfattningsvis skulle en reducerad genomloppstid föra med sig stora fördelar för Manufaktors verksamhet, vilket illustreras i figur 1.3.



Figur 1.3. Illustration av de fördelar reducerad genomloppstid medför hos Manufaktor.

1.3 Syfte

Eftersom åtgärder som reducerar genomloppstid för med sig fördelar i form av minskad mängd PIA, ökad flexibilitet, ökad konkurrenskraft samt kortare leddid kommer studiens syfte fokuseras kring reduktion av genomloppstid på Manufaktor.

Syftet med studien är att ta fram förslag på hur Sigmaprodukternas genomloppstid kan reduceras på Manufaktor.

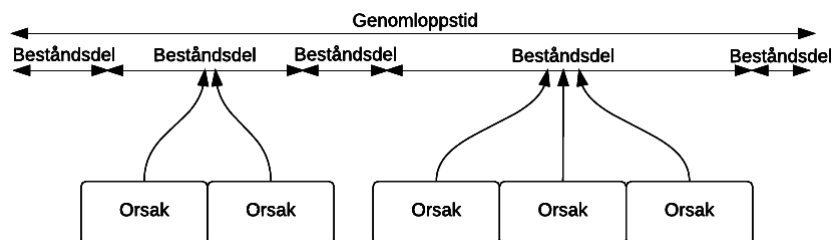
1.3.1 Delsyften

Genomloppstid består av flera beståndsdelar (se figur 1.4). För att studiens syfte ska uppnås är det rimligt att ta fram förslag som innebär att de mest väsentliga beståndsdelarna av genomloppstid reduceras. Ett första delsyfte är därmed att:

- A. identifiera de beståndsdelar som utgör väsentliga andelar av den totala genomloppstiden för Sigmaprodukter (se kapitel 4 *Analys av genomloppstid vid Manufaktur*).

För att sedan förstå varför dessa beståndsdelar utgör väsentliga delar av den totala genomloppstiden är nästa delsyfte att:

- B. identifiera och analysera orsaker (se figur 1.4) till att de identifierade beståndsdelarna bidrar till den totala genomloppstiden (se kapitel 6 *Nulägesanalys*).



Figur 1.4 Schematisk illustration av delsyfte A och B:s koppling till genomloppstid i det fall två väsentliga beståndsdelar av genomloppstid identifierats med två, respektive tre orsaker.

För att ta fram förändringsförslag som är användbara för Manufaktur ska studien:

- C. sammanställa de begränsningar och krav som finns för förändringsförslagets utformning (se kapitel 7 *Förändringsförslag*).

Därefter kan förslag för att reducera beståndsdelarnas bidrag till genomloppstid tas fram. Dessa kommer att refereras till som förändringsförslag. Förändringsförslagen ska utvärderas med avseende på i vilken utsträckning de reducerar genomloppstid, samt med avseende på den utsträckning i vilken de påverkar de ekonomiska och ekologiska dimensionerna av genomloppstid. För att förändringsförslagen ska vara användbara ska de även utformas med utgångspunkt i eventuella sekventiella beroendeförhållanden, alltså huruvida något förändringsförslag måste genomföras innan ett annat påbörjas. Det sista delsyftet är:

- D. att utforma och utvärdera förslag för hur beståndsdelarnas bidrag till genomloppstid kan minskas med hänsyn tagen till eventuella sekventiella beroendeförhållanden (se kapitel 7 *Förändringsförslag*).

1.3.2 Studiens omfattning och avgränsningar

Studien kommer inte innefatta någon utredning av kund- eller leverantörsrelationer. Således kommer möjligheter att påverka kundkrav eller leverantörsvillkor inte att behandlas. Därtill kommer studien endast att redogöra för den Sigmaproduktion som sker innanför väggarna på Manufaktors verkstad. Avgränsningen medför därmed att tiden då Sigmaprodukterna ytbehandlas hos extern part betraktas som konstant.

De förändringsförslag som presenteras kommer att vara av principiell karaktär. Innebörden av detta är att förändringsförslagen inte kommer inkludera kriterier för när och hur ett förändringsförslag kan anses genomfört. Således inkluderas ej implementeringsplaner eller exakta tidshorisonter i förändringsförslagen.

1.4 Rapportens disposition

Rapporten är disponerad enligt följande: I kapitel 2 *Teoretiskt ramverk* redogörs för det teoretiska ramverk som används för att strukturera studiens datainsamling och analys. I kapitel 3 *Metod* redogörs för den metod som använts under studiens gång. Vidare följer, i kapitel 4 *Analys av genomloppstiden på Manufaktor*, en analys av genomloppstidens beståndsdelar på Manufaktor. Därpå, i kapitel 5 *Nulägesbeskrivning*, redogörs för produktionens nuläge som sedan analyseras i kapitel 6 *Nulägesanalys*. I kapitel 7 *Förändringsförslag* berörs därefter begränsningar och krav för förändringsförslag, möjliga förändringsförslag och förutsättningar för dessa, förändringsförslagets sekventiella ordningsföljd vid implementering, samt utvärdering av förslagen. I kapitel 8 *Diskussion*, diskuteras effekter av förändringsförslagets samt studiens begränsningar. Avslutningsvis sammanställs studiens slutsatser i kapitel 9 *Slutsatser*.

2 Teoretiskt ramverk

För att uppnå studiens syfte och angripa problematiken kopplad till genomloppstid behövs en analysmodell. I detta kapitel presenteras inledningsvis olika sätt att dela upp genomloppstid i beståndsdelar. Därefter redogörs för teorier om vad som ger upphov till kötid och vidare följer detaljerad teori inom de orsaker till kötid som är relevanta för studien. En analysmodell presenteras och kapitlet avslutas med teori inom hållbar utveckling som ligger till grund för utvärdering av förändringsförslag.

2.1 Uppdelning av genomloppstid i beståndsdelar

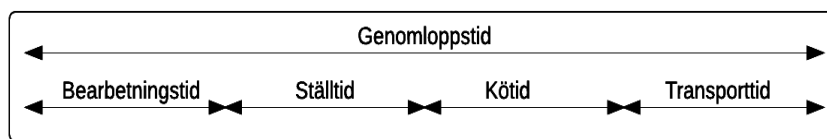
Forskning kring genomloppstid är inte samstämmig gällande uppdelning av genomloppstid i beståndsdelar. En sammanställning av möjliga uppdelningar presenteras i tabell 2.1

Tabell 2.1 Sammanställning av forskning kring uppdelning av genomloppstid i beståndsdelar.

	Monden (1998)	Johnson (2003)	Salum och Araz (2009)	Bartezzaghi m.fl. (1994)	Singh m.fl. (2013)	Rajenthirakumar och Harikarthik (2011)	Wacker (1996)
Bearbetnings-tid	x	x	x	x	x	x	x
Stålltid	x	x	x	x	x	x	
Kötid	x	x	x	x	x (före och efter bearbetning)	x (före och efter bearbetning)	x
Transporttid	x	x	x	x	x	x	x
Synkro-niseringstid				x			
Problem-lösningstid				x			

Monden (1998), Johnson (2003) samt Salum och Araz (2009) menar att genomloppstid kan delas in i bearbetningstid, stålltid, kötid och transporttid. Monden (1998) definierar de fyra beståndsdelarna enligt följande: bearbetningstid är den tid då material bearbetas, även kallat operationstid; stålltid är den tid som går åt till att förbereda maskinen för bearbetning; transporttid är tiden då materialet förflyttas och kötid är tiden då materialet behöver vänta på att bearbetas eller förflyttas. Bartezzaghi m.fl. (1994) menar att genomloppstid förutom dessa fyra beståndsdelar dessutom kan delas in i synkroniseringstid och problemlösningstid. Synkroniseringstid är en typ av väntetid som separerats från kategorin kötid. Synkroniseringstid definieras som tid då artiklar väntar på att exempelvis påbörja montering på grund av att alla ingående artiklar inte finns direkt tillgängliga. Problemlösningstid är en annan typ av väntetid som uppkommer då oförutsägbara problem måste lösas för att åtgärda stopp i produktionen.

Studiens teoretiska ramverk tar sin utgångspunkt i en modell som inkluderar de fyra beståndsdelar av genomloppstid som Monden (1998), Johnson (2003) samt Salum och Araz (2009) identifierat, se figur 2.1. Anledningen till att modellen inte innefattar alla nämnda beståndsdelar är att det inte behövs för att modellen ska vara lämpad för studien. Då studien inte kräver en uppdelning av kötid inkluderas synkroniseringstid, problemlösningstid samt kötid före- och efter bearbetning i modellens definition av kötid. Den valda indelningen är således effektiv för att uppnå studiens syfte.



Figur 2.1 Illustration av genomloppstidens beståndsdelar. Pilarnas längder är inte anpassade efter verkliga förhållanden.

Uppdelningen i figur 2.1 används i kapitel 4 *Analys av genomloppstid vid Manufaktor* för att i enlighet med delsyfte A utreda vilken eller vilka av de fyra beståndsdelarna som utgör väsentliga andelar av genomloppstiden på Manufaktor.

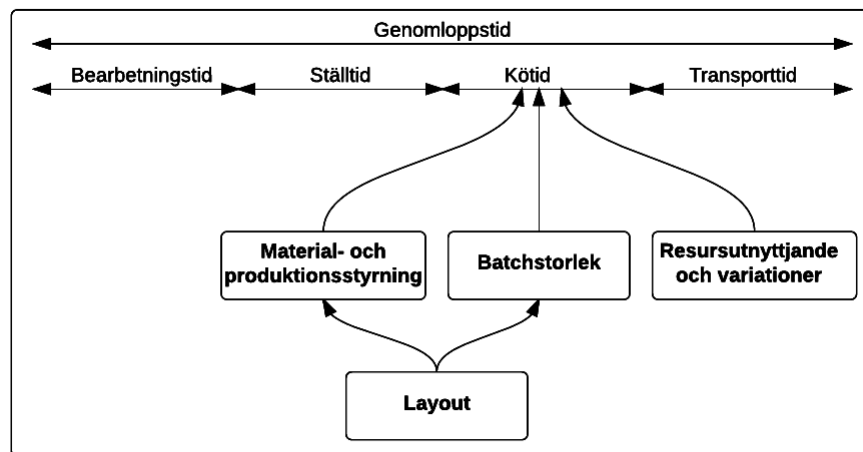
2.2 Utredning av områden som orsakar kötid

Den teori som behandlas härnäst kommer att fokusera på kötid, i enlighet med resultatet av kapitel 4 *Analys av genomloppstid vid Manufaktor*. Där konstateras att 98 procent av Manufaktors genomloppstid utgörs av kötid. Karmarkar (1987) menar att det inte är ovanligt att kötid utgör majoriteten av genomloppstiden i fabriker med funktionell layout där produkter produceras i batcher. Koo m.fl. (2007) menar också att kötid vanligtvis är den största bidragande faktorn till en produkts genomloppstid och Karmarkar m.fl. (1985) menar att den kan stå för upp till 90 procent av den totala genomloppstiden.

Tabell 2.2 Presentation av orsaker till kötid. Indelningen innebär att respektive författare uppgett att orsakerna är väsentliga för kötid, men innebär inte att de anser dem vara de enda orsakerna till kötid. Produkters heterogenitet innebär den utsträckning i vilken produkter inte liknar varandra produktionsmässigt. Sekvensering av produktflöde innebär att produkter ordnas i en speciell sekvens vid produktion.

	Monden (1998)	Karmarkar (1987)	Johnson (2003)	Andries och Gelders (1995)	Shafer och Charnes (1993)	Karmarkar m.fl. (1985)	Wacker (1996)	Salum och Araz (2009)
Mängd variationer	x	x	x					
Andel resursutnyttjande (maskiner)		x	x					
Material- och produktionsstyrning	x	x						
Batchstorlek	x	x	x	x	x	x		
Antal köer i produktionen			x					
Sekvensering av produktflöde		x						
Antal operationer i produktionen				x	x			
Mängd PIA				x				
Produkters heterogenitet		x			x			
Bearbetningstid			x		x			x
Stålltid			x				x	x
Transporttid			x					x

I tabell 2.2 presenteras en sammanställning över vilka orsaker till kötid olika författare identifierar. Det står klart att författarna delvis belyser olika orsaker till kötid. En anledning till detta kan vara att många faktorer påverkar varandra och att entydiga samband därför är svåra att se. Exempelvis kan antal köer direkt påverka kötid samtidigt som antal köer är ett resultat av sättet material- och produktionsstyrning samt layout används på. På samma sätt kan sekvensering anses vara ett resultat av material- och produktionsstyrning och inte en enskild faktor som påverkar kötid. En modell för det teoretiska ramverket har utformats med dessa samband i åtanke, se figur 2.2.



Figur 2.2 En modell av det teoretiska ramverket om kötidens orsaker.

Trots att layout inte nämns i tabell 2.2 inkluderas detta område i modellen eftersom layout har en stark koppling till batchstorlek samt material- och produktionsstyrning. Johnson (2003) menar att en viss layout eller maskinplacering är en förutsättning för att batchstorleken ska kunna minskas. Dessutom menar Burbidge (1991) och Kumar m.fl. (2013) att layout påverkar transportsträckor i verkstaden, vilket i sin tur påverkar möjlig batchstorlek och materialstyrning.

Som kan ses i figur 2.2 har inte sekvensering, antal köer, antal operationer i produktionen, mängd PIA eller produkters heterogenitet inkluderats som egna områden i modellen. Dessa områden innefattas istället av de områden som har inkluderats. Sekvensering innefattas av material- och produktionsstyrning. Antal köer och antal operationer innefattas i material- och produktionsstyrning, resursutnyttjande och variationer samt layout. Mängden PIA är kopplat till samtliga områden i modellen och produkters heterogenitet innefattas i variationer. Vidare har inga pilar dragits från bearbetnings-, ställ-, samt transporttid till kötid, trots att dessa beståndsdelar kan påverka kötid. Orsaken till detta är att bearbetningstid och ställtid kommer att beröras under variationer och transporttid under layout.

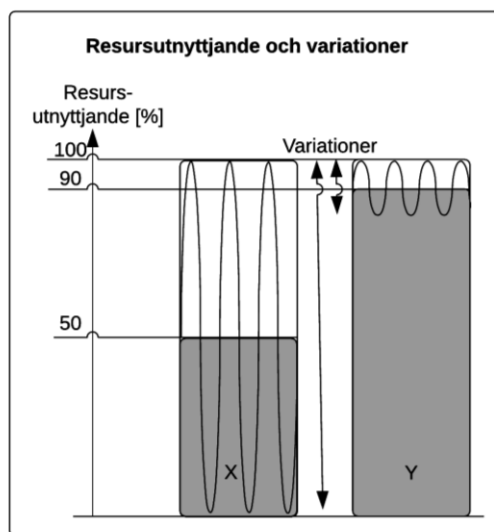
Modellen är lämplig för att uppnå studiens syfte eftersom den inkluderar de områden där förändringsförslag på Manufaktor kan tas fram. Modellen är därmed användbar för studien.

2.3 Orsaker till kötid

I kommande delkapitel presenteras de fyra orsakerna till kötid som studiens modell för det teoretiska ramverket innefattar. Resursutnyttjande och variationer är oberoende av övriga områden och behandlas därmed först. Därefter presenteras layout som påverkar vilken material- och produktionsstyrning samt batchstorlek som är möjlig för en produktion. Avslutningsvis redogörs för teori inom material- och produktionsstyrning samt batchstorlek.

2.3.1 Resursutnyttjande och variationer

I alla produktionssystem förekommer variationer som bör hanteras med hjälp av kapacitetsbuffertar, det vill säga genom att ha ett lågt resursutnyttjande av maskiner (Hopp och Spearman, 2004). Kingman (1961) visar att stora variationer i kombination med högt resursutnyttjande leder till lång kötid, vilket illustreras i figur 2.3. Hopp och Spearman (2004) menar att ett företag till att börja med bör reducera kötid genom att sänka resursutnyttjandet. När företaget lyckats minska variationerna kan resursutnyttjandet ökas igen utan att kötiden blir längre. Enligt Mikati (2010) ger en utnyttjandegrad på 85 procent i regel en kort kötid, men om variationerna i processen är stora kan utnyttjandegraden behöva sänkas till 50 procent.



Figur 2.3 Samband mellan möjligt resursutnyttjande och grad av variation. Vid stora variationer krävs lägre resursutnyttjande för att undvika störningar i produktionen (X). Vid små variationer är högre resursutnyttjande möjligt (Y).

Variationer

Alla typer av variationer som förekommer i en fabrik skapar störningar i produktionen (Lindhard, 2014). Johnson (2003) menar att variationer ökar sannolikheten för att en batch som anländer till en maskin måste vänta på att maskinen ska bli ledig. Varje gång en batch måste vänta uppstår kötid. En liten ökning i variationer skapar en stor ökning i kötid och det är därför önskvärt att minska variationer för att på så sätt kunna minska kötiden (Johnson, 2003). Nedan presenteras de variationer som är aktuella för studien.

Stillastående maskiner

Variationer relaterade till driftstopp i maskiner uppkommer enligt Johnson (2003) på grund av exempelvis maskinhaverier och personalfrånvaro. Johnson menar att variationer orsakade av maskinhaverier kan minskas genom förebyggande arbete. Shah och Ward (2007) menar att personalfrånvaro kan hanteras genom att operatörer lär sig manövrera olika typer av maskiner. Om en operatör är frånvarande kan en annan då ta över arbetsuppgifterna istället för att maskinen blir stillastående. Variationer orsakade av personalfrånvaro kan också hanteras genom att öka tillgången på resurser, exempelvis genom nyanställning (Johnson, 2003).

Ställtid

Variationer i ställtid uppstår när operatörer utför arbetsuppgifter på olika sätt (Johnson, 2003). För att minimera skillnader i kunskap och tillvägagångssätt menar Monden (1998) att det är nödvändigt att införa ett standardiserat arbetssätt. Monden menar dessutom att det standardiserade arbetssättet regelbundet bör utvärderas och uppdateras.

Bearbetningstid

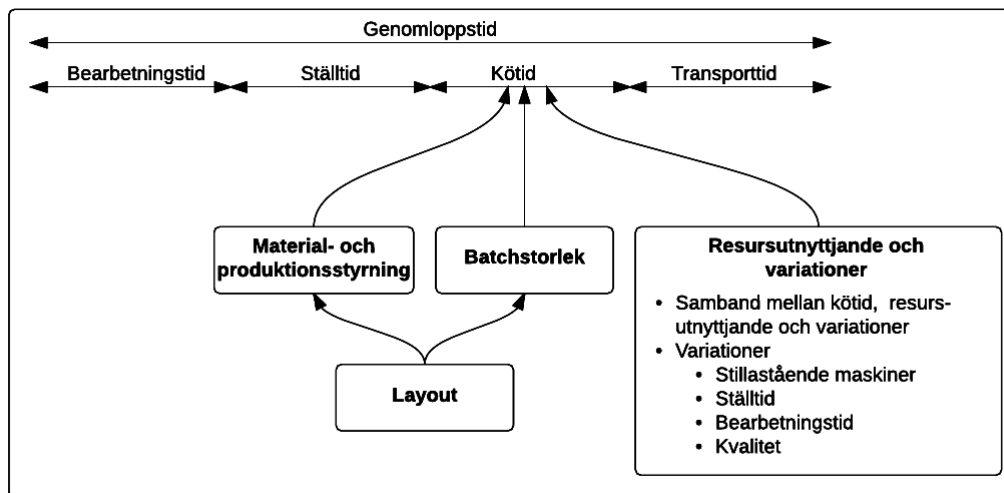
Enligt Johnson (2003) kan variationer i bearbetningstid uppstå om en komponent inte alltid bearbetas i samma maskin. Variationerna uppkommer eftersom det tar olika lång tid för olika maskiner att bearbeta samma komponent. Johnson poängterar också skillnader i materialkvalitet påverkar hur lång tid som krävs för bearbetning och att de variationer som uppstår på grund av detta kan minskas genom striktare kontroll av råmaterialens kvalitet.

Kvalitet

Shah och Ward (2007) menar att variationer i produktkvalitet är problematiskt i en produktion då det leder till omarbete vilket upptar tid i maskiner. Shah och Ward presenterar ett sätt att minska kvalitetsvariationer genom att införa noggranna rutiner kring kvalitetskontroll. Johnson (2003) nämner att en slutkontroll kan införas i syfte att upptäcka kvalitetsfel, men förespråkar arbete i förebyggande syfte framför slutkontroll. Monden (1998) förordar användandet av egenkontroll vid varje station då det leder till att defekter upptäcks snabbare samt att operatörerna blir mer motiverade att själva säkerställa kvaliteten. Gupta och Wilborn (1989) poängterar dock att det vid egenkontroll krävs att operatörer har tillräcklig kunskap rörande kvalitet och förses med en tydlig beskrivning över hur kontrollen ska genomföras.

Detaljerad modell av det teoretiska ramverket

I figur 2.4 presenteras en mer detaljerad modell av det teoretiska ramverket där området resursutnyttjande och variationer fördjupats med hjälp av teori gällande hur området påverkar kötid.



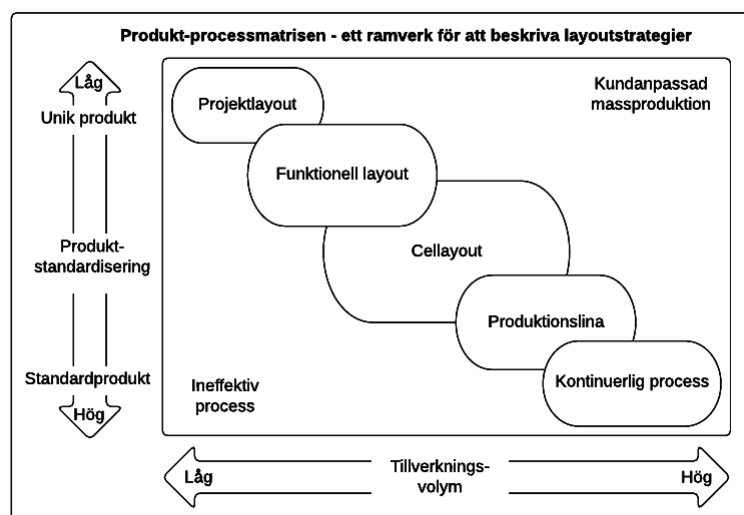
Figur 2.4 En detaljerad modell av det teoretiska ramverket inom resursutnyttjande och variationer.

2.3.2 Layout

Vilken layout som är optimal för en produktion beror på utformningen av produkt och produktionsprocess. Inledningsvis presenteras därför ett ramverk för layoutstrategier och därefter beskrivs två olika layouttyper, vilka behandlas i kapitel 6 *Nulägesanalys* och kapitel 7 *Förändringsförslag*.

Produkt-processmatrisen

Ett ramverk för att beskriva olika layoutstrategier är produkt-processmatrisen, introducerad av Hayes och Wheelwright (1979). I figur 2.5 presenteras Jacobs och Chases (2012) variant av denna matris.



Figur 2.5 Produkt-processmatrisen (Jacobs och Chase, 2012).

Val av layout bör enligt matrisen baseras på produktens tillverkningsvolym och grad av standardisering. Exempelvis gynnas ett företag som tillverkar standardiserade produkter

i höga volymer av att använda en produktionslina (Hayes och Wheelwright, 1979). Safizadeh m.fl. (1996) poängterar dock att det inte räcker att bara förändra maskinplaceringen för att kunna uppnå fördelar av en ny layout, även material- och produktionsstyrning måste anpassas. Schmenner och Swink (1998) menar att produkt-processmatrisen är ett användbart ramverk och att empiriska studier bevisat att det är tillämpligt på de flesta produktioner. Av de olika layouterna som presenteras i produkt-processmatrisen behandlar följande avsnitt enbart funktionell layout och celllayout eftersom teori om dessa används för analys av Manufaktors layout (se 6.2 *Layout* och 7.2.2 *Layout*).

Funktionell layout

En funktionell layout är enligt produkt-processmatrisen (figur 2.5) mest fördelaktig när ett företag har en relativt låg tillverkningsvolym och en relativt låg grad av produktstandardisering (Hayes och Wheelwright, 1979). Att layouten är funktionell innebär att maskiner är grupperade utifrån funktion utan hänsyn tagen till materialflöde. Den funktionella maskingrupperingen kan i en stor verkstad innebära att artiklar som kräver bearbetning av olika slag frekvent måste transporteras långa sträckor. All onödig transport är en form av slöseri, där slöserier innefattar alla aktiviteter som inte adderar värde till kunden, och bör elimineras (Shingo, 1989).

På grund av de långa transportsträckorna är batchproduktion vanligt förekommande vid en funktionell layout eftersom det är alltför tidskrävande att transportera artiklar en i taget (Shafer och Charnes, 1993). Johnson (2003) menar att kombinationen av liten batchstorlek och funktionell layout leder till mer materialhantering än när en stor batchstorlek används. Enligt Johnson ställer ökad materialhantering högre krav på materialstyrning. Olivella och Gregorio (2014) hävdar att behovet av höga lagernivåer som frikopplar processer ökar vid en funktionell layout. Höga lagernivåer leder till att produktionen är mindre känslig för störningar (Kumar m.fl., 2013). Shingo (1989) menar dock att onödigt höga lagernivåer är en form av slöseri i produktionsprocessen.

Celllayout

Enligt produkt-processmatrisen (figur 2.5) är en celllayout lämplig när både tillverkningsvolym och produktstandardisering ligger på en medelnivå (Hayes och Wheelwright, 1979). En celllayout innebär att maskiner placeras i celler, där varje cell innehåller maskiner som fyller olika funktioner men används för att producera liknande artiklar. Celler bör skapas på så sätt att all tillverkning från råmaterial till färdigbearbetad artikel kan ske inom en och samma cell (Greene och Sadowski, 1983). Inom celler finns det vanligtvis inga stora buffertar. Istället transporteras material direkt från en maskin till en annan och endast små buffertar finns i varje cell (Malmborg, 1995). Eftersom endast små buffertar behövs innebär en celllayout att kötiden kan hållas kort. Maskinplaceringen leder till att transportsträckor blir korta vilket möjliggör en liten batchstorlek vid transport (Burbidge, 1991; Kumar m.fl., 2013).

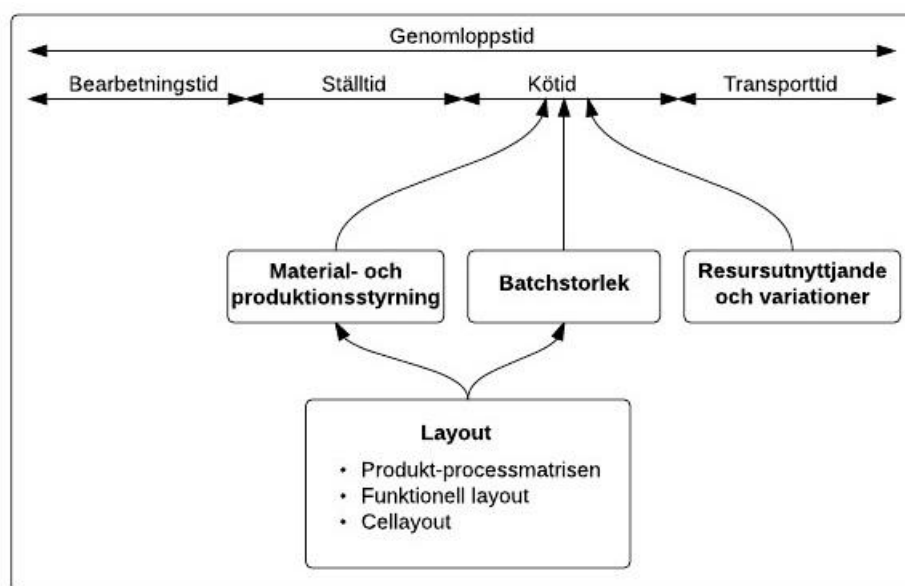
Olivella och Gregorio (2014) hävdar att användande av celler medför minskad flödeskomplexitet i jämförelse med en funktionell layout. Olivella och Gregorios påstående överensstämmer med Johnsons (2003) resonemang om att kraven på materialstyrning minskar med en celllayout då styrning endast sker för varje cell och inte för varje enskild maskin. Arkat m.fl. (2012) menar att små celler orsakar fler

förflyttningar mellan celler, men trots detta underlättas styrningen av varje cell när cellerna innehåller få maskiner.

Kumar m.fl. (2013) belyser att minskade lagernivåer gör system mer känsliga för störningar, eftersom maskiner inom celler inte är frikopplade i lika stor utsträckning som i en funktionell layout. För att kunna utforma celler med hänsyn tagen till materialflöden kan det ibland också krävas fler maskiner och verktyg än vad som behövs då maskinerna är grupperade baserat på funktion (Greene och Sadowski, 1983).

Detaljerad modell av det teoretiska ramverket

I figur 2.6 presenteras en mer detaljerad modell för det teoretiska ramverket där området layout fördjupats med hjälp av teori gällande hur valet av layout påverkar kötid.



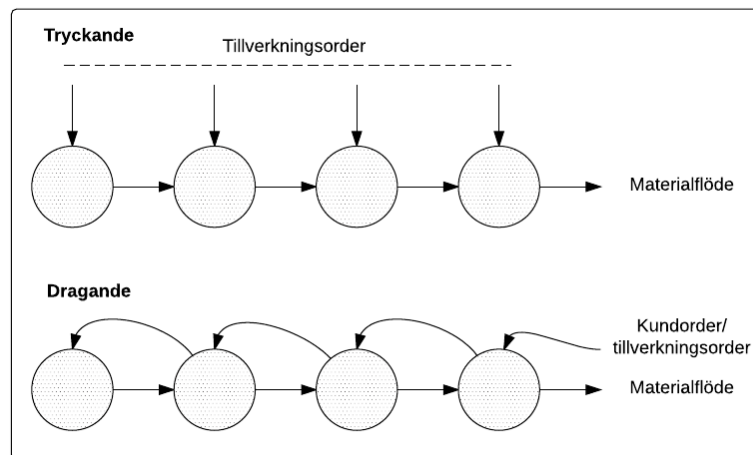
Figur 2.6 En detaljerad modell av det teoretiska ramverket inom layout.

2.3.3 Material- och produktionsstyrning

I detta avsnitt redogörs för olika material- och produktionsstyrningsmetoder samt deras inverkan på kötid. Ett sätt att karaktärisera styrningsmetoder i en verkstad är att skilja mellan tryckande och dragande system (Liker och Meier, 2009). Ytterligare en metod är CONWIP som är en kombination av dessa två system (Salum och Araz, 2009).

Tryckande och dragande system

Den huvudsakliga skillnaden mellan tryckande och dragande system är att varje station i ett tryckande system arbetar mot ett förutbestämt schema medan ett dragande system tillåter bearbetning endast om det finns efterfrågan hos efterföljande station (se figur 2.7).



Figur 2.7 Illustration av tryckande och dragande system (Mattsson och Jonsson, 2013).

Planeringspunkter

I ett tryckande system har varje station en egen taktid och kräver ett eget körschema. I ett dragande system är behovet av detaljerad styrning mindre, eftersom stationerna har en gemensam taktid och produktion sker på initiativ av en förbrukande aktör istället för av ett på förhand bestämt körschema (Hopp och Spearman, 2004; Prashanth och Sanchoy, 1999). Planering sker alltså på fler ställen i ett tryckande system (se figur 2.7).

Mattsson och Jonsson (2013) definierar antalet ställen som planering sker på som antalet planeringspunkter. Vid varje planeringspunkt i flödet finns en valmöjlighet och ett beslut behöver därmed fattas om vad som ska produceras härnäst. Ett dragande system har färre planeringspunkter än ett tryckande vilket leder till mindre mängd information att hantera och enklare kontroll (Hopp och Spearman, 2004; Prashanth och Sanchoy, 1999). Enligt Prashanth och Sanchoy (1999) är få planeringspunkter den största fördelen med ett dragande system eftersom det gör att styrning av verkstaden förenklas.

Då ett tryckande system behöver detaljerad schemaläggning krävs att information om exempelvis bearbetningstider finns att tillgå och är inlagda i ett materialplaneringssystem. Dessutom måste systemet användas och uppdateras korrekt. Om informationen i systemet inte stämmer, vilket enligt Zäpfel och Missbauer (1993) ofta är fallet på grund av variationer och bristfälliga uppdateringar, genereras en opålitlig planering som omöjligt kan följas. Att göra ändringar i körscheman, exempelvis på grund av akutorder, skapar också problem då det enligt Treville m.fl. (2004) ökar resursutnyttjandet. Som beskrivs i 2.3.1 *Resursutnyttjande och variationer* kan ett högt resursutnyttjande orsaka lång kötid.

Synkronisering

Just-In-Time, även benämnt JIT, är enligt Monden (1998) en produktionsprincip som syftar till att synkronisera materialflöden för att kunna producera rätt sak, i rätt tid och i rätt kvantitet. Denna produktionsprincip används i ett dragande system för att minimera kötider (González-R m.fl., 2011; Hopp och Spearman, 2004). Kötiderna reduceras när material synkroniseras eftersom det då anländer till maskiner när det verkligen behövs.

Karmarkar (1987) menar att synkronisering fungerar sämre när genomloppstiden är lång, vilket ofta är fallet i ett tryckande system.

PIA

I ett dragande system sätts en begränsning på hur stor mängd PIA det kan finnas mellan två stationer (Liker och Meier, 2009). Denna begränsning av PIA finns inte i ett tryckande system. En stor mängd PIA i produktionen försvårar enligt både Enns (2001) och Koo m.fl. (2007) material- och produktionsstyrningen. Riezbos (2010) menar att en stor mängd PIA dessutom gör det svårt att bedöma hur order bör prioriteras vid schemaläggning av maskiner.

Till följd av att det ofta är svårt att följa den detaljerade styrningen i ett tryckande system, startas ofta produktion av en order mycket tidigare än vad som krävs för att försäkra sig om att kunna leverera i tid (Enns, 2001; Zäpfel och Missbauer, 1993). Detta ger en större mängd PIA och därmed ökad genomloppstid i enlighet med Littles lag (Little, 1961). Den ökade genomloppstiden gör att produktionen planeras starta ännu tidigare och en ond cirkel skapas, vilken kallas leddidssyndromet (Zäpfel och Missbauer, 1993).

Tryckande och dragande systems lämplighet

Enligt Prashanth och Sanchoy (1999) är ett tryckande system applicerbart på många olika typer av företag, medan ett dragande system kräver fler förutsättningar för att fungera väl. Hunter (2004) och Steinbrunner (2005) anser att ett dragande system inte är lämpligt för företag som har en funktionell layout, utan passar bättre för serieproduktion vid en lina. Enligt Kumar och Panneerselvam (2007) är ett dragande system inte heller effektivt när höga variationer i ställ- och bearbetningstid förekommer. Schonberger (1982) beskriver att ett dragande system inte fungerar vid långa ställtider och stora batcher. Om ställtiderna är korta är däremot ett dragande system att föredra (Schonberger, 1982).

Inman (1999) och Schonberger (1982) poängterar att tryckande system i vissa miljöer är mer effektiva än dragande. Om ett företag har kunskap om framtida efterfrågan kan tryckande system ge fördelar gentemot dragande. Ett tryckande system har nämligen möjlighet att planera för långa tidsperioder, vilket inte dragande system har (Inman, 1999).

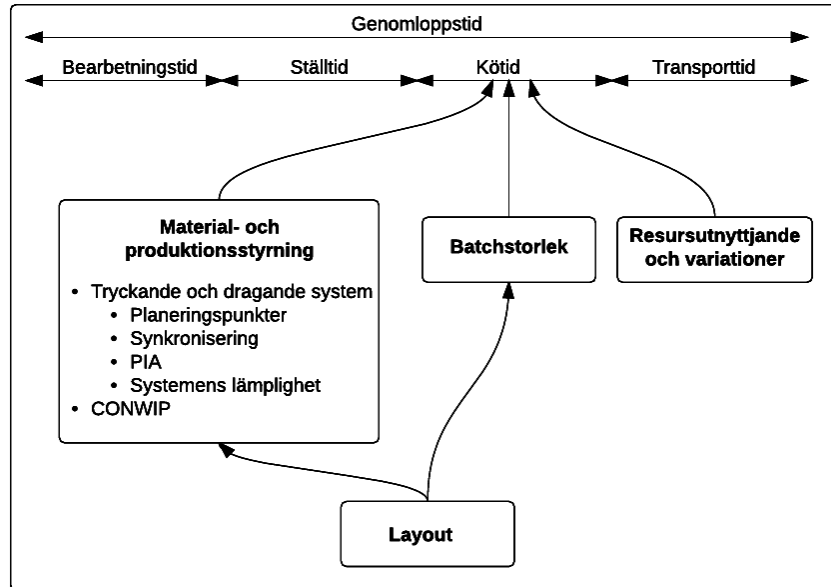
Hopp och Spearman (2004) beskriver att införandet av ett dragande system tillsammans med reducering av PIA kommer att belysa problem som företaget måste lösa. När problem löses successivt kan mängden PIA minskas ytterligare, vilket gör att nya problem upptäcks och på så sätt kan systemet förbättras ännu mer.

CONWIP

Dragande och tryckande system kan kombineras, exempelvis i systemet CONWIP (*Constant work in progress*, konstant PIA) där ordersläpp till produktion bara får ske när en order lämnat produktionen. Första stationen styrs alltså genom ett dragande system och får signal från sista operationen när en batch levererats. Mängden PIA begränsas därför i hela produktionen, vilket enligt Littles (1961) lag även begränsar genomloppstiden. Resten av processen styrs sedan genom ett tryckande system (Salum och Araz, 2009; Hopp och Spearman, 2004).

Detaljerad modell av det teoretiska ramverket

Med hjälp av teorin gällande hur material- och produktionsstyrning påverkar kötid kan modellen av det teoretiska ramverket göras mer detaljerad, se figur 2.8.



Figur 2.8 En detaljerad modell av det teoretiska ramverket inom material- och produktionsstyrning.

2.3.4 Batchstorlek

Många företag väljer att producera i stora batcher för att minska den totala ställtiden, de tar dock inte hänsyn till att stora batcher även resulterar i mer PIA och längre kötid (Gung och Steudel, 1999).

Tradeoff mellan kötid och flödestakt

En större batchstorlek innebär möjlighet till ökad flödestakt, eftersom antalet ställ och därmed den totala ställtiden minskar, vilket ger mer tid till bearbetning. När en maskin endast bearbetar en produkt i taget innebär dock en större batchstorlek längre väntetid. Detta eftersom varje produkt i batchen måste vänta medan alla de övriga bearbetas, innan hela batchen kan transporteras till nästa station (Canel m.fl., 2005; Monden, 1998). Det finns alltså en tradeoff mellan kötid och flödestakt att ta hänsyn till vid val av batchstorlek. Detta stöds av Koo m.fl. (2007) och Karmarkar (1987) som menar att en liten batch innebär en kort genomloppstid medan en stor batch innebär att produkter kan produceras i en högre takt.

Differentierade batchstorlekar

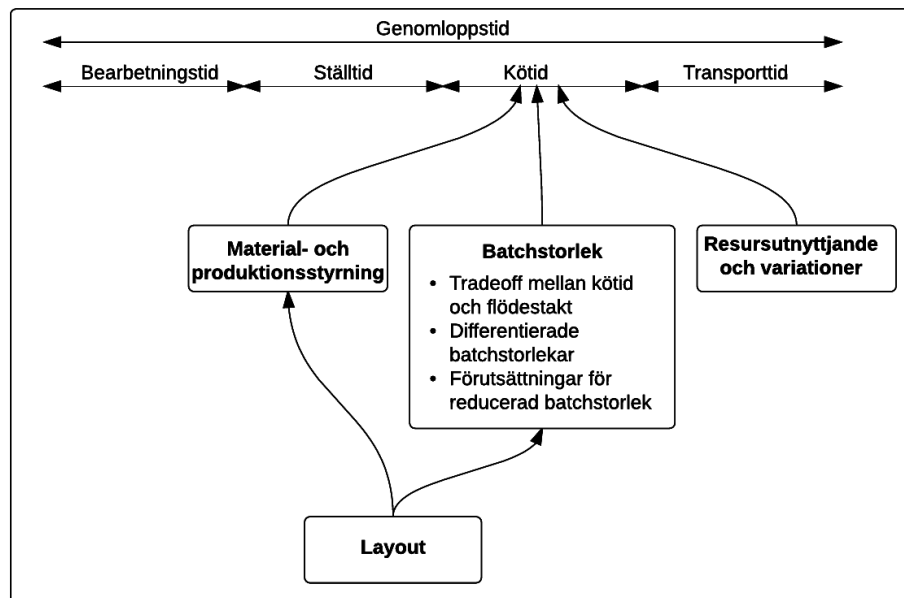
Zäpfel och Missbauer (1993) skriver att det kan vara fördelaktigt att ha olika batchstorlekar vid olika maskiner. Exempelvis bör en maskin som är en flaskhals ofta ha en större batchstorlek än övriga maskiner. Zäpfel och Missbauer beskriver också att transportbatchen, den batchstorlek som används när produkter transporteras mellan operationer, inte behöver vara lika stor som produktionsbatchen.

Förutsättningar för reduktion av batchstorlek

Om det i dagsläget inte finns överkapacitet i en maskin kan inte batchstorleken reduceras utan att antingen flödestakten minskas, ställtid kortas eller beläggningsbar kapacitet ökas (Gung och Steudel, 1999). Även Monden (1998) instämmer med detta och beskriver vidare att om ställtiden på en operation kan halveras kan även produktionsbatchen vid samma operation halveras utan att produktionstakten minskar. Ett sätt att minska ställtider är att använda metoden SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) vilken har som syfte att förenkla och förbättra aktiviteter kopplade till ställ (Shingo, 1985). Som nämnts i 2.3.2 *Layout* är valet av layout av stor vikt för att kunna hantera den ökade materialhantering som uppstår vid en minskning av batchstorleken (Greene och Sadowski, 1984; Burbidge, 1991; Kumar m.fl., 2013).

Detaljerad modell av det teoretiska ramverket

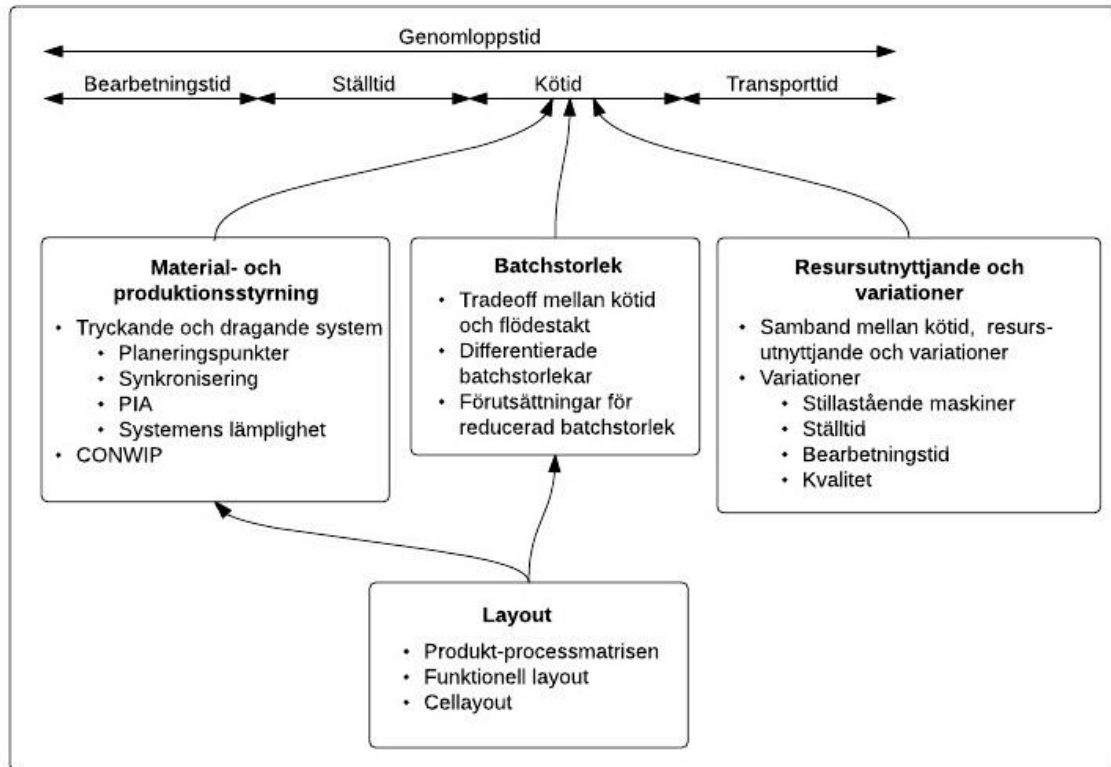
Med utgångspunkt i teorin gällande hur val av batchstorlek påverkar kötid ges nu en mer detaljerad modell av det teoretiska ramverket, se figur 2.9.



Figur 2.9 En detaljerad modell av det teoretiska ramverket inom batchstorlek.

2.3.5 Komplette modell av det teoretiska ramverket

En sammanfattning av den teori som hittills presenterats görs i figur 2.10. Det är detta teoretiska ramverk som kommer att användas i kapitel 5 *Nulägesbeskrivning*, 6 *Nulägesanalys* och 7 *Förändringsförslag*.



Figur 2.10. Sammanfattning av de områden som inkluderas i det teoretiska ramverket.

2.4 Hållbar utveckling

Följande avsnitt kommer att utreda innebörden av hållbar utveckling och ge grund för utvärdering av de förändringsförslag som presenteras i kapitel 7 *Förändringsförslag*.

2.4.1 Definition

World Commission on Environment and Development definierar begreppet *sustainable development*, hållbar utveckling, som "En utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov" (FN, www.fn.se). Ur ett företagsperspektiv kan denna definition innebära att tillgodose alla företagets intressenters (så som ägare, anställda, kunder och samhället) behov utan att äventyra företagets möjlighet att tillfredsställa framtida intressenters behov (Dyllick och Hockerts, 2001). Hållbar utveckling kan vidare delas upp i tre beståndsdelar: social hållbarhet, ekologisk hållbarhet och ekonomisk hållbarhet (Dyllick och Hockerts, 2001).

Trots att alla delar av hållbar utveckling är viktiga för ett företags långsiktiga hållbarhet (Dyllick och Hockerts, 2001) kommer denna rapport fokusera på ekologisk och

ekonomisk hållbarhet. Därför kommer dessa aspekter, och hur en produktion kan utvärderas med avseende på dessa, utredas vidare.

2.4.2 Ekonomisk hållbarhet

Ekonomisk hållbarhet för ett företag kan enligt Dyllick och Hockerts (2001) definieras som att företaget vid varje givet tillfälle kan uppvisa ett kassaflöde som är stort nog för att undvika likviditetsbrist, samtidigt som det kan ge ägare en marknadskraftig avkastning på kapital. Genom att utvärdera förändringsförslags påverkan på företagets likviditet och kassaflöde kommer slutsatser kunna dras angående lösningsförslagets påverkan på företagets ekonomiska hållbarhet.

2.4.3 Ekologisk hållbarhet

Enligt Dyllick och Hockerts (2001) arbetar ett företag på ett ekologiskt hållbart sätt om de använder naturresurser i en lägre takt än med vilken de återskapas. Ett ekologiskt hållbart företag orsakar inte heller utsläpp av emissioner i högre takt än vad ekosystemet klarar av att ta upp. Denna studie utvärderar förändringsförslags påverkan på ekologisk hållbarhet endast gentemot användandet av naturresurser. Veleza och Ellenbecker (2001) presenterar ett ramverk för hur företag kan utvärderas med avseende på hållbar utveckling. I ramverket tydliggörs att lämpliga utvärderingsfaktorer för ekologisk hållbarhet skiljer sig mellan företag medan energianvändning är en tillämpbar faktor för alla företag.

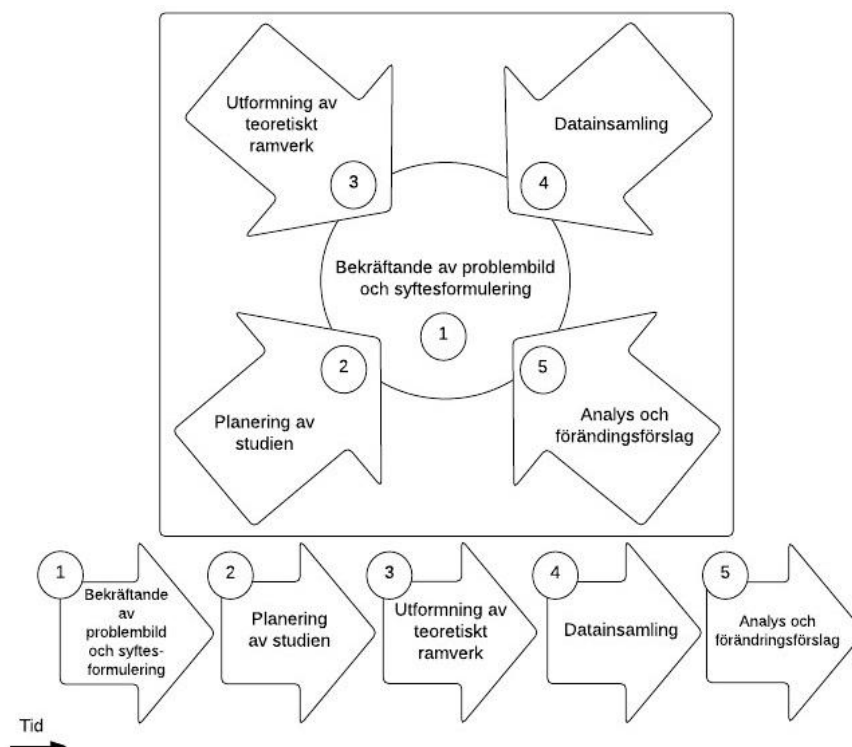
Fahimnia m.fl. (2009) menar att företag genom att minska slöserier i produktionsprocessen också minskar företagets ekologiska påverkan. Långa ställtider, onödiga lager, kvalitetsfel och bristfällig layout nämns som orsaker till slöseri. Genom att minska ställtider menar Fahimnia m.fl. att batchstorleken kan minskas och därmed även mängden lager i produktionen. Lager benämns av Fahimnia m.fl. som ett slöseri som påverkar ekologisk hållbarhet eftersom de tar upp plats i lokaler och därmed förbrukar energi. Onödiga lager gör också att möjligheten att utöka verksamheten utan att behöva bygga ut lokalerna blir mindre. Kvalitetsfel kan leda till omarbete och ökat materialbehov, vilket också betyder att användandet av naturresurser ökar. En bristfällig layout är enligt Fahimnia m.fl. negativ ur ekologisk hållbarhetssynpunkt då den ger ökade lager och även ökar materialhantering. Ökad materialhantering kan kopplas till ökad risk för skador på produkter, vilket får samma följder som kvalitetsfel.

3 Metod

För att kunna uppnå studiens syfte krävdes datainsamling och analys av dessa data. I detta kapitel presenteras inledningsvis den utredningsmetodik som använts i studien. Därefter redogörs för de övergripande metoder som använts i samband med insamling av empiriskt material.

3.1 Utredningsmetodik

Studiens utredningsmodell är baserad på en modell som Eriksson och Wiedersheim-Paul (2011) presenterar. I modellen delas utredningsprocessen in i fem faser vilka illustreras i figur 3.1.



Figur 3.1 Illustration av utredningsmodellen som använts i studien (Eriksson och Wiedersheim-Paul, 2011). Den övre delen av bilden visar de fem fasernas logiska relation. Alla faser bidrar nämligen till att uppfylla syftet. Den nedre delen visar fasernas kronologiska ordningsföljd.

Inledningsvis formulerades ett syfte för studien i samråd med Manufaktor. Därefter gjordes en planering för att klargöra på vilket sätt och med vilken tidshorisont syftet skulle uppnås. En litteraturstudie genomfördes därefter i syfte att ta fram det teoretiska ramverk som skulle ligga till grund för datainsamling, analys och förändringsförslag. I avsnitten nedan beskrivs tillvägagångssättet för varje del av utredningsmodellen mer utförligt. Därefter presenteras en sammanställning av all insamlad data.

3.1.1 Bekräftande av problembild och syftesformulering

Studien inleddes med en halvstrukturerad intervju med produktionschefen på Manufaktor för att skapa en uppfattning om företagets problembild (se mer om halvstrukturerad intervju i avsnitt 3.2.1 *Primärdata*). Intervjun genomfördes 2015-01-19. De ingående frågorna presenteras i appendix A. För att kunna formulera ett syfte utifrån den problematik som framkommit i intervjun inleddes en förstudie för att

bekräfta problembilden. Förstudien genomfördes 2015-01-19. Metoden som användes har utformats av Goodson (2002), och innebär att en bedömning av en produktions flödeseffektivitet kan göras efter en snabb rundvandring i fabriken. I en flödeseffektiv produktion ligger fokus på att uppnå ett snabbt flöde, vilket skiljer sig från en resurseffektiv produktion där det istället fokuseras på effektivt maskinutnyttjande (Modig och Åhlström, 2012). Metoden användes eftersom flödeseffektivitet enligt Monden (1998) är starkt kopplat till genomloppstid och eftersom det anades att problem i verkstaden kunde kopplas till genomloppstid. Utifrån de elva kategorier som granskats och bedömts i enlighet med Goodsons modell, var det hos Manufaktor kategorierna Mängd lager och PIA (*Levels of inventory and work in progress*) samt Användning av utrymme, materialförflyttning och produktflöde (*Use of space, movement of materials, and product line flow*) som utmärkte sig som undermåliga (*poor*). Det fullständiga resultatet av metoden presenteras i appendix B. För att undersöka problembildens innebörd inleddes en datainsamling med syfte att ta reda på hur stor kapitalbindningen var och i vilken utsträckning genomloppstiden påverkade Manufaktors flexibilitet. För att ta reda på kapitalbindningen insamlades följande data:

- Antalet artiklar som befann sig i produktionen vid ett givet tillfälle
- Varuvärdet för varje artikel

En inventering av antalet artiklar som befann sig i produktionen genomfördes 2015-01-28. Hela räkningen genomfördes av sex personer under två timmar mellan klockan tio och tolv. Räkningen pågick utan avbrott för att minimera risken att material skulle flyttas under tiden och att material därmed skulle riskera att räknas dubbelt. Vid räkningen användes listor över samtliga ingående komponenter i Sigmaprodukterna typ A och B för att bekräfta att varje observerad artikel tillhörde Sigmaproduktionen. Ute i fabriken antecknades antalet artiklar, artikelnummer och vilken maskin de stod i anslutning till. I de fall då pallar med artiklar var placerade otillgängligt och det inte fanns möjlighet att räkna artiklarna styckvis antogs antal artiklar angivet på pallarnas utsida vara korrekt. Antagandet ansågs rimligt då det angivna antalet överensstämde med antalet i pallen för de artiklar som kunde räknas.

Manufaktors standardpris för varje räknad artikel hämtades ur företagets materialplaneringssystem samma dag som räkningen genomfördes. Standardpriset är det pris som företaget värderar en artikel till och i detta pris ingår kostnad för råmaterial samt ett pålägg för de arbetstimmar som artikeln behandlas. Standardpriset angavs för varje färdig delkomponent och antogs öka linjärt under produktionen (se appendix C för förklaring av detta antagande). Ett resonemang kring denna typ av sekundärdata återfinns i 3.2.2 *Sekundärdata*. Med utgångspunkt i standardpriserna och inventeringen beräknades hur mycket kapital som var bundet i produktionen just den dagen inventeringen genomfördes (se appendix C för beräkningar).

För att samla in kvalitativ data angående i vilken utsträckning genomloppstiden påverkar Manufaktors flexibilitet genomfördes en halvstrukturerad intervju med produktionschefen, 2015-01-28. Se avsnitt 3.2.1 *Primärdata* för information kring hur intervjun genomfördes och se appendix A för en intervjumall.

3.1.2 Planering av studien

Efter att studiens syfte fastställts togs en planering fram för återstående delar av studien. Planeringen bestod dels av en tidsplanering och dels av en planeringsrapport som redogjorde för studiens syfte och den tolkning av problembilden som gjorts. Planeringsrapporten validerades med företaget 2015-02-12 och därefter fortsatte studien till nästa fas.

3.1.3 Utformning av teoretiskt ramverk

En litteraturstudie genomfördes för att kartlägga vilken forskning och vilka modeller som fanns att tillgå inom berörda ämnen. All litteratursökning har genomförts via sökfunktionen Summon och Chalmers biblioteks hemsida samt på Chalmers bibliotek. Exempel på sökord som användes är: *manufacturing flexibility, lead time, lead time reduction, manufacturing throughput time, time based competition, work-in-progress, manufacturing throughput time reduction, queue time, waiting time, manufacturing layout, cellular layout, job shop layout, variability, production planning and control, lot size reduction, batch size reduction, sustainable development, sustainable production, product line flow, lean manufacturing, lean production*.

Information och teorier har i första hand hämtats från vetenskapliga artiklar. Studentlitteratur, fackböcker och handböcker har använts som komplement. Eriksson och Wiederheim-Paul (2008) presenterar en mall för att bedöma en källas trovärdighet vilken innebär att källan bedöms utifrån fyra kriterier vilka behandlas nedan.

Det första kriteriet är samtidskrav, vilket innebär att material är mer trovärdigt om det kommer från en samtida eller närvarande källa, än om det är skrivet i efterhand eller av någon som inte varit närvarande. Alla vetenskapliga artiklar som handlar om forskningsstudier är skrivna av de forskare som genomfört studierna, således är samtidskravet uppfyllt i denna bemärkelse.

Det andra kriteriet är tendenskritik, vilket betyder att det ska granskas huruvida uppgiftslämnaren har egenintresse i frågan. Vissa av modellerna i studien är framtagna av konsulter som kan ha ett försäljningsintresse i att publicera visst material. Dock refereras dessa modeller till i akademiska artiklar, av författare som ej bedriver konsultverksamhet. Detta medför att modellernas utformning bedöms som trovärdiga och användbara för studiens syfte med avseende på detta kriterium.

Tredje kriteriet är att kontrollera om det finns något beroende mellan källorna, exempelvis om två olika källor båda grundar sin information på samma bakomliggande källa. Den litteratursökning som genomförts har varit grundlig och trots att många källor refererar till varandra har artiklar som bygger sin forskning på samma källa undvikits i den utsträckning det varit möjligt.

Till sist måste även källans äkthet tas i åtanke. Huruvida en källa är äkta eller inte har varit svårt att bedöma utöver det faktum att artiklar endast inhämtats från vetenskapliga publikationer.

Inledningsvis insamlades information om PIA, produktionsflexibilitet, ledtid, konkurrenskraft och genomloppstid. Därefter insamlades mer specifik information för

att ta fram ett teoretiskt ramverk som kunde användas för att studera, kartlägga samt analysera orsaker till kötid och innebörden av hållbar produktionsutveckling.

Att organisera de orsaker som ger upphov till kötid i ett teoretiskt ramverk var tidskrävande. Främst på grund av att det finns många olika sätt att klassificera orsakerna men också på grund av att det finns många orsak/verkan-samband mellan dem. Det finns därmed inget entydigt sätt att kategorisera orsakerna.

3.1.4 Datainsamling

För att kunna göra en kartläggning av nuläget på Manufaktor i enlighet med delsyfte A, B och C krävdes insamling av empirisk data. Datainsamlingen utgick från det teoretiska ramverket.

Genomloppstidens beståndsdelar

Inledningsvis krävdes data för att kunna avgöra vilken eller vilka av genomloppstidens beståndsdelar som utgjorde väsentliga delar av genomloppstiden för Sigmaprodukter, i enlighet med delsyfte A. Data insamlades och verifierades inom fyra områden: total genomsnittlig genomloppstid, bearbetningstider, ställtider och transporttider för alla ingående komponenter i Sigmaprodukten.

Genomsnittlig genomloppstid

Historik på genomloppstiden erhöles ur företagets materialplaneringssystem 2012-02-12 och kompletterades med ytterligare data i en senare del av studien (2015-05-07). Den kompletta datan bestod av datum för ordersläpp och utleverans för de 21 senaste orderna. Datan användes för att räkna ut en genomsnittlig genomloppstid som därefter kunde användas för att beräkna kötiden genom subtraktion av bearbetningstid, transporttid och ställtid. Det är vanligt förekommande att Sigmaproduktionen sker på övertid och i dessa fall påverkas genomloppstiden. Data gällande övertid har dock inte insamlats eftersom endast en genomsnittlig genomloppstid var av intresse.

Bearbetningstid

Bearbetningstider för samtliga operationer erhöles från företagets materialplaneringssystem (2015-02-12). Endast information om bearbetningstidernas medelvärden erhöles, och således insamlades ingen data om tidernas variation. För att triangulera datan, det vill säga bekräfta att fler källor menar samma sak, intervjuades 17 operatörer från olika delar av produktionen angående bearbetningstiderna, vilket redogörs för i 3.2.1 *Primärdata*. Alla intervjuer gällande bearbetningstid var av strukturerad karaktär och skedde under samma dag (2015-03-03). Se avsnitt 3.2.1 *Primärdata* för beskrivning av strukturerad intervju och appendix A för intervjumall. En nackdel med att alla intervjuer genomfördes under samma dag är att operatörernas svar skulle kunna avvika från genomsnittet. Specifikt menas att detta skulle kunna vara fallet om det varit vanligt med längre bearbetningstider än normalt just runt tidpunkten för intervjuerna. Risken för denna avvikelsetyp bedömdes som minimal eftersom operatörernas uppfattning om bearbetningstidernas längd stämde väl överens med tiderna från materialplaneringssystemet då dessa jämfördes. Utöver data från materialplaneringssystemet och operatörerna genomfördes en strukturerad intervju med produktionschefen (2015-03-03), se appendix A för intervjumall. Även han bekräftade att bearbetningstiderna var uppdaterade och aktuella.

Ställtid

Data kring ställtider inhämtades ur materialplaneringssystemet vid samma tidpunkt som för bearbetningstider (2015-02-12). Dessa data triangulerades på samma sätt, vid samma tidpunkter och av samma intervjuobjekt som data gällande bearbetningstider (2015-03-03). De genomsnittliga ställtiderna i materialplaneringssystemet bedöms stämma. Däremot menade operatörerna att det förekommer stora variationer i ställtider. Data angående hur stora variationerna är finns inte dokumenterade på företaget och har inte införskaffats.

Transporttid

För att ta fram den totala transporttiden för en Sigmaprodukt krävdes information angående vilken väg och med vilken hastighet produktens alla komponenter transporteras under tillverkningsprocessen. Transportvägar för komponenter identifierades med hjälp av operationslistor för varje komponent vilka erhöles ur materialplaneringssystemet (2015-02-12). Att dessa operationer, och därmed vägar mellan maskiner, var korrekta verifierades genom en flödesvandring samt halvstrukturerade intervjuer med 15 operatörer och två logistikanställda (2015-03-06), se appendix A för intervjumall. Flödesvandringen, som är ett tillvägagångssätt för att kartlägga ett materialflöde, rekommenderas av Rother och Shook (2004). Flödesvandringen innebar att flödet följdes i fabriken från slutmontering och uppströms. Under flödesvandringen ritades materialflödet för respektive komponent ut på var sin fabrikskarta utskrivna på A4-papper. Fabrikskartan erhöles från produktionschefen (2015-01-28). Alla flödesavvikelser från operationslistan noterades och därefter uppdaterades den ursprungliga operationslistan.

För att med hjälp av det erhållna materialflödet kunna räkna ut transportsträckan var avstånden i fabriken av intresse. Den skala som fanns angiven på fabrikskartan bedömdes som rimlig efter rundvandringen. En exakt mätning hade kunnat göras för att kontrollera detta men då avstånden endast användes för att göra en grov bedömning av transportsträckan, ansågs en noggrannare mätning onödig. De på kartorna inritade materialflödena mättes och omvandlades till verklig skala för att erhålla transportsträckor för materialet, se appendix D. För att kunna beräkna transporttiden uppskattades transporthastigheten till 5 km/h, vilket antas vara vanlig promenadhastighet. Eftersom denna siffra uppskattats blir uträkningarna osäkra men detta bedöms inte påverka studiens slutresultats robusthet eftersom transporttiden endast utgör en marginell andel av genomloppstiden.

Orsaker till kötid

Efter att genomloppstider, bearbetningstider, ställtider och transporttider erhållits påbörjades datainsamling inom de områden som orsakar kötid, vilka identifierats i det teoretiska ramverket. Empiri gällande orsaker till kötid insamlades för att uppnå delsyfte B och används i kapitel 5 *Nulägesbeskrivning*. Informationsinsamlingen inom respektive område redogörs för nedan.

Resursutnyttjande och variationer

Halvstrukturerade intervjuer med produktionsplaneraren, de tre produktionsledarna, tio operatörer, och två anställda på logistikavdelningen genomfördes i syfte att ta reda på vilka variationer som förekommer i produktionen (2015-03-11). När en variation

nämndes av en anställd ställdes följdfrågor som utredde variationens omfattning och i vilken utsträckning den påverkade produktionen. På en workshop som genomfördes 2015-04-29 fick deltagarna dela med sig av sina åsikter om vilka variationer som finns och hur dessa kan hanteras. Mer information om workshopens utformning återfinns i 3.2.1 *Primärdata*.

För information om resursutnyttjande erhöles kapacitetsplaner för varje maskin från företagets produktionsplanerare (2015-03-11). Datan bestod dels av en tabell med beläggningsbar maskintid och dels av en lista för varje maskin med vilka artiklar som skulle bearbetas i den de närmaste veckorna, så kallade körscheman. I samband med att kapacitetsplanerna erhöles verifieras de genom en halvstrukturerad intervju med produktionsplaneraren, se appendix A för intervjumall.

Layout

För att kartlägga layouten användes samma fabrikskartor som tidigare använts och verifierats. För att skapa en uppfattning om hur väl den nuvarande layouten fungerade genomfördes halvstrukturerade intervjuer med två anställda på logistikavdelningen och de tre produktionsledarna (2015-03-11), se appendix A för intervjumall. Den data som krävdes för beräkning av den totala transportsträckan samlades in i samband med insamling av information angående transporttid, vilket har behandlats tidigare i rapporten.

Material- och produktionsstyrning

Information kring hur orderplaneringen och materialplaneringssystemet fungerar har erhöles genom en halvstrukturerad intervju med produktionsplaneraren på Manufaktor (2015-03-11), se appendix A för intervjumall. Därutöver har halvstrukturerade intervjuer även genomförts med fem operatörer och två anställda på logistikavdelningen angående materialplaneringssystemet (2015-03-12), se appendix A. För att få information om hur bearbetning av artiklar planeras in i respektive maskin har körscheman erhöles från företagets produktionsplanerare (2015-03-11), se appendix A. Dessa körscheman har verifierats i samband med intervjuer med operatörerna (2015-03-12). Det bekräftades att körschemana stämmer gällande de olika artiklarna som bearbetas i respektive maskin, men att ordningen i vilken de bearbetas endast stämmer under den närmsta veckan.

Batchstorlek

För att ta reda på vilken storlek på produktions- och transportbatch som används genomfördes strukturerade intervjuer med 17 operatörer, en vid varje maskin som används vid Sigmaproduktion (2015-03-12), se appendix A för intervjumall.

Begränsningar och krav

I enlighet med delsyfte C behövde begränsningar och krav gällande förändringsförslagets utformning identifieras, vilka behandlas i kapitel 5 *Nulägesbeskrivning* och sammanställs i kapitel 7 *Förändringsförslag*.

Ett antal krav och begränsningar för förändringsförslag identifierades redan under den första intervjun med Manufaktors produktionschef (2015-01-19), se appendix A för intervjumall. Den fullständiga datainsamlingen gällande detta genomfördes i samband

med workshopen (2015-04-29), se avsnitt 3.2.1 *Primärdata*. Under detta tillfälle triangulerades även datan eftersom samtliga deltagare var eniga om de begränsningar som finns. De specifika krav och begränsningar som berördes gällde sådant som skulle kunna begränsa en förändring av layouten samt sådant som skulle kunna begränsa en förändring av batchstorleken.

3.1.5 Analys och förändringsförslag

För att utforma och utvärdera förändringsförslag som kan minska beståndsdelarnas bidrag till genomloppstid, och således uppnå delsyfte C, krävdes tolkning och analys av den insamlade empirin (i enlighet med delsyfte B). Detta har gjorts inom de områden som presenterats i studiens teoretiska ramverk (se kapitel 2 *Teoretiskt ramverk*).

Genomloppstidens beståndsdelar

Efter att data samlats in angående bearbetningstid, ställtid, transporttid och total genomloppstid för Sigmaprodukterna kunde dessa data sammanställas. En genomsnittlig genomloppstid för de senaste 21 orderna, det vill säga de senaste 630 produkterna, beräknades genom ett aritmetiskt medelvärde. Den genomsnittliga genomloppstiden, som var angiven i veckor, omvandlades till minuter så att den kunde jämföras med andra beräknade tider. Omvandlingen baserades på antagandet att en arbetsvecka består av 66,5 timmar, vilket i sin tur baseras på genomsnittlig beläggningsbar maskintid, se appendix E.

Beräkningar gjordes inledningsvis för den komponent med längst total bearbetningstid, ställtid och transporttid. Flödet för denna komponent kallas härnäst för den kritiska linjen. Genom att subtrahera bearbetningstid, ställtid och transporttid från total genomloppstid kunde den totala kötiden beräknas för den kritiska linjen eftersom all kvarvarande tid antogs vara kötid, se appendix D för beräkningar. Teoretiskt sett hade det varit möjligt att beräkna kötiden genom att klocka tiderna då varje komponent ligger och väntar. Det hade dock varit en mycket resurskrävande datainsamling eftersom den tagit lika lång tid att genomföra som genomloppstiden och den valda metoden bedömdes därför som mer lämpad.

I kapitel 4 *Analys av genomloppstid vid Manufaktor* redovisas att den kritiska linjen har en stor majoritet kötid. Det innebär att övriga komponenter kommer ha en större eller lika stor andel kötid. Detta eftersom dessa komponenter har mindre total bearbetningstid, ställtid och transporttid samt eftersom total genomloppstid definieras som tiden från det att en order av den första ingående komponenten släpps i produktionen till det att produkten är helt färdigmonterad och klar för leverans. Det antogs därmed inte vara nödvändigt att utföra beräkningar för övriga komponenter i flödet. Detta eftersom dessa beräkningar hade genererat samma slutsats om vilka av genomloppstidens beståndsdelar som utgör väsentliga andelar av total genomloppstid för Sigmaprodukterna.

Orsaker till kötid

Alla orsaker till kötid som presenterats i det teoretiska ramverket och som identifierats på Manufaktor analyserades utifrån den teori som presenterats i kapitel 2 *Teoretiskt ramverk*. I följande avsnitt presenteras hur dessa analyserades inom respektive område, samt hur förändringsförslag togs fram.

Resursutnyttjande och variationer

Ingen statistisk analys gjordes på data insamlad kring resursutnyttjande och variationer eftersom inga varianser eller standardavvikelser erhöles. Istället utformades förändringsförslag baserat på den teori som presenterats i kapitel 2 *Teoretiskt ramverk*, samt med hänsyn till identifierade begränsningar och krav. Vidare togs hänsyn till huruvida det fanns andra förändringsförslag som skulle behöva genomföras innan förändringar inom resursutnyttjande och variationer genomfördes.

Layout

Som underlag för att ta fram förslag på en förbättrad layout användes den insamlade datan angående komponenternas bearbetningssteg och information om fabriken layout.

Det finns olika metoder för att gruppera maskiner i en cell och dessa har olika grad av noggrannhet. Om endast en övergripande metod önskas föreslår Daita m.fl. (1999) en metod som skapats av Burbidge (1963). Daita m.fl. (1999) menar att denna metod är lämplig för att få en första uppfattning om hur maskiner bör placeras i celler. En detaljerad beskrivning av genomförandet av Burbidges metod samt resultatet av denna återfinns i appendix F. Data angående transportvägar användes för att utvärdera huruvida en ny layout genererat färre transporter.

Eftersom vissa av de andra förändringsförslagen gällande resursutnyttjande och variationer, material- och produktionsstyrning samt batchstorlek, kräver en viss layouttyp analyserades datan dels från ett kortsiktigt perspektiv, det vill säga den typen av förändringar som hade kunnat genomföras direkt, men också utifrån ett långsiktigt perspektiv, det vill säga den typen av layoutförändringar som varit möjliga och önskvärda på längre sikt. Analysen inkluderade även de begränsningar och krav som identifierats i samband med delsyfte C.

Material- och produktionsstyrning

Analysen gällande material- och produktionsstyrning gjordes även den baserat på det teoretiska ramverket. Analysen syftade till att identifiera brister i Manufaktors nuvarande material- och produktionsstyrning samt att komma fram till förändringsförslag som skulle kunna åtgärda dessa. Analysen tog även här hänsyn till identifierade begränsningar och krav.

Batchstorlek

Den data som insamlats angående batchstorlek var entydig och kunde med hjälp av det teoretiska ramverket enkelt omsättas i förändringsförslag. Data gällande ställtider och beläggningsbar maskintid användes som grund till analys för att bedöma vilken batchstorlek som är möjligt med dagens förutsättningar. Beräkningar återfinns i appendix G.

Utvärdering av förändringsförslagen

För att åskådliggöra hur mycket studiens förändringsförslag skulle kunna reducera genomloppstiden gjordes två beräkningsexempel. Dessa gjordes utifrån de förutsättningar som presenteras i förändringsförslagen. En detaljerad redogörelse för dessa beräkningar återfinns i appendix H.

För att utreda hur mycket kapital som kan frigöras togs utgångspunkt i den kapitalbindning som beräknades för att bekräfta problembilden, se 3.1.1 *Bekräftande av problembild och syftesformulering* och appendix C. Beräkningen gjorde för att utvärdera förändringsförslagets inverkan på ekonomisk hållbarhet. Denna kapitalbindning jämfördes sedan med den minskade kapitalbindning som fås vid reducerad genomloppstid och minskad PIA. Hur den reducerade kapitalbindningen beräknades återfinns i appendix I.

Förändringsförslagets påverkan på mängden slöseri och resursanvändning utvärderades utifrån den teori inom ekologisk hållbarhet som tagits fram i det teoretiska ramverket.

3.1.6 Sammanställning av data

I tabell 3.1 presenteras en sammanställning av all information som insamlades under studiens olika faser. För varje informationstyp anges även vilken typ av data den motsvarar samt insamlingsmetod och användningsområde.

Tabell 3.1 En sammanställning av den i studien insamlade datan.

Informationstyp	Datotyp	Insamlingsmetod	Datum	Användningsområde
PIA	Primärdata, Sekundärdata	Direkt observation, Materialplaneringssystem	(2015-01-28)	Verifiering av problembild
Standardpris för komponenter	Sekundärdata	Materialplaneringssystem	(2015-01-28)	Verifiering av problembild
Flexibilitet (Låst zon)	Primärdata	Halvstrukturerad intervju	(2015-01-19)	Verifiering av problembild
Fabrikslayout	Primärdata, Sekundärdata	Halvstrukturerad intervju, Registerdata	(2015-01-28)	Beräkna total transporttid, Kartlägga layout
Bearbetningstider	Primärdata, Sekundärdata	Strukturerad intervju, Materialplaneringssystem	(2015-02-12) och (2015-03-03)	Beräkna total bearbetningstid
Ställtider	Primärdata, Sekundärdata	Strukturerad intervju, Materialplaneringssystem	(2015-02-12) och (2015-03-03)	Beräkna total ställtid
Ingående operationer för varje komponent	Sekundärdata	Materialplaneringssystem	(2015-02-12)	Beräkna total transporttid
Historisk genomloppstid	Sekundärdata	Materialplaneringssystem	(2015-02-12) och (2015-05-07)	Beräkna total genomloppstid
Produktsammansättning	Sekundärdata	Materialplaneringssystem	(2015-02-12)	Produktbeskrivning
Kapacitetsplaner	Sekundärdata	Registerdata	(2015-03-11)	Kartlägga resursutnyttjande
Körschema för maskiner	Sekundärdata	Registerdata	(2015-03-11)	Kartlägga resursutnyttjande
Resursutnyttjande och variationer	Primärdata	Halvstrukturerad intervju, Workshop	(2015-03-11) och (2015-04-29)	Kartlägga variationer
Material- och produktionsstyrning	Primärdata	Halvstrukturerad intervju	(2015-03-11)	Kartlägga planeringssystem
Batchstorlek	Primärdata	Strukturerad intervju	(2015-03-12)	Kartlägga batchstorlek
Hinder för förändringsförslag	Primärdata	Workshop	(2015-04-29)	Begränsningar för förändringsförslag

3.2 Insamling av empiriskt material

Nedan följer en beskrivning och en diskussion kring de olika typer av data som har använts i studien. Insamlad data kan delas in i primärdata och sekundärdata (Eriksson och Wiedersheim-Paul, 2011). I denna studie har både primär- och sekundärdata använts, vilket kan ses i tabell 3.1.

3.2.1 Primärdata

Med primärdata avses ny data som har samlats in med avseende att användas i en specifik studie (Eriksson och Wiedersheim-Paul, 2011). I denna studie har primärdata samlats in dels som ett komplement för att verifiera sekundärdata, så som bearbetningstider och ställtider, men även för att samla in ny information, så som information om planeringsprinciper och batchstorlek.

Direkt observation

Direkt observation har använts för att räkna PIA i produktionen. Ett problem med att använda sig av direkt observation är att individen som observerar inte har möjlighet att se och höra allt som sker (Carlsson, 1990). Medbo (1998) menar vidare att detta betyder att resultaten är öppna för observatörens tolkningar och att det därför kan vara svårt att få tillförlitlig data. För att undvika detta begränsades möjligheten att tolka datan genom att ha tydliga regler för vilka artikelnummer som skulle räknas samt för vilken individ som skulle räkna vilka komponenter. Att sätta upp tydliga ramar för vad som ska observeras, vilket då alltså gjordes, är enligt Medbo (1998) ett sätt att öka datans tillförlitlighet.

Intervjuer

Intervjuer har i studien varit en viktig metod för att bland annat triangulera sekundärdata. I studien har två typer av intervjuer använts, strukturerade och halvstrukturerade.

Strukturerad intervju

En strukturerad intervju kan liknas vid en enkätundersökning men med fördelen att intervjuaren får bättre förutsättningar att förstå den intervjuade personen och har större möjlighet att påverka denna till att svara på samtliga frågor (Philips and Stawarski, 2008). Strukturerade intervjuer genomfördes med operatörer i syfte att erhålla information om produktions- och transportbatchstorlek för Sigmaprodukter. De användes också för att säkerställa att de bearbetnings- och ställtider som erhöles från materialplaneringssystemet stämde överens med de verkliga tiderna. Fördelen med dessa intervjuer är att de är enkla att hantera samt lämnar litet utrymme för analys (Gillham, 2008), något som passar väl för den typ av triangulering som datan var avsedd för. En nackdel med strukturerade intervjuer är att de ger lite utrymme för att ny information ska upptäckas eftersom följdfrågor inte ställs i lika stor utsträckning som i en halvstrukturerad intervju. Eftersom de strukturerade intervjuerna genomfördes för att verifiera sekundärdata medtogs sekundärdatan till intervjutillfället och eventuella avvikelser i bearbetningstid eller ställtid noterades.

Halvstrukturerad intervju

Enligt Gillham (2008) innebär en halvstrukturerad intervju att

- de övergripande frågor som ska ställas har utarbetats på förhand
- en ungefärlig intervjustid har bestämts
- följdfrågor ställs för att leda in de intervjuade personerna på ett önskat ämne om detta inte spontant har tagits upp

Vid en halvstrukturerad intervju är frågorna mer öppna än vid en strukturerad intervju och det finns möjlighet att ställa följdfrågor om nya ämnen dyker upp under intervjun. Denna typ av intervju användes vid flera tillfällen under studiens gång. Halvstrukturerade intervjuer genomfördes med produktionschefen, produktionsplaneraren, produktionsledare, operatörer och lagerpersonal. Gillham (2008) menar vidare att fördelarna med halvstrukturerade intervjuer är att det skapar en god balans mellan struktur och öppenhet.

De halvstrukturerade intervjuerna transkriberades för att informationen skulle kunna granskas och analyseras i efterhand. Nackdelen med transkription är att data är enligt Gillham (2008) att uttryckssätt och röstläge går förlorat. Detta försvagar datans tillförlitlighet, men transkribering anses ändå lämpligt eftersom alternativet inneburit tolkning av en inspelad intervju, vilket skulle varit mycket resurskrävande.

Workshop

En workshop användes dels som datainsamlingsmetod, se tabell 3.1, och dels som ett sätt att validera studiens problemanalys. Dessutom användes workshopen som ett sätt att ta reda på krav och begränsningar gällande förändringsförslagets utformning. På workshopen deltog teknikchefen, tre produktionsledare och fyra operatörer och den inleddes med en presentation av den problemanalys som tagits fram. Deltagarna gavs här chansen att bidra med åsikter och synpunkter på problemanalysens utformning. Därefter genomfördes workshopen som en gruppintervju, så som den beskrivs av Gillham (2008). Gillham menar att fördelen med den typen av intervju är dess öppna och sökande karaktär som möjliggör uppmärksammande av information som i regel inte dyker upp i en mer kontrollerad individuell intervju. Synpunkter och åsikter som dök upp under gruppintervjuerna antecknades och efter en tids diskussion i två mindre grupper presenterades vad som lyfts i respektive grupp. Deltagarna fick i samband med detta komma med synpunkter och den gemensamma diskussionen sammanfattades på en whiteboardtavla. Slutsatserna som kunde dras utifrån gruppintervjun antecknades därefter. För att se vilka frågor som diskuterades på workshopen, se appendix A.

3.2.2 Sekundärdata

Fördelen med sekundärdata är att den är enkel att erhålla och i jämförelse med införskaffandet av motsvarande primärinformation tar den inte lika lång tid att samla in. Exempelvis har registerdata för alla bearbetningstider och ställtider hämtas från företagets materialplaneringssystem. Dock har inte originaldatan samlats in till denna specifika studie, vilken är något som Medbo (1998) menar kan påverka datans validitet negativt. Kunskap om hur informationen har samlats in, om den är aktuell samt huruvida den är representativ erhålls inte. En stor mängd sekundärdata hämtats from materialplaneringssystemet. I samband med detta har det uppkommit att de

materialplaneringar som genereras av systemet inte är tillförlitliga, vilket leder till att systemets allmänna pålitlighet kan ifrågasättas. Med detta i åtanke har dessa sekundärdata därför alltid kompletterats med primärdata.

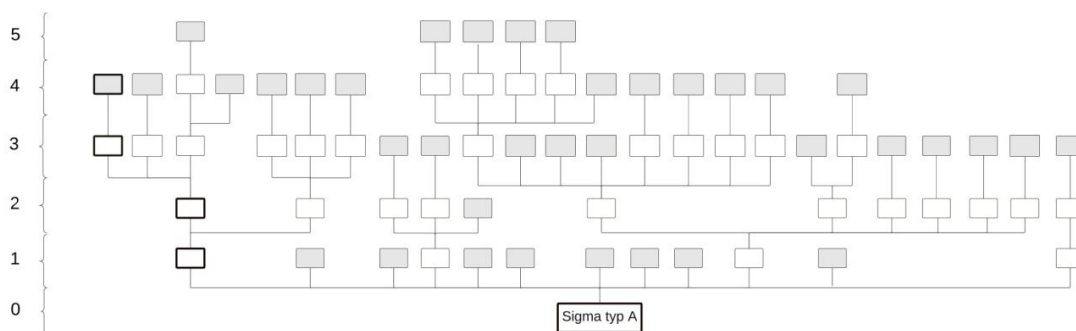
4 Analys av genomloppstid vid Manufaktor

I enlighet med delsyfte A behandlas i detta kapitel en analys av Sigmaproduktens genomloppstid. Kapitlet inleds med en orienterande beskrivning av Manufaktors Sigmatillverkning. Därefter följer en beskrivning och analys av genomloppstidens beståndsdelar vid Manufaktor.

4.1 Orienterande beskrivning av Sigmaproduktionen

Manufaktors verkstad innehåller i dagsläget cirka 40 maskiner, främst svarv-, fräs- och svetsmaskiner. Totalt används 15 maskiner för produktion av Sigmaprodukter men även manuella svetsoperationer tillkommer. Bearbetning av varje ingående komponent i en Sigmaprodukt sker i flera operationer och artikeln genomgår en slutkontroll efter varje bearbetning. Dessutom genomförs ett antal kvalitetskontroller efter varje enskild operation. Totalt genomförs cirka 130 operationer för att tillverka en Sigmaprodukt från råmaterial till färdig produkt. Ett avbrott i tillverkningen görs då artikeln skickas till en extern part för ytbehandling, vilken inte är möjlig att genomföra internt. Ledtiden för detta är tre veckor från försändelse till mottagande av den färdigbehandlade produkten och det finns bara en enda tillgänglig leverantör för denna typ av behandling.

En Sigmaprodukt består av komponenter vilka delvis tillverkas internt hos Manufaktor och delvis köps in som halvfabrikat eller råmaterial. I figur 4.1 presenteras ett strukturträd som beskriver alla ingående artiklar för en Sigmaprodukt typ A, där råmaterial och de komponenter som köps in är markerade i grått. Artiklar som genomgått någon form av bearbetning i fabriken är vita i figur 4.1. En Sigmaprodukt består av tolv komponenter varav åtta köps in och fyra genomgår intern bearbetning. Varje artikel, både inköpt och egentillverkad, har ett artikelnummer. Då olika komponenter på en nivå sätts samman genereras ett nytt artikelnummer. Exempelvis har de tolv artiklarna på nivå ett enskilda artikelnummer men då de sätts samman till en Sigmaprodukt på nivå noll får de ett nytt gemensamt artikelnummer.

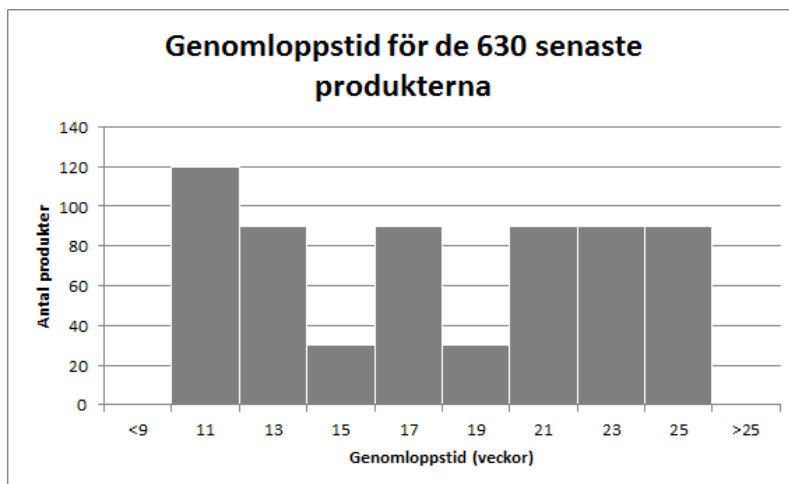


Figur 4.1 Strukturträd för Sigmaprodukt typ A. De grå rutorna symboliserar inköpta komponenter och de vita rutorna symboliserar bearbetade artiklar. De rutor med fet kant symboliserar den kritiska linjen, det vill säga det produktflöde som har störst total bearbetningstid, ställtid och transporttid.

Bearbetningen för 24 av de 33 egentillverkade artiklarna (vita rutor i figur 4.1) är identisk för de båda Sigmavarianterna. De komponenter som inte har identisk bearbetning följer dock liknade produktionsflöde. Anledningar till att viss bearbetning skiljer sig åt mellan varianterna är exempelvis att artiklarna består av olika material eller har olika dimensioner.

4.2 Analys av genomloppstid för Sigmaprodukterna

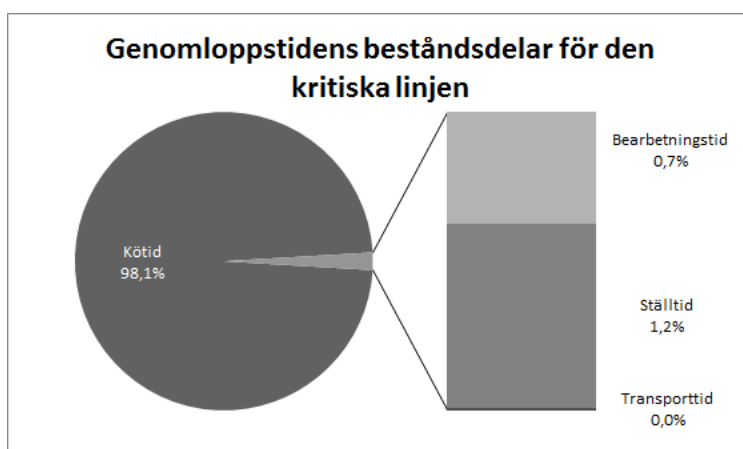
Den totala genomloppstiden för de 21 senaste leveranserna, alltså de 630 senaste produkterna, presenteras i figur 4.2.



Figur 4.2 Frekvensdiagram över genomloppstiden för 21 leveranser av Sigmaprodukt typ A.

Den genomsnittliga totala genomloppstiden under den givna perioden är 16,8 veckor. För alla ingående komponenter längs den kritiska linjen är den totala bearbetningstiden för en Sigmaprodukt 483 minuter, ställtiden för samma väg uppgår till 785 minuter för en produkt och transporttiden är 12 minuter. Totalt uppgår tiden för bearbetning, ställ och transport längs den kritiska linjen till knappt 1300 minuter vilket utgör mindre än två procent av den totala genomloppstiden, se exakta beräkningar i appendix D. Detta innebär att 98 procent av genomloppstiden utgörs av kötid vilket kan ses i figur 4.3.

Resultatet stämmer väl överens med det Karmarkar (1987) och Koo m.fl. (2007) menar då de konstaterar att kötid oftast utgör störst andel av genomloppstidens fyra beståndsdelar. Det kan således fastställas att kötid utgör den mest väsentliga andelen av total genomloppstid för Sigmaprodukter och därmed fokuserar studien fortsättningsvis på kötid.



Figur 4.3 Cirkeldiagram över varje beståndsdelns andel av genomloppstid för Manufaktors Sigmaprodukter.

5 Nulägesbeskrivning

Detta kapitel presenterar resultatet av den datainsamling som gjorts på Manufaktor inom området kötid. Data har samlats inom de områden som har identifierats som kritiska för uppkomsten av kötid. Denna beskrivning kommer sedan att ligga till grund för den analys som görs i kapitel 6 *Nulägesanalys*.

5.1 Resursutnyttjande och variationer

Följande avsnitt redogör för olika typer av variationer som identifierats vid tillverkning av Sigmaprodukter. Även Manufaktors resursutnyttjande presenteras då det enligt det teoretiska ramverket har en koppling till variationer.

5.1.1 Resursutnyttjande

På Manufaktor planeras ett resursutnyttjande på 85 procent för de maskiner som används vid tillverkning av Sigmaprodukter. Trots att det planeras för detta resursutnyttjande beläggs maskinerna ofta mer. Anledningen är vanligtvis att det inkommer specialorder på övriga metallprodukter från kunder som Manufaktor vill tillgodose.

5.1.2 Variationer

De variationer som har identifierats på Manufaktor delas in i fyra kategorier: stillastående maskiner, ställtid, bearbetningstid och kvalitet.

Stillastående maskiner

Det finns tre anledningar till att maskinerna inte körs under dagar då produktion finns planerad: maskinhaverier, sjukfrånvaro och ledighet. Under studiens gång har en mekaniker anställts som ska arbeta med förbyggande underhåll av maskinerna i syfte att minska tiden som maskiner står stilla. Sjukfrånvaro och personalledighet uppges leda till stillastående maskiner då det inte finns någon personal som kan ersätta en frånvarande operatör. Många av företagets operatörer kan dock hantera fler maskiner än sin egen men de uppger att det inte finns tid till detta.

Ställtid

Ställtider varierar från gång till gång för samma maskin till följd av att olika operatörer utför ställ på olika sätt. Det finns inget standardiserat sätt för hur ställ ska gå till för de olika maskinerna.

Bearbetningstid

Bearbetningstiden varierar beroende på vilken maskin företaget väljer att köra en artikel i eftersom alla maskiner är unika. En av Manufaktors produktionsledare menar att bearbetningstiden förlängs om en artikel måste köras i en maskin där bearbetning vanligtvis inte sker. Manufaktor väljer att ibland skifta maskin på grund av att den vanliga maskinen är upptagen med bearbetning av andra artiklar.

Råmaterialet, i form av stänger, som köps in och används till Sigmaproduktionen har ett brett spann vad gäller materialegenskaper. Exempelvis kan materialets hårdhet variera mellan olika stänger såväl som inom varje stång. Dessa skillnader i material gör att

maskiners skärdata måste justeras. I dagsläget är det varje operatörs ansvar att upptäcka materialskillnader och justera maskinens skärdata. Denna justering tar olika lång tid beroende på operatörens erfarenhet. Skillnaden i materialegenskaper gör även att frekvensen för verktygsbyten varierar. Manufaktor anser att det i dagsläget är svårt att säkerställa kvaliteten på råmaterial eftersom det endast finns ett fåtal leverantörer som erbjuder det material som Manufaktors Sigmakund kräver.

Kvalitet

När en defekt artikel upptäcks måste den antingen kasseras eller omarbetas. I syfte att minska kvalitetsfelen har Manufaktor idag kvalitetskontroller på upprepade ställen i produktionen, dels efter varje operation och dels i en slutkontroll efter att varje artikel färdigställts.

Efter varje operation mäter operatörerna vissa av artikelns dimensioner och om ett kvalitetsfel upptäcks ska det rapporteras i ett digitalt system och därefter utredas. Felrapportering görs dock inte alltid eftersom vissa operatörer anser att det inte finns något syfte med det. De upplever att ingen utredning eller uppföljning av problemet sker. Operatörerna anser också att mätningarna som görs är väldigt omfattande och i många fall onödiga eftersom vissa mått alltid stämmer. Dessutom utförs i princip samma mätning vid en slutkontroll. Det förekommer att defekter inte uppmärksammas förrän vid slutkontrollen. Detta uppges bero på att vissa fel kräver erfarenhet, kunskap och uppmärksamhet för att upptäcka, något som inte alla operatörer har.

Slutkontrollen sker vid en station som är belägen mitt i fabriken. Då varje batch med artiklar är färdigställd transporteras den till kontrollstationen innan den läggs på lager i väntan på andra artiklar som dessa ska sättas ihop med. Totalt sett genomförs 24 slutkontroller av en Sigmaprodukts ingående komponenter och dessa väntar i köer både innan och efter varje kontroll.

5.1.3 Begränsningar för förändring

Enligt en överenskommelse med Manufaktors största kund av Sigmaprodukter måste flödestakten vara 45 produkter i veckan. Dessutom vill företaget inte öka beroendet till denna kund och är därför inte beredda att genomföra några större ekonomiska investeringar i Sigmaproduktionen. Den fasta flödestakten i kombination med de ekonomiska förutsättningarna sätter en begränsning för hur lågt resursutnyttjandet kan vara med dagens resurser.

Kunden ställer höga krav på Sigmaprodukternas kvalitet. Det är därför mycket viktigt att Manufaktor har kvalitetskontroller för att säkerställa och dokumentera produkternas dimensioner och ingående material.

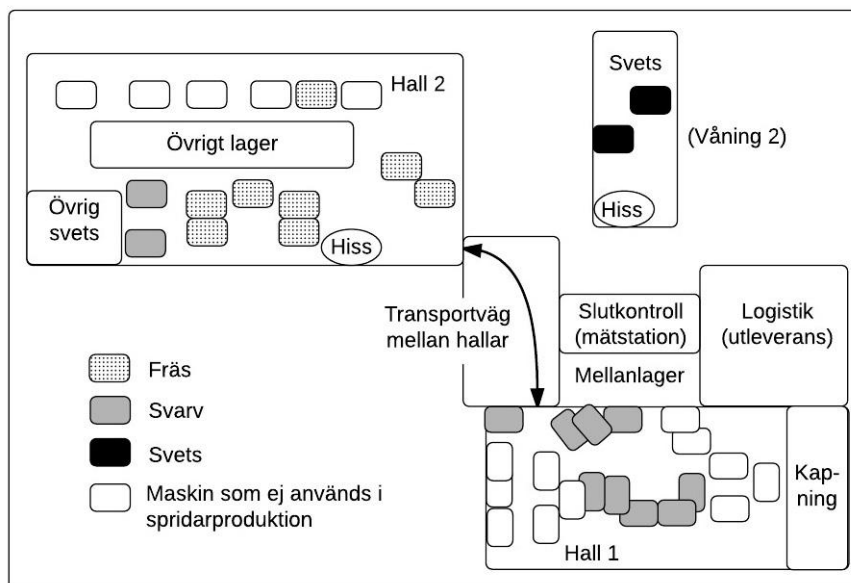
5.2 Layout

Följande avsnitt redogör för Manufaktors nuvarande layout och begränsningar för att förändra denna.

5.2.1 Verkstadens utformning och maskinplacering

Manufaktors svarv- och fräsmaskiner är nästintill helt separerade i två olika hallar inom produktionsområdet (se figur 5.1). Golvet mellan de två hallarna lutar vilket upplevs

försvåra transporten av material då en truck behövs för att flytta tyngre material mellan hallarna. De svetsoperationer som genomförs sker på våning två och förflyttning dit sker med hjälp av hiss. Färdiga komponenter lagras i mellanlagret. Varje maskingrupp har dessutom en separat lagerplats där artiklarna ligger på kö för bearbetning. Maskinplaceringen upplevs ge upphov till långa transportsträckor inne i fabriken. Inom de olika produktionsområdena är maskinerna placerade där utrymme fanns vid tillfället för maskininköpet. Varje operatör sköter en till två maskiner. Om en operatör sköter två maskiner är dessa placerade bredvid varandra.



Figur 5.1 Layout över Manufaktors verkstad. Kapning innebär en hall för kapning av råmaterial. Övrig svets används för vissa operationer av variant B och övrigt lager används inte alls i Sigmaproduktionen.

5.2.2 Begränsningar för förändring

Alla maskiner i Hall 1 och Hall 2 är flyttbara men det finns en kostnad både för arbetsinsatsen, då en extern firma hyrs in, och i form av det produktionsbortfall som kommer till följd av en maskinförflyttning. Svetsavdelningen är däremot inte flyttbar eftersom denna avdelning kräver en separat ventilation och en förflyttning skulle innebära en alltför omfattande investering.

5.3 Material- och produktionsstyrning

I detta avsnitt redogörs för hur materialflödet och Sigmaproduktionen styrs på Manufaktor. Därefter beskrivs indata i form av bearbetnings-, ställ- och kötider som används i planeringssystemet.

5.3.1 Material- och produktionsstyrningsprocessen

All tillverkning av Sigmaprodukter sker mot kundorder. Manufaktor använder sig av materialplaneringssystemet Monitor. När en kund lägger en order läggs artikelnummer, antal och överenskommen leveransdag för den beställda produkten in i systemet. Med stöd av inlagda bearbetnings-, ställ- och kötider utför systemet nettobehovsberäkningar för när varje delkomponent ska börja tillverkas. En tillverkningsorder skapas baserat på denna beräkning. Någon begränsning av antal order ute i verkstaden finns inte.

Flera av de anställda anser själva att de inte har fått tillräcklig utbildning gällande Monitor. Dessutom finns meningsskiljaktigheter angående hur Monitor ska användas och vem som ska uppdatera information, exempelvis angående bearbetningstid, i systemet.

Monitor reserverar inte specifika artiklar till en viss kundorder. Varje batch med artiklar har ett eget tillverkningsordernummer vilket alltså inte är kopplat till någon slutgiltig kundorder. Detta innebär att det först vid slutmontering avgörs vilka artiklar som ska användas till en specifik batch slutprodukter. Detta förfarande öppnar enligt produktionschefen även upp för mer flexibel försäljning av lösa komponenter. Manufaktör måste för varje batch dokumentera ingående material, dimensionsmått samt vilken operatör som har utfört vilken operation för varje tillverkad produkt. Anledningar till att omfattande dokumentation krävs är främst försäkringsmässiga.

Manufaktör har tre produktionsledare som ansvarar för var sitt område i verkstaden: de två hallarna samt svetsavdelningen (se figur 5.1). Med stöd av tillverknings- och leveransdatum som genereras av Monitor tar produktionsledarna manuellt fram separata körscheman för alla maskiner. Det är alltså de som styr vad varje maskin, och därmed varje operatör, ska bearbeta och i vilken ordning. Varje vecka har operatörerna och den ansvarige produktionsledaren gemensamma måndagsmöten. På dessa möten uppdateras körschemana, men det händer även att ändringar sker mitt i veckan. En anledning till förändringar kan vara så kallade akutorder som får gå före tidigare planerade order. Akutorder kan skapas om något kvalitetsfel uppstått så att det krävs omarbete eller nyproduktion, eller att en kund är villig att betala extra för snabb leverans.

Monitor är tänkt att användas av företagets logistikpersonal, för att kunna se när, varifrån och vart material ska förflyttas. Dock stämmer inte informationen i systemet angående när material ska flyttas och informationen används därför inte av logistikpersonalen. Istället sammanställer varje produktionsledare en lista över vad som ska göras och när. Logistikpersonalen, som förflyttar det material som kräver truck, använder istället den listan i sitt dagliga arbete. Logistikpersonalen och operatörerna upplever ibland att de behöver leta efter den batch de ska hämta. På företaget finns en överenskommelse över vilka ungefärliga lagerplatser som ska användas. Batcher placeras i direkt anslutning till respektive maskin före och efter bearbetning. Några exakta platser för specifika artiklar finns inte utmärkta intill maskinerna. Färdiga komponenter placeras i lager i väntan på att få ett nytt tillverkningsordernummer.

5.3.2 Indata till Monitor

De genomsnittliga tider för bearbetning och ställ som är inlagda i Monitor uppges stämma bra, dock finns stora variationer i dessa tider som inte registreras i systemet. Förutom bearbetningstid och ställtid har köddagar lagts in i systemet mellan varje operation för att genomloppstiden ska stämma bättre överrens med den verkliga. Någon utvärdering gällande om och i så fall var kötid behövs har ej gjorts på företaget. Produktionsledarna är medvetna om att mer kötid än nödvändigt är inplanerat och upplever därför inga stora krav på att hålla de interna leveransdatumen tidigt i flödet, vilket gör att den ursprungliga planeringen inte efterföljs. Monitor används i dagsläget enligt produktionsplanerna som en checklista över bearbetningssteg som ska vara gjorda innan leverans. Företagets produktionsplanerare bekräftar att den interna

leveranssäkerheten, alltså i den utsträckning de interna leveransdatumen hålls, är betydligt lägre än den externa, det vill säga leveransdatum till kund.

5.3.3 Begränsningar för förändring

De anställda på Manufaktor uppger inga direkta begränsningar för att förändra material- och produktionsstyrningsprocessen.

5.4 Batchstorlek

Följande avsnitt behandlar vilken batchstorlek som används vid produktion och transport av Sigmaprodukter. Begränsningar för att förändra dessa batchstorlekar presenteras också.

5.4.1 Produktions- och transportbatch

I dagsläget produceras alla ingående komponenter i Sigmaprodukten i batcher om 30 artiklar. Batcherna förvaras och transporteras i pallar med pallkrage. Undantag från batchstorleken görs vid maskiner med mycket lång ställtid, då två eller tre pallar alltid körs i följd vilket resulterar i en produktionsbatch på 60 alternativt 90 produkter. Eftersom ställtiden generellt sett är längre för svarvoperationer än för fräs- och svetsoperationer är det ofta vid svarvoperationer som produktionsbatchen utökas. Om flera artiklar av samma typ monteras på en Sigmaprodukt används en större batchstorlek. Om exempelvis tre likadana artiklar ska monteras på en Sigmaprodukt är batchstorleken för den komponenten 90 stycken. Oavsett storlek på produktionsbatch bearbetas artiklarna en och en i de flesta svarv-, fräs- och svetsoperationer.

Även på de ställen där produktionsbatchen är större än 30 transporteras varje pall separat. Transportbatchen är alltså i regel 30 artiklar. Ett undantag är i slutet av produktionen då artiklarna transporteras tio och tio från en svarvoperation till den avslutande svetsoperationen. Operatörerna uppger att transportbatchen är planerad till 30 artiklar även här men att transportbatchen minskas för att påskynda färdigställandet av artiklarna. Produktions- och transportbatchernas storlek motiveras med att Sigmakunden alltid lägger beställningar på 30 produkter åt gången.

5.4.2 Begränsningar för förändring

I dagsläget upplever både operatörer och produktionsledare att det finns två stora hinder för att minska batchstorleken. Det första är att mindre batcher skulle innebära fler ställ, något som de menar skulle leda till mindre tid för bearbetning och därmed problem med att producera 45 produkter i veckan. Företaget arbetar dock aktivt med att minska sina ställtider genom ett SMED-projekt. Det andra upplevda problemet är att mindre och fler batcher skulle leda till en svårhanterlig mängd dokumentation eftersom dokumentation angående spårbarhet är direkt kopplad till varje batch. Dokumentationen ska möjliggöra spårning av specifika materialegenskaper för varje produkt och spårning av vilken operatör som har genomfört varje operation samt tidpunkt för operationen. Om batcherna i systemet skulle vara mindre och fler skulle dokumentationen ta mer tid, dels för operatörer som ska fylla i kvalitetsprotokoll men även för personal som ska sammanställa den färdiga leveransen med tillhörande dokumentation.

6 Nulägesanalys

I detta kapitel identifieras och analyseras de orsaker som ger upphov till lång kötid i Manufaktors produktion i enlighet med delsyfte B. Orsakerna återfinns inom områdena resursutnyttjande och variationer, layout, material- och produktionsstyrning samt batchstorlek.

6.1 Resursutnyttjande och variationer

I följande avsnitt analyseras Manufaktors resursutnyttjande och de variationer som identifierats på företaget.

6.1.1 Resursutnyttjande

Enligt Mikati (2010) är ett resursutnyttjande på 85 procent i regel lämpligt om variationerna inte är mycket höga. Övriga 15 procent behöver användas som en buffert för att hantera olika typer av variationer. Manufaktors planerade utnyttjandegrad på 85 procent för Sigmaprodukter ter sig därför inte orimlig, förutsatt att variationerna inte är alltför stora. Problem uppstår hos Manufaktor eftersom maskinerna utöver det planerade resursutnyttjandet ibland beläggs med specialorder, och därmed är resursutnyttjandet betydligt högre än vad som planeras. I enlighet med Kingmans (1961) konstaterande leder detta till ökad kötid. När specialorder körs utöver den planerade Sigmaproduktionen förbrukas maskintid som är avsedd att fungera som en buffert mot variationer i Sigmaproduktionen.

6.1.2 Variationer

De variationer som företaget upplever är problematiska eftersom Johnson (2003) menar att variationer skapar lång kötid. Följande avsnitt analyserar de variationer som presenterades i avsnitt 5.1.2 *Variationer*.

Stillastående maskiner

Maskinhaverier leder på Manufaktor till att den maskintid som är beläggningsbar för bearbetning och ställ minskar. Anställningen av den nya mekanikern bör enligt Johnson (2003) minska den variation i maskintid som haverierna ger upphov till. En annan orsak till att maskiner står stilla på företaget är att det inte finns personal som kan ersätta en sjuk eller ledig operatör. Eftersom operatörer inte kan ersätta kollegor, då de inte har tid att köra en extra maskin, resulterar det i att maskiner står stilla och kötiden ökar när en operatör är frånvarande.

Ställtid

Variationer i ställtid uppstår på grund av att varje operatör på Manufaktor utför ställ på sitt eget sätt. Att det inte finns ett gemensamt sätt att utföra ställ på är problematiskt eftersom variationerna i ställtid påverkar kötiden.

Bearbetningstid

Variationer i bearbetningstid kan enligt Johnson (2003) uppkomma till följd av att artiklar bearbetas i olika maskiner. Att Manufaktor ibland bearbetar artiklar i en annan maskin än där de vanligtvis bearbetas, är ett resultat av de stora variationer och det höga resursutnyttjande som finns i produktionen. Eftersom Johnson menar att även skillnader

i materialegenskaper ger upphov till variationer i bearbetningstid, är det problematiskt att det förekommer materialvariationer på Manufaktor. Det är tidskrävande för operatörerna att behöva testa sig fram till rätt skärdata när materialet varierar och det skulle underlätta om dessa variationer reducerades. Maskinbytena tillsammans med skillnader i materialegenskaper bidrar alltså till en variation i bearbetningstid som i sin tur ger upphov till kötid.

Kvalitet

Det omarbete av defekta komponenter som förekommer på Manufaktor är problematiskt eftersom omarbete enligt Shah och Ward (2007) leder till att värdefull maskintid tas i anspråk. Artiklar får därmed vänta om de inte kan bearbetas i en maskin på grund av att den är upptagen med omarbete.

Det faktum att defekter ibland upptäcks först vid slutkontrollen talar för att operatörerna inte har rätt förutsättningar för att säkerställa kvaliteten i dagsläget. Som Gupta och Wilborn (1989) lyfter fram är det viktigt att operatörer som utför egenkontroll har rätt kunskap och en tydlig rutin att följa. Att företaget inte utbildar operatörer inom kvalitet och att en tydlig rutin för kvalitetskontrollen saknas kan därför vara anledningar till varför defekter passerar obemärkta förbi kontrollerna som utförs vid varje station.

Eftersom Manufaktors operatörer har bristande motivation gällande säkerställande av kvalitet görs inte felrapportering som planerat och det blir därmed svårt att veta hur många artiklar som faktiskt blir felaktiga. Enligt Monden (1998) leder en slutkontroll till att operatörernas motivation gällande säkerställande av kvalitet är lägre än vid egenkontroll. Monden menar också att det tar längre tid att upptäcka defekta artiklar vid användning av en slutkontroll, vilket i Manufaktors fall medför en stor risk för upprepning av kvalitetsbrister. Att en slutkontroll utförs som en egen station leder till fler antal köer vilket enligt Johnson (2003) ger en direkt negativ påverkan på kötiden.

6.2 Layout

Eftersom Manufaktor har placerat sina maskiner utifrån funktion och har stora buffertar som frikopplar processer, innebär det att de enligt Shafer och Charnes (1993) har en funktionell layout. Deras flödestakt på 45 Sigmaprodukter i veckan anses vara medelhög i jämförelse med övrig produktion i flödet. Graden av produktstandardisering är också relativt hög då de två Sigmavarianterna som tillverkas följer likande flöden. Utifrån Jacobs och Chase (2012) variant av Hayes och Wheelwrights (1979) matris (se figur 2.5) kan det därför ifrågasättas huruvida en funktionell layout är bäst lämpad för Manufaktor. Detta eftersom en funktionell layout rekommenderas när både tillverkningsvolym och grad av produktstandardisering är låg.

Manufaktors nuvarande layout innebär att merparten av artiklarna måste bearbetas i båda hallarna och transporteras dessutom ofta till och från svetsavdelningen på övervåningen. På grund av verkstadens utformning är produktionen svår att överblicka och dessutom blir transportsträckor mellan maskiner långa. Långa transportsträckor är vanligt förekommande då en funktionell layout används (Shafer och Charnes, 1993) vilket även är fallet hos Manufaktor. Enligt Johnson (2003) leder detta i sin tur till omfattande materialhantering om den kombineras med liten batchstorlek. Onödig materialhantering är en form av slöseri och bör minskas (Shingo, 1989).

En funktionell layout ställer enligt Johnson (2003) höga krav på ett företags materialstyrning eftersom styrning måste ske för varje enskild maskin, vilket sker hos Manufaktor. Då varje Sigmaprodukt har många ingående artiklar som bearbetas leder den funktionella layouten till stor flödeskomplexitet, vilket belyses av Olivella och Gregorio (2014).

Enligt Olivella och Gregorio (2014) frikopplas processer i en funktionell layout genom höga lagernivåer vilket enligt Kumar m.fl. (2013) leder till att produktionen blir mindre känslig för störningar. I Manufaktors fall innebär detta att tillverkningsprocessen inte är lika känslig för exempelvis maskinhaverier som den hade varit vid lägre lagernivåer. Dock innebär höga lagernivåer stora mängder PIA vilket ger upphov till en lång kötid (Little, 1961).

6.3 Material- och produktionsstyrning

Detta avsnitt inleds med en analys av Manufaktors materialplaneringsmetod. Därefter utreds problem i företagets styrningsprocess och indata till materialplaneringssystemet.

6.3.1 Materialplaneringsmetod

Styrningen av Manufaktors produktion kan enligt Mattson och Jonsson (2013) samt Liker och Meier (2009) klassas som ett tryckande system eftersom varje station arbetar i egen takt mot ett eget schema och utan någon begränsning av PIA i verkstaden. Att företaget har ett tryckande system stämmer överens med de anställdas uppfattning.

Eftersom Manufaktors verkstad i dagsläget har en funktionell layout kan ett tryckande system enligt Hunter (2004) och Steinbrunner (2005) anses vara lämpligt. Att det förekommer variationer i ställ- och bearbetningstider och att ställtiderna är långa kan också ses som argument för att ett tryckande system är lämpligt (Kumar och Panneerselvam, 2007; Schonberger, 1982). I dagsläget har Manufaktor en bra bild över efterfrågan under resten av året, vilket enligt Inman (1999) är användbart i ett tryckande system och därför kan ses som en fördel. Efterfrågan längre fram är däremot betydligt mer osäker vilket innebär att denna fördel kanske inte kommer att kvarstå efter årets slut.

Det tryckande systemet innebär stora nackdelar för företaget gällande kötid. Som Liker och Meier (2009) beskriver begränsar eller reglerar det tryckande systemet inte mängden PIA som befinner sig i verkstaden. Detta är problematiskt eftersom höga nivåer av PIA, enligt Littles lag (1961), direkt bidrar till en lång genomloppstid. Dessutom har det observerats att det finns många planeringspunkter på Manufaktor. Prashanth och Sanchoy (1999) uppger detta som en av nackdelarna med ett tryckande system eftersom ett stort antal planeringspunkter försvårar sekvensering och prioritering av order.

6.3.2 Produktionsstyrningsprocessen

Manufaktors anställda har inte tillräcklig utbildning i hur Monitor fungerar och har heller ingen samsyn på hur systemet ska användas. Eftersom Manufaktors system inte hålls uppdaterat minskar dess användbarhet. Detta är i linje med Zäpfel och Missbauers (1993) beskrivning om att bristfälliga uppdateringar gör att systems planeringar blir oanvändbara.

Enligt Mattsson och Jonssons (2013) definition innebär varje maskin, bearbetningsstation, kontrollstation och materialförflyttning en planeringspunkt. Enligt Prashanth och Sanchoy (1999) samt Hopp och Spearman (2004) resonemang ger varje planeringspunkt en ökad mängd information att hantera vilket försvårar styrningen av verkstaden. Således kan de många planeringspunkterna vara en anledning till att produktionsplaneraren och produktionsledarna på Manufaktor måste lägga mycket tid på att planera produktionen. På företaget medför dessutom varje planeringspunkt att en kö uppstår.

Att produktionsplaneraren och produktionsledarna måste schemalägga varje maskin manuellt begränsar deras möjligheter att göra bra och användbara planeringar. De lyckas inte i fullständigt synkronisera materialflöden, vilket enligt Karmarkar (1987) är vanligt i ett tryckande system och gör att kötid uppstår. Kötid innebär att det finns en stor mängd PIA i produktionen och detta är något som enligt Enns (2001) och Koo m.fl. (2007) innebär ytterligare planeringssvårigheter.

Ändringar i planeringen till följd av akutorder medför enligt Treville m.fl. (2004) att genomsnittlig genomloppstid i produktionen ökar till följd av ökat resursutnyttjande.

6.3.3 Indata till Monitor

Precis som Zäpfel och Missbauer (1993) och Enns (2001) hävdar gör variationer i ställtider och bearbetningstider att planeringen som genereras av Monitor blir svår att följa i verkligheten. Av denna anledning har ködagrar lagts in mellan varje operation, vilket enligt Zäpfel och Missbauers (1993) resonemang om ledtidssyndromet skapar en ond cirkel i Manufaktors Sigmaproduktion. Den inplanerade kötiden skapar ett behov av ytterligare kötid. Att kötiderna i systemet inte är anpassade efter det faktiska behovet av säkerhetstid är därför problematiskt.

Att ködagrar planeras in mellan varje operation påverkar även den interna leveranssäkerheten negativt. Ködagarna möjliggör för produktionsledarna att förändra körschemana, då de vet att det finns extra tid inplanerad och därför inte känner att det är nödvändigt att hålla interna leveransdatum tidigt i flödet.

6.4 Batchstorlek

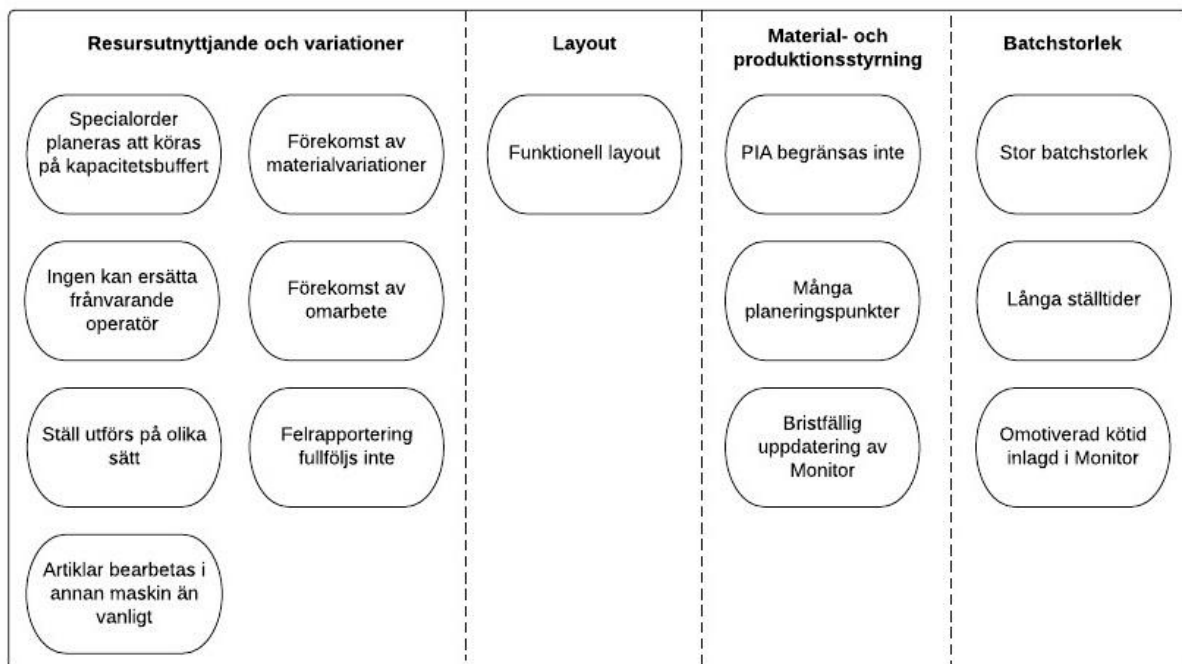
Enligt Canel m.fl. (2005) innebär en stor batchstorlek att varje artikel i batchen måste vänta på övriga artiklar innan nästa operation kan påbörjas. På Manufaktor finns detta problem vid varje operation. Eftersom batchstorleken är 30 betyder det att varje artikel måste invänta 29 andra artiklar innan nästa operation kan påbörjas. Därmed blir kötiden 29 gånger så lång som bearbetningstiden vid varje operation och på operationer med större batchstorlek blir kötiden, med samma resonemang, ännu längre. Då totala antalet operationer vid tillverkningen av Sigmaprodukter uppgår till cirka 130 stycken utgör detta en stor del av den totala kötiden.

Att produktionsbatchen är satt till samma storlek som leveransbatchen i hela produktionen på Manufaktor skapar problematik eftersom onödig kötid uppstår vid operationer där batchstorleken hade kunnat minskas. Zäpfel och Missbauer (1993) uppger att det finns fördelar med att ha olika stor produktionsbatch vid olika operationer.

För att Manufaktor ska kunna producera komponenter till 45 färdiga Sigmaprodukter i veckan måste ett och ett halvt ställ hinna med om en batch på 30 används. Detta är problematiskt då det endast är sex av de 14 maskiner som används som har tillräckligt med beläggningsbar maskintid för att kunna göra ett och ett halvt ställ per vecka, se appendix G. Det är alltså många maskiner som inte hinner producera 45 komponenter i veckan utan övertid eller samkörning av batcher. En sådan maskin är svarv 72 (se appendix G) där det endast kvarstår tre minuter av den beläggningsbara maskintiden för ställ. När prioritetsordningen ändras för att två order ska kunna köras i rad utan ställ ökas inte bara batchstorleken, och därmed kötiden, det skapar dessutom en störning i planeringen eftersom samkörningen innebär en försening för den order som är bortprioriterad. Speciellt problematiskt är det för svarvmaskiner att få tid till ställ då dessa ställtider är extra långa.

6.5 Sammanfattning av nulägesanalys

I figur 6.1 sammanfattas de problem som identifierats på Manufaktor. Dessa problem är orsakerna till Sigmaprodukternas långa kötid.



Figur 6.1 Sammanfattning av de problem som identifierats och konstaterats ge upphov till Sigmaprodukternas långa kötid.

7 Förändringsförslag

Kapitlet inleds med en sammanställning av de begränsningar som finns för förändringar i Manufaktors produktion. Därefter analyseras vilka förändringar som är möjliga att genomföra för att eliminera de problem som konstaterats i kapitel 6 *Nulägesanalys*. Analysen mynnar ut i förändringsförslag inom varje område som orsakar kötid. Förslagen och deras sekventiella beroendeförhållande sammanfattas sedan. Slutligen utvärderas dessa förslag med avseende på genomloppstid och hållbar utveckling.

7.1 Begränsningar och krav

För att kunna utforma förändringsförslag ska, i enlighet med delsyfte C, hänsyn tas till de krav och begränsningar som Manufaktor har gällande produktionen av Sigmaprodukter. Listan nedan utgör en sammanfattning av de begränsningar för förändring som presenterades i kapitel 5 *Nulägesbeskrivning*.

- Flödestakten får inte understiga 45 Sigmaprodukter i veckan på grund av en överenskommelse med den största kunden.
- Inga större ekonomiska investeringar i Sigmaproduktionen kan motiveras om det innebär att beroendet till den största kunden ökar.
- Kvalitetsstandarden för de färdiga Sigmaprodukterna får inte försämrats.
- Spårbarheten för Sigmaprodukterna måste bibehållas.

7.2 Kötidsreduktion

I följande avsnitt presenteras och analyseras förändringsförslag inom områden där potential till kötidsreducering finns.

7.2.1 Resursutnyttjande och variationer

Avsnittet behandlar möjliga förändringsförslag kopplat till resursutnyttjande och variationer.

Resursutnyttjande

Om maskinernas utnyttjandegrad hålls på 85 procent eller lägre kan de variationer som förekommer hanteras bättre. De 15 procent som inte beläggs kan då fungera som en kapacitetsbuffert vilket enligt Hopp och Spearman (2004) är ett bra sätt att hantera variationer. Tiden som inte beläggs kan exempelvis användas av operatörerna till att köra en annan maskin parallellt med sin egen om någon operatör är sjuk eller ledig. Genom att inte lägga in specialorder på kapacitetsbufferten förhindras en ökning av resursutnyttjandet och enligt Kingman (1961) förhindras då även en ökning av kötiden.

För att minska resursutnyttjandet i de maskiner där det är för högt kan den beläggningsbara maskintiden ökas genom att öka antalet skift. Alternativet är att köpa nya maskiner i kombination med att nyanställa operatörer för att köra dessa. Då dessa två alternativ skulle innebära investeringar måste det dock utredas i vilken utsträckning de skulle påverka företagets beroende av Sigmaproduktionen. För att minska resursutnyttjandet utan att öka den beläggningsbara maskintiden kan företaget minska ställtiderna. Därför är företagets SMED-projekt och andra åtgärder för att minska ställtiderna av stor vikt.

Variationer

Som Johnson (2003) konstaterar orsakar variationer kötid. Genom att arbeta aktivt med att minska variationer i Sigmaproduktionen kan Manufaktors totala kötid minskas. Nedan presenteras därför möjliga förändringsförslag för att minska variationer.

Stillastående maskiner

Som nämndes i 6.1.2 *Variationer* är företagets arbete med förebyggande underhåll av stor vikt för att reducera variationer orsakade av maskinhaverier. De variationer i maskintid som uppstår till följd av sjukfrånvaro och ledighet skulle kunna minskas genom att inte belägga maskiner fullt ut. På detta sätt skulle operatörer ha mer tid över för att hantera en frånvarande kollegas maskin vid behov. Shah och Ward (2007) menar att operatörer måste kunna manövrera flera maskiner för att det ska vara möjligt att ersätta frånvarande personal. Som beskrevs i 5.1.2 *Variationer* kan många operatörer på Manufaktor redan idag hantera flera maskiner och det borde därför inte vara några problem för dem att ta över en sjuk eller ledig operatörs maskin.

Ett annat alternativ till att reducera variationer orsakade av sjukfrånvaro och ledighet skulle kunna vara att nyanställa en eller flera operatörer. En nyanställning skulle dock, i enlighet med Shah och Ward (2007), ställa höga krav på att den eller de nya operatörerna kan hantera ett stort antal maskiner. Att lära sig hantera alla företagets maskiner skulle vara tidskrävande då alla komponenter och även alla maskiner är unika. Dessutom skulle en nyanställning innebära en investering och med hänsyn tagen till de begränsningar och krav som finns anses det därför mer fördelaktigt om den befintliga personalen kan användas för att hantera variationerna orsakade av frånvarande personal.

Ställtid

Genom att införa ett standardiserat arbetssätt för hur ställ ska utföras kan variationer i ställtider minskas hos Manufaktor. Standardisering av arbete är enligt Monden (1998) viktigt för att minimera skillnader i tillvägagångssätt. Monden menar även att det standardiserade arbetssättet regelbundet bör utvärderas och uppdateras. Genom att ständigt ha ett uppdaterat standardiserat arbetssätt kan Manufaktor säkerställa att ställ utförs på det för tillfället bästa sättet. När alla operatörer utför ställ på samma sätt kommer variationerna i ställtid reduceras.

Bearbetningstid

På Manufaktor uppstår variationer i bearbetningstid på grund av att komponenter ibland körs i andra maskiner än normalt. Eftersom detta görs när den ordinarie maskinen är upptagen av en försenad batch skulle problemet kunna lösas genom att minska alla typer av variationer som förekommer i produktionen. Genom att minska variationer i produktionen menar Johnson (2003) att sannolikheten för att batch ska bli försenad minskar. I Manufaktors fall skulle därför en reduktion av övriga typer av variationer även minska variationer som uppstår på grund av att olika maskiner används för samma bearbetning.

Ett annat sätt att minska Manufaktors variationer i bearbetningstid är att minska variationerna i materialegenskaper. Johnson (2003) menar att denna variation kan minskas genom att säkerställa att råmaterialet håller jämn och tillräckligt hög kvalitet. Ett säkerställande av materialkvaliteten hos Manufaktor kommer leda till att

maskinernas inställningar inte behöver justeras lika ofta. På så sätt minskar variationerna i bearbetningstid, och verktygsbyten sker mindre frekvent.

Monden (1998) menar att ett standardiserat arbetssätt kan minska skillnader i kunskap. Eftersom justering av skärdata tar olika lång tid beroende på operatörens erfarenhet skulle ett införande av standarder i enlighet med Mondens resonemang kunna minska variationerna i tidsåtgång för justering av skärdata. Hanteringen av materialvariationer skulle därmed kunna förenklas. Vad som däremot skulle försvåra ett införande av standarder är att material kan variera inom en batch till följd av att råmaterialet kan ha varierande materialegenskaper inom samma råmaterialstång. På grund av detta skulle operatörer fortfarande behöva testa sig fram till rätt inställning under bearbetning av en batch och standarder skulle inte minska variationerna i bearbetningstid. Ett standardiserat arbetssätt skulle däremot kunna införas efter att materialkvaliteten säkerställts.

Kvalitet

Shah och Ward (2007) menar att kvalitetsvariationer kan reduceras genom att införa noggranna rutiner för kvalitetskontroll. För att upptäcka defekta artiklar tidigare menar Monden (1998) att egenkontroll kan införas istället för slutkontroll. Dessutom menar Shah och Ward (2007) att egenkontroller genererar mindre omarbete. Enligt Gupta och Wilborn (1989) är en förutsättning för lyckad egenkontroll att operatörerna får rätt utbildning och en tydlig beskrivning över hur kvalitetsarbetet ska utföras. Eftersom tydliga kontrollinstruktioner inte existerar på Manufaktor idag kan slutkontrollen inte avvecklas utan vidare. Monden (1998) menar att införandet av ett standardiserat arbetssätt minskar skillnaderna i kunskap och tillvägagångssätt mellan operatörerna vilket skulle underlätta kvalitetsarbete och felrapportering. För att Manufaktor ska kunna fasa ut användandet av en slutkontroll och övergå till egenkontroll är en förutsättning att operatörerna är utbildade inom kvalitet och att ett standardiserat arbetssätt finns. Monden (1998) menar också att det är nödvändigt att uppdatera rutinerna regelbundet. Införandet av rutiner är därmed inte en engångsföreteelse utan något som ständigt bör utvärderas och förbättras.

För att minska den osäkerhet som finns bland operatörerna angående huruvida de mått som tas är nödvändiga, kan en grupp av tekniker och operatörer samlas för att utreda vilka mätningar som krävs. Denna diskussion kan sedan ligga till grund för en standardisering av kvalitetskontrollen.

Eftersom slutkontrollen utförs totalt 24 gånger vid produktion av en Sigmaprodukt skulle en utfasning av denna kontrollstation innebära att alla köer i anslutning till kontrollstationen försvinner. Ingen extra tid tillkommer ute i produktionen trots det ökade ansvar egenkontroll skulle innebära, eftersom egenkontroll redan genomförs i dagsläget.

7.2.2 Layout

Den medelhöga tillverkningsvolymen och relativt höga graden av produktstandardisering skulle enligt Hayes och Wheelwrights (1979) produkt-processmatris indikera att celllayout är lämpligt val för produktion av Sigmaprodukter. En fördel med att placera maskiner i celler är att transportsträckor kan hållas korta (Burbidge, 1991; Kumar m.fl., 2013). Förkortade transportsträckor vore fördelaktigt för

Manufaktor då det enligt Kumar m.fl. (2013) möjliggör mindre transportbatcher, se vidare 7.2.4 *Batchstorlek*. En annan fördel med att övergå från en funktionell layout till cellayout är att behovet av stora buffertar minskar, eftersom behovet av att frikoppla processer minskar (Olivella och Gregorio, 2014). Minskade buffertar vore fördelaktigt för Manufaktor, då genomloppstiden reduceras genom att reducera mängden PIA (Little, 1961). En risk med minskade buffertar är dock att produktionen blir känsligare för störningar (Kumar m.fl., 2013). För att Manufaktor ska kunna dra nytta av fördelarna med cellayout är det viktigt att de arbetar med ständig variationsreducering.

Då det är ett stort problem att material måste transporteras mellan hallarna, både vad gäller svårigheter i materialtransporter på grund av lutningen mellan hallarna och vad gäller överblickbarhet, skulle det vara fördelaktigt för Manufaktor att undvika denna transportsträcka. Transportsträckan skulle kunna undvikas genom att flytta om maskinerna enligt resultatet från maskingrupperingsberäkningen i appendix F. Genom att flytta två fräsar och en svarv till Hall 1, samt en svarv till Hall 2, skulle alla förutom fyra artiklar kunna bearbetas inom en och samma hall. Om bearbetningsstegen för de fyra artiklarna kan flyttas till maskiner inom en hall, behöver ingen transport ske mellan hallarna. Detta gäller under förutsättning att slutkontrollen av kvalitet ersätts med självinspektion. Problem skulle kunna uppstå vid förflyttning av maskiner om företagets övriga produktflöden störs eftersom Manufaktor vill minska beroendet till sin största kund. Förändringar i layout kan därför inte göras enbart för att optimera flödet för Sigmaprodukter utan hänsyn måste även tas till övrig produktion.

Tre av de maskiner som skulle behöva flyttas används till drygt 60 procent för Sigmaproduktion. Fördelarna som skapas genom att flytta dessa maskiner bör därför vara större än de eventuella nackdelar som kan komma av att övrig produktion i fabriken störs. För att undersöka hur övrig produktion påverkas av en sådan maskinförflyttning behövs en kompletterande utredning eftersom denna studie endast undersöker Manufaktors Sigmaproduktion. Den fjärde maskinen används till strax under 50 procent till Sigmaproduktion. Produktionsledare för Hall 2 menar dock att majoriteten av resterande tid åtgår till att producera komponenter som går i princip samma flöde som Sigmakomponenterna. En förflyttning av denna maskin skulle därför inte störa övrig produktion nämnvärt.

Den föreslagna förflyttningen innebär att det måste finnas ledig plats i Hall 1 för att få plats med två extra maskiner utöver de som finns i dagsläget. Problem kan uppstå om utrymme i fabriken saknas för att genomföra maskinförflyttningen.

Den kötid som kan minskas till följd av att enbart flytta de föreslagna maskinerna är en mycket liten del av den totala kötiden. Om endast maskiner flyttas kommer framförallt transporttiden minska, vilket på Manufaktor är en mycket liten del av genomloppstiden. En omstrukturering av maskiner kan däremot motiveras genom att en förändrad layout är en förutsättning för att kunna genomföra förändringar i batchstorlek och styrning av produktionen på ett önskvärt sätt. Därför är det fördelaktigt för Manufaktor att investera i maskinförflyttning så att kötiden och således genomloppstiden kan minskas, så länge inte flöden för andra produkter försämrats.

Att flytta de fyra föreslagna maskinerna är ett första steg mot skapandet av en cellayout. För att kunna tillgodogöra sig fördelarna med en cellayout måste även styrning anpassas för celler (Safizadeh m.fl., 1996). Johnson (2003) poängterar att vid en cellayout ska

styrning ske för varje cell och inte för varje maskin, vilket möjliggörs om ett dragande system införs. Ett sådant system innebär att varje maskin inte behöver styras separat.

Om Manufaktor skulle flytta de fyra maskinerna och sedan implementera ett dragande system skulle fabriken ha en cellayout med två stora celler. Eftersom det enligt Arkat m.fl. (2012) är lättare att styra produktionen ju mindre cellerna är, skulle det vara fördelaktigt för Manufaktor om maskinerna grupperas i mindre celler. En förutsättning för maskingruppering i mindre celler är att det undersöks vilka komponenter som kan bearbetas i andra maskiner än de som de i dagsläget bearbetas i.

7.2.3 Material- och produktionsstyrning

Förändringar kan göras för att använda Manufaktors tryckande systemet mer effektivt och på så sätt minska kötiden. Varje åtgärd som gör den genererade planeringen mer användbar motverkar ledtidssyndromet vilket innebär att den onda spiralen med mer och mer kötid kan brytas (Zäpfel och Missbauer, 1993). För att komma till rätta med problemet att planeringen som genereras av Monitor inte är användbar krävs att kötiden i systemet anpassas efter behov. För att ta reda på hur vilken kötid som är lämplig att planera med kan företaget antingen beräkna hur mycket kötid som krävs eller testa sig fram genom att successivt minska kötiden på samma sätt som Hopp och Spearman (2004) beskriver att PIA kan minskas i ett dragande system. Företaget kan då på ett strukturerat vis undersöka vilken effekt det ger på planeringens användbarhet om kötiden minskas. Minskad kötid ger dessutom enligt Littles lag (1961) mindre PIA, vilket enligt Enns (2001) samt Koo m.fl. (2007) förenklar produktionsledarnas jobb och ger dem bättre förutsättningar att göra en bra planering, vilket i sin tur gör att kötid kan minskas ytterligare.

På motsvarande sätt som minskad kötid enligt Littles lag (1961) leder till en minskad mängd PIA gäller även det omvända förhållandet. Genom att begränsa antalet PIA kan alltså kötiden reduceras. CONWIP är en styrningsmetod som möjliggör just denna begränsning av PIA (Salum och Araz, 2009; Hopp och Spearman, 2004). Införande av CONWIP skulle innebära att Manufaktor får större kontroll över antalet PIA. När den nuvarande mängden order i fabriken har bestämts skulle en minskning av denna mängd reducera genomloppstiden på samma sätt som minskningen av antalet ködagar i Monitor skulle göra.

För att planeringen ska bli mer användbar krävs det i enlighet med Zäpfel och Missbauer (1993) att den uppdateras för att stämma överens med verkligheten. Förutsättningar för detta är att medarbetare på Manufaktor har en samsyn på hur Monitor ska användas och utbildas i hur systemet fungerar. Dessutom behövs eventuellt fler datorer med den aktuella programlicensen ute på produktionsgolvet för att underlätta operatörernas användning av systemet.

Akutorder och prioriteringsändringar är inte att föredra, då de orsakar störningar och förseningar i flödet (Treville m.fl., 2004). Genom att minska kötiden och därmed genomloppstiden kan behovet av akutorder och ändringar minskas (Karmarkar, 1987), utan att förlora flexibilitet gentemot kund. För att Manufaktor ska kunna acceptera akutorder och genomföra prioriteringsändringar även på kort sikt utan att Sigmaproduktionen påverkas negativt måste separat maskintid avsättas till akutorder av andra produkter.

Sammanfattningsvis kan det aktuella tryckande systemet förbättras genom att införa följande åtgärder:

- Minska kötiden i Monitor
- Utbildning i Monitor
- Införande av CONWIP

Införandet av ett dragande system i Manufaktors Sigmaproduktion skulle minska antalet planeringspunkter eftersom produktionsledarna då inte behöver göra körscheman för varje maskin och planeringar för slutkontroll och materialförflyttning. Enligt Prashanth och Sanchoy (1999) samt Hopp och Spearman (2004) skulle därmed planeringsprocessen förenklas till följd av enklare kontroll och minskad mängd informationshantering. Den förenklade planeringsprocessen ger bättre förutsättningar för att synkronisera materialflödet vilket enligt Karmarkar (1987) leder till minskad kötid. PIA-begränsningen som följer med ett dragande system skulle även begränsa kötiden (Little, 1961) och förhindra att PIA når en så pass hög nivå att styrningen kompliceras (Enns, 2001; Koo m.fl., 2007). Ett dragande system skulle alltså kunna förenkla Manufaktors styrningsprocess och på så sätt bidra till ännu kortare kötid än vad som är möjligt inom det existerande tryckande systemet.

Förutsättningarna för att ett dragande system ska kunna fungera är dock mer omfattande än de för att förbättra det existerande tryckande systemet. För att kunna införa ett dragande system krävs att batchstorleken kan minskas (Schonberger, 1982), att variationer minskas (Kumar och Panneerselvam, 2007) och att den funktionella layouten ändras (Hunter, 2004; Steinbrunner, 2005), se vidare 7.2.4 *Batchstorlek*, 7.2.1 *Resursutnyttjande och variationer*, och 7.2.2 *Layout*. Om dessa förutsättningar inte tillgodoses kan ett införande av ett dragande system göra mer skada än nytta för Manufaktor.

7.2.4 Batchstorlek

Tiden som produkter ligger och väntar på att andra artiklar i samma batch ska bearbetas kan minskas genom att minska transport- och produktionsbatchen på Manufaktor. En minskad batchstorlek skulle underlätta planering av Sigmaproduktionen i Hall 2, eftersom de stora batcherna uppges komplicera andra produktflöden. Minskad transportbatch används redan i slutet av flödet på slutmonteringen, något som har gett önskad effekt av reducerad genomloppstid i den delen av flödet.

Det finns dock förutsättningar som i dagsläget sätter begränsningar för i vilken utsträckning batchstorleken kan minskas. Om batchstorleken minskas utan hänsyn tagen till ställtider skulle förändringen leda till att Manufaktors krav på en produktionstakt på 45 produkter i veckan inte kan upprätthållas, på grund av den tradeoff som Koo m.fl. (2007) och Karmarkar (1987) beskriver. För att kunna bibehålla en given produktionstakt men ändå minska batchstorleken är ställtidsreduktion därför av stor vikt. Genom att minska ställtiden kan ett ökat antal ställ hinnas med på den maskintid som är beläggningsbar. Som Monden (1998) anger kan en halvering av ställtiden på en operation möjliggöra en halvering av batchstorleken på samma operation utan att produktionstakten förändras. Ett annat sätt att hinna med fler ställ är att öka maskintiden, hur detta kan göras på Manufaktor analyseras i 7.2.1 *Resursutnyttjande och variationer*.

Om batchstorleken inte kan minskas i hela produktionen, till följd av långa ställ på ett fåtal operationer, bör möjligheten att använda differentierade batchstorlekar i produktionen undersökas. Detta är något som Zäpfel och Missbauer (1993) anser vara en möjlighet för att minska den totala kötiden men ändå använda sig av stora batcher där det är nödvändigt. I dagsläget hade dock en sådan förminskning lett till en ökad materialhantering. Detta eftersom en mindre batch skulle innebära att material måste flyttas fler gånger mellan varje maskin. Exempelvis skulle en batch om tio komponenter istället för 30 innebära att antalet transporter tredubblas. Att dagens layout orsakar långa transportsträckor innebär att en förändrad layout är en förutsättning för att kunna minska batchstorleken.

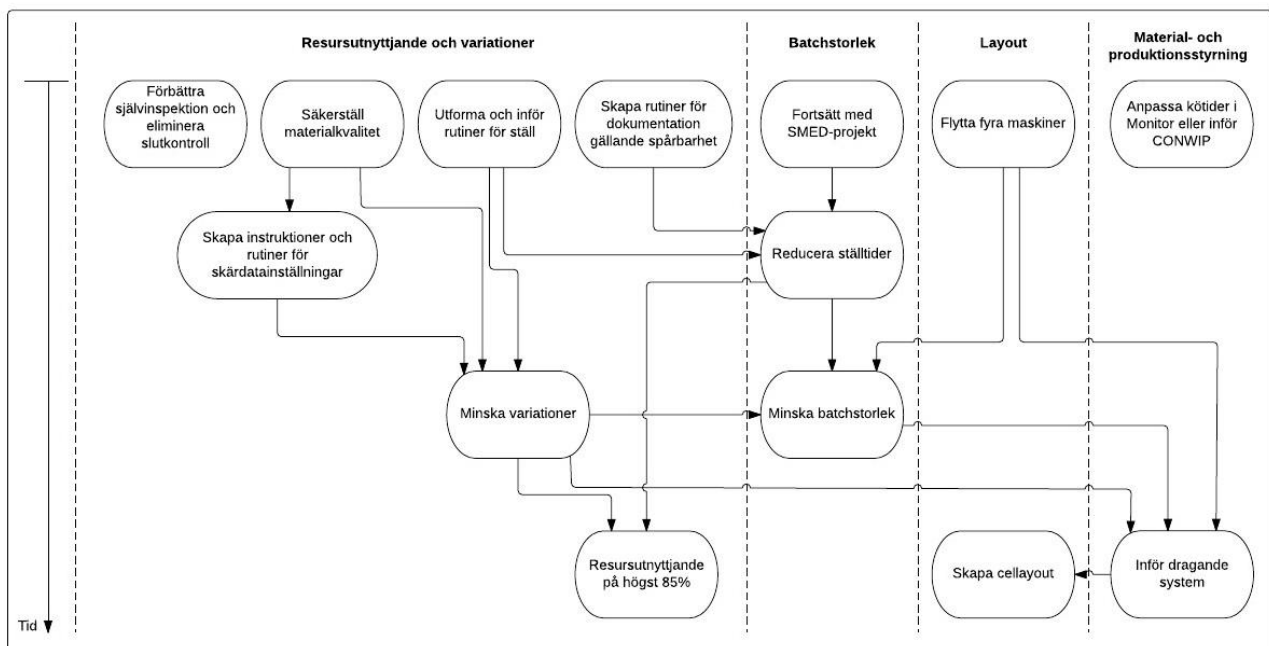
En ökad mängd dokumentation skulle krävas om antalet batcher ökar eftersom dokumentationen är direkt kopplad till varje batch, se 5.4 Batchstorlek, vilket är problematiskt. Därför skulle det krävas en omarbetning av dokumentationsrutinerna för att en reducering av batchstorleken ska vara möjlig. Detta är dock något som produktionsplanerarna själva har uttryckt är möjligt att åstadkomma.

Sammanfattningsvis kan kötiden minskas genom att minska storleken på produktions- och transportbatcherna men tre förutsättningar krävs för att detta ska vara möjligt:

- Ställtiderna måste minskas
- Layouten måste förändras
- Rutinerna kring dokumentation måste omarbetas.

7.2.5 Sekventiellt beroende mellan förändringsförslagen

Förändringsförslagen är kopplande till varandra eftersom det finns ett inbördes beroende mellan dem. Det sekventiella beroende som existerar mellan dem illustreras i figur 7.1.



Figur 7.1 En sammanställning av de förändringsförslag som tagits fram med hänsyn tagen till i vilken ordningsföljd de bör genomföras. En pil från ruta A till ruta B innebär att förslaget i ruta A är en förutsättning för att förslaget i ruta B ska kunna genomföras.

För att på lång sikt kunna minska kötiden, och därmed genomloppstiden, är ett införande av ett dragande system med en celllayout samt ett resursutnyttjande som är lågt nog att kunna hantera variationer och högt nog att upprätthålla önskad produktionstakt önskvärt. För att kunna genomföra detta krävs dock först att batchstorleken och variationerna minskas. För att detta i sin tur ska vara möjligt krävs fler åtgärder, så som att skapa rutiner för ställ och dokumentation, inom de områden som anges i figur 7.1. För att kunna minska kötiden på kortare sikt, innan en implementering av ett dragande system är möjlig, kan ett steg mot att minska kötiden vara en anpassning av kötider i Monitor eller ett införande av ett CONWIP system.

7.3 Utvärdering med avseende på genomloppstid

I detta avsnitt presenteras två räkneexempel för hur förändringsförslagen kan påverka genomloppstiden för Sigmaprodukter. Alla beräkningar som ligger till grund för utvärderingen återfinns i appendix H.

I dagsläget består den 16,8 veckor långa genomloppstiden till 98 procent av kötid, alltså 16,5 veckor. Den delen av kötiden som är kopplad till batchstorlek är 3,5 veckor och resterande kötid uppgår till tio veckor. Övriga tre veckor är produkten på ytbehandling hos extern leverantör. Genom att anpassa kötiderna i Monitor eller genom att införa CONWIP kan den resterande kötiden reduceras. Med grund i de stora buffertar som observerats och kötiden som planerats in, vilken bidrar till ledtidssyndromet, kan det konstateras att kötiden, på tio veckor, är betydligt längre än den skulle kunna vara.

Om den övriga kötiden på tio veckor halveras blir den totala genomloppstiden 11,8 veckor, vilket motsvarar en reduktion med 30 procent. En förenkling som gjorts i beräkningen är antagandet att en arbetsvecka består av 66,5 timmar, vilket är medelvärdet av de beläggningsbara maskintiderna för Sigmaprodukter. Denna siffra har använts när veckor räknats om till timmar och tvärtom och kan därmed bidra till osäkerhet i resultaten.

Om Manufaktor lyckas implementera ett dragande system och alla de förändringsförslag som utgör förutsättningar för ett sådant, kan genomloppstiden reduceras ytterligare på längre sikt. Kötiden som uppstår till följd av väntetid orsakad av batchstorlek kan minskas till 1,2 veckor om batchen minskas till tio. En batchstorlek av detta slag möjliggörs då ställtiderna är maximalt 30 minuter. Om förändringsförslagen leder till att övrig kötid kan reduceras till en fjärdedel av den nuvarande, alltså 2,5 veckor istället för tio veckor, skulle det innebära att genomloppstiden i det dragande systemet blir 6,9 veckor, en reduktion med 59 procent.

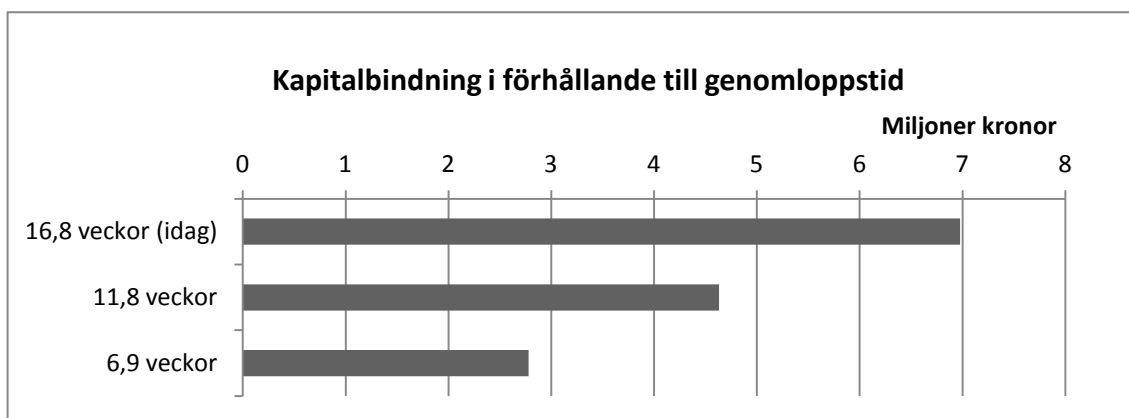
Under förutsättning att ställtiderna inte överskrider 30 minuter möjliggörs en batchstorlek på tio, utan att tillgången på beläggningsbar maskintid behöver ökas. Med en batchstorlek på fem artiklar skulle den beläggningsbara maskintiden under samma förutsättning däremot inte vara tillräcklig. Med ett dragande system kommer styrningen av produktionen underlättas och kötiden kunna minskas, även om det inte på förhand går att avgöra hur mycket. Beräkningen där 2,5 veckors kötid används ger ändå en indikation på vad som är möjligt att åstadkomma.

7.4 Utvärdering med avseende på hållbar utveckling

I följande avsnitt utvärderas förändringsförslagen ur ett ekonomiskt och ekologiskt hållbarhetsperspektiv i enlighet med delsyfte D.

7.4.1 Ekonomisk hållbarhet

De föreslagna förändringarna innebär att mängden PIA kan minskas och därmed kommer kapital som tidigare varit bundet i produktionen frigöras. Detta frigjorda kapital minskar risken för att företaget drabbas av likviditetsbrist. En god likviditet bidrar enligt Dyllik och Hockerts (2001) till en ekonomiskt hållbar situation för företag. Baserat på de två räkneexemplen i föregående avsnitt presenteras i figur 7.2 hur mycket kapital som kan frigöras. Kompletterande beräkningar återfinns i appendix I.



Figur 7.2 Kapitalbindning i förhållande till tre olika genomloppstider för Sigmaprodukter.

Företagets ekonomiska hållbarhet kan förbättras ytterligare om de fortsätter att aktivt arbeta med att reducera genomloppstiden. Förutom att likviditeten förbättras bidrar det minskade antalet PIA till att stora lagerutrymmen frigörs. Genom tillgången på dessa tomma lagerutrymmen kan verksamheten utvidgas utan att en investering i form av exempelvis nybyggnation krävs.

En negativ aspekt ur ett ekonomiskt perspektiv är om Manufaktor måste köpa nya maskiner vid skapandet av en layout med mindre celler.

7.4.2 Ekologisk hållbarhet

Samtliga förändringsförslag syftar till att reducera genomloppstiden med bibehållen flödestakt, vilket innebär att PIA minskar. Onödigt stora lagernivåer är ett slöseri (Shingo, 1989) som reduceras i takt med denna minskning av PIA och enligt Fahimnia m.fl. (2009) är detta direkt kopplat till ett positivt ekologiskt hållbarhetsarbete. Delar av verkstaden som i dagsläget används för lager kan frigöras, vilket är fördelaktigt ur ett ekologiskt perspektiv eftersom användningen av energi då kan minska till följd av minskad elförbrukning om lokalen inte används (Fahimnia m.fl., 2009). Lageryta som frigörs kan dessutom göra att en framtida utbyggnad av verkstaden inte blir aktuell, vilket minskar användandet av resurser och är positivt ur ett ekologiskt perspektiv.

Långa ställtider är också ett slöseri (Fahimnia m.fl., 2009) som förekommer i dagsläget och som enligt förändringsförslagen bör reduceras. Kortare ställtider möjliggör också en

mindre batchstorlek vilket gör att PIA minskar och att onödiga lagernivåer, som är en form av slöseri, sjunker. Förändringsförslaget att införa egenkontroll kan minska omfattningen av kvalitetsfel och därmed reducera slöserier så som omarbete och kassationer. Detta minskar materialbehovet och energianvändningen, vilket enligt Fahimnia m.fl. (2009) är positivt ur en ekologisk synvinkel.

Genom att säkerställa materialkvalitet skulle problemet med att verktyg måste bytas oftare än nödvändigt elimineras. Färre verktygsbyten innebär att färre verktyg måste kasseras vilket även detta minskar konsumtion av resurser.

Omgruppering av maskinerna innebär kortare transportsträckor. Genom att reducera transportsträckor minskas detta slöseri (Shingo, 1989). Även detta förändringsförslag kommer därför att ge en positiv effekt på företagets ekologiska hållbarhet (Fahimnia m.fl. 2009). Precis som för ekonomisk hållbarhet kan den ekologiska hållbarheten försämrats om nya maskiner måste köpas in vid skapandet av mindre celler. Detta eftersom fler maskiner kräver mer energi.

8 Diskussion

I detta avsnitt förs en diskussion om hur studien kan bidra till att lösa Manufaktors identifierade problem. Dessutom diskuteras vilken betydelse det teoretiska ramverket, metoden samt studiens omfattning och avgränsningar har haft för studiens lämplighet att uppfylla syftet.

8.1 Manufaktors problembild

I kapitel 1 *Inledning* redogörs för Manufaktors problem inom PIA, flexibilitet, konkurrenskraft och ledtid samt hur de alla kan kopplas till Sigmamodulernas genomloppstid. Nedan diskuteras förändringsförslagets effekter på Manufaktors problem.

8.1.1 Förändringsförslagets effekt på PIA

Förändringsförslagen syftar till att reducera genomloppstiden och bidrar därför, enligt Littles (1961) lag, till minskad PIA (se ekvation 1.1). Eftersom en stor mängd PIA bidrar till likviditetsbrist innebär förändringsförslagen att Manufaktors ekonomiska ställning stärks, vilket visas med två räkneexempel i 7.4.1 *Ekonomisk hållbarhet*. Önskar företaget ytterligare öka sin likviditet är det möjligt att en studie som behandlar likviditet ur ett mer ekonomiskt perspektiv är mer effektiv för att uppnå detta syfte. Exempelvis skulle möjligheter till förhandling av betalningsvillkor kunna undersökas.

8.1.2 Förändringsförslagets effekt på flexibilitet

En reducerad genomloppstid leder till ökad flexibilitet eftersom produktionssystemet lättare kan anpassas till förändrade kundkrav (Cross och Lynch, 1988). Det är dock inte entydigt fördelaktigt att korta ner avropet så att det motsvarar genomloppstidens längd. Alternativt kan avropet förbli 17 veckor och att den reducerade genomloppstiden istället möjliggör en flexibilitetsbuffert gentemot kund. Kunden kan exempelvis vara villig att betala en premie för att kunna ändra i överenskommen leveransordning, vilket kan tillgodoses tack vare denna flexibilitetsbuffert. Om avropet bör minskas eller ej beror till stor del på hur kundrelationen ser ut, vilket inte behandlas i studien. Därmed behövs ytterligare studier för att studera dessa relationer.

Vidare är flexibilitet ett mycket brett begrepp som innefattar fler dimensioner än variantflexibilitet, exempelvis maskin-, operations- och volymflexibilitet (Jain m.fl., 2013). Studien har inte inkluderat någon vetenskaplig teori eller modell kopplad till dessa aspekter av flexibilitet, vilket kan bidra till att de förändringsförslag som presenteras inte är optimala ur flexibilitetssynpunkt. Även här krävs ytterligare studier för att kartlägga dessa effekter.

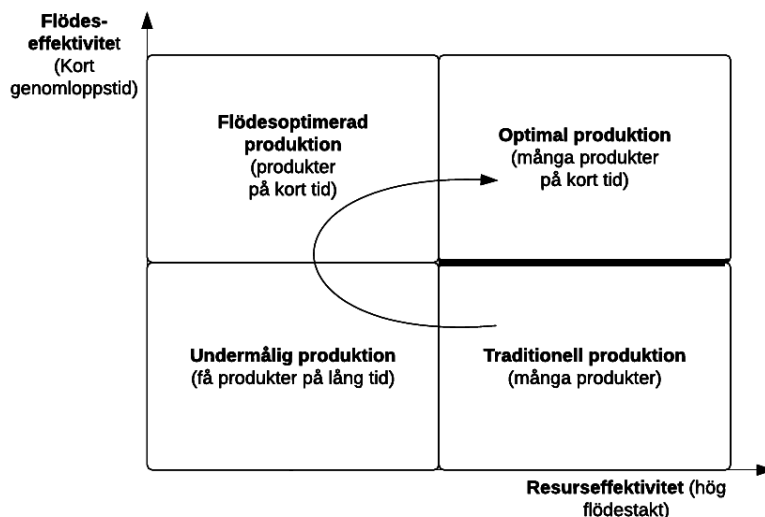
8.1.3 Förändringsförslagets effekt på konkurrenskraft

Reducerad genomloppstid enligt Bower och Hout (1988) bidrar till en ökad tidsbaserad konkurrenskraft. I Manufaktors fall kan det dock ifrågasättas om ett bidrag av detta slag är tillräckligt stort för att åstadkomma en markant ökning av konkurrenskraften. Ska företaget kunna tillgodose höga krav på kort leveranstid bör fokus ligga på att reducera ledtid, vilket innefattar mer än bara genomloppstid, exempelvis tid från att råmaterial beställs från leverantören till produktion kan påbörjas. Önskar Manufaktor öka sin

tidsbaserade konkurrenskraft ytterligare bör det därför undersökas hur leddiden kan reduceras.

8.1.4 Förändringsförslagets effekt på leddid

För att diskutera förändringsförslagets effekt på leddid används en modell som utformats av Modig och Åhlström (2012). En variant av denna modell presenteras i figur 8.1. Modellen illustrerar en tradeoff som existerar mellan flödeseffektivitet (kort genomloppstid) och resurseffektivitet (hög flödestakt). Flödeseffektivitet kan uppnås genom minskad mängd resursutnyttjande medan resurseffektivitet kan uppnås genom ökad mängd resursutnyttjande. Vidare visar modellen att det är möjligt för ett företag att uppnå en optimal produktion med både resurs- och flödeseffektivitet, men då krävs att produktionen är nästintill fri från variationer. Endast i en produktion med få variationer kan resursutnyttjandet ökas utan att det orsakar störningar som förlänger genomloppstiden. Ett sätt att minska mängden variationer är att flödesoptimera produktionen, eftersom processer då sammankopplas, vilket synliggör problem i produktionen och därmed gör dem möjliga att åtgärda. På grund av detta är det enligt modellen inte möjligt att uppnå en optimal produktion utan att först flödesoptimera produktionen.



Figur 8.1 Illustration baserad på Modig och Åhlströms (2012) modell som visar på en tradeoff mellan flödes- och resurseffektivitet. Den böjda pilen visar det enda sättet för en traditionell produktion att bli en optimal produktion. Det är inte möjligt att nå en optimal produktion utan att först flödesoptimera produktionen, eftersom det endast är vid en flödesoptimering som vissa problem i produktionen kan upptäckas och elimineras.

I dagsläget är Manufaktor en traditionell produktion, enligt definition i figur 8.1, eftersom flödestakten är hög och genomloppstiden är lång. De förändringsförslag som presenteras för att reducera genomloppstiden innebär bland annat ett sänkt resursutnyttjande och minskade variationer. Således innebär förslagen att Manufaktor ska röra sig mot en flödesoptimerad produktion. Manufaktor måste dock säkerställa att resursutnyttjandet verkligen kan minskas eftersom flödestakten inte får underskrida 45 Sigma produkter per vecka. Exempelvis kan detta uppnås genom temporärt övertidsarbete, men det är upp till Manufaktor att utforma en exakt handlingsplan.

Förändringsförslaget gällande ett resursutnyttjande på maximalt 85 procent är avgörande för att på sikt kunna uppnå en produktion som är såväl flödes- som resurseffektiv. Följaktligen innebär de presenterade förändringsförslagen enligt modellen att Manufaktor på sikt har möjlighet att både minska genomloppstiden och öka flödestakten för Sigmaproduktionen. En ökad flödestakt innebär på sikt att även ledtiden för Sigmaprodukterna kan minskas.

8.2 Utformning av teoretiskt ramverk

Det ramverk som används är en subjektiv tolkning av hur orsaker till kötid kan grupperas i en användbar modell för att på bästa sätt bidra till att uppnå syftet. En annorlunda utformning skulle genererat annorlunda datainsamling och analys vilket därmed hade påverkat förändringsförslag och slutsatser. Huruvida en annorlunda utformning av det teoretiska ramverket förbättrar eller försämrar dessa är dock mycket svårt att avgöra utan ytterligare studier.

8.3 Utformning av metod

Den metod som använts i studien vilar till stor del på sekundärdata som verifierats med hjälp av halvstrukturerade intervjuer. Således har primärdata ej insamlats i nämnvärd utsträckning. Vidare har genomsnittliga värden hanterats och några statistiska analyser av data har ej genomförts. Insamling av primärdata och statistisk analys av denna hade kunnat kasta nytt ljus på Manufaktors Sigmaproduktion och således kunnat användas i ytterligare studier. Dessutom behövs fler studier för att studera företaget under en längre tidsperiod då denna studie endast genomförts under några månader. Eventuellt kunde en annorlunda utredningsmodell lett till andra resultat och således kan även detta utredas.

8.4 Studiens omfattning och avgränsningar

Studiens omfattning är vald på så sätt att vissa aspekter som påverkar genomloppstiden för Sigmaprodukter bortses från. I följande avsnitt diskuteras konsekvenser av avgränsningarna.

8.4.1 Leverantörs- och kundrelationer

Manufaktors leverantörsrelationer skulle kunna påverka Sigmaprodukternas genomloppstid. Ett av förändringsförslagen som presenteras innebär säkerställande av materialkvalitet för att minska variationer och således minska genomloppstiden. Materialkvaliteten är starkt kopplad till de krav som Manufaktor ställer på sina leverantörer gällande råmaterialens sammansättning. Eftersom denna studie är avgränsad till att inte undersöka leverantörsvillkor krävs ytterligare undersökningar för att utreda sådana effekter.

Studien undersöker inte möjligheterna till att reducera tiden då Sigmaprodukterna skickas på ytbehandling, vilken idag uppgår till tre veckor. Detta motsvarar nästan en femtedel av Sigmaproduktens genomloppstid i dagsläget. Om genomloppstiden kan reduceras kommer tiden för ytbehandling utgöra en ännu större andel. Att studien inte redogör för ytbehandlingstiden innebär att en aspekt som har stor potential att bidra till en minskad genomloppstid utelämnas.

Studiens avgränsningar medför också att inga undersökningar har gjorts gällande outsourcing av delar av Sigmaproduktionen, något som hade kunnat bidra till minskad genomloppstid och reducerad kapitalbindning. Även här krävs ytterligare studier.

Vidare hade en bättre relation med kunden hade kunnat leda till ett mer omfattande samarbete och därmed bättre möjligheter för Manufaktor att ta del av exempelvis behovsprognoser. Med en bättre bild av framtida efterfrågan hade ett osäkerhetsmoment eliminerats från Sigmaproduktionen och genomloppstiden hade eventuellt kunnat reduceras ytterligare.

8.4.2 Utformning av förändringsförslag

Studiens förändringsförslag är specifikt framtagna för Manufaktors aktuella situation vilket innebär att de inte är direkt applicerbara på andra produkter, företag eller under annorlunda omständigheter. Följaktligen kan det inte säkerställas att förändringsförslagen är applicerbara på Manufaktors Sigmaproduktion längre fram i tiden, eftersom de grundas på data som insamlats under våren 2015. Förändringsförslagets principer kan dock förmodas vara så pass generella att de kan fungera som inspirationskälla för liknande företag och produktflöden. Således kan studien ändå fylla ett akademiskt syfte.

Eftersom förändringsförslagen är av övergripande karaktär krävs en ingående utredning och framtagning av detaljerade förslag och implementeringsplan för att genomföra förändringarna. Den sekventiella ordningsföljd av förändringsförslagen som presenterats i studien kan underlätta en sådan utredning och framtagning. Även ansvaret för utformning av kriterium gällande när och hur ett förändringsförslag kan anses genomfört överläts till företaget.

Då studiens förändringsförslag inte innefattar en implementeringsplan överläts utformningen av denna till Manufaktor. Kotter (1996) menar att det i en förändringsprocess är viktigt att medarbetare förstår att en förändring är nödvändig och att de motiveras genom kortsiktiga mål. På grund av problem som kan uppstå i samband med implementering är det viktigt att Manufaktor inte försummar detta förändringsarbete. Ett undermåligt förändringsarbete kan leda till att Manufaktor inte kan tillgodogöra sig några av de nyttor som förändringsförslagen medför gällande genomloppstid. Rubenowitz (2004) nämner att handlingsberedskap inför förändringsarbete kan skapas genom att medarbetare involveras tidigt i processen. Denna studie har i viss mån bidragit till detta genom att anställda har involverats i de ämnen som studien behandlar samt att en workshop har utförts. Om Manufaktor väljer att implementera något eller några av studiens förändringsförslag finns en chans att de anställda redan accepterat dem med tanke på att de involverats i processen (Rubenowitz, 2004).

9 Slutsatser

Manufaktors problem med likviditet, flexibilitet, konkurrenskraft och ledtid kan kopplas till genomloppstid. En reducerad genomloppstid kan således bidra till att lösa dessa problem.

Det teoretiska ramverkets utformning är effektivt för att uppnå studiens syfte. Ramverket bidrar till möjligheten att samla in relevant data och att analysera denna för att ta fram förändringsförslag. Däremot hade en annorlunda modell kunnat generera annorlunda resultat, vilka inte kan förutspås.

Den metod som används är lämplig för att uppnå studiens syfte eftersom den möjliggör datainsamling inom de områden som definierats i det teoretiska ramverket.

Kötid utgör den mest väsentliga andelen av genomloppstid hos Manufaktor eftersom den utgör 98 procent av total genomloppstid.

Orsaker till kötid i Manufaktors Sigmaproduktion är följande:

- Högt resursutnyttjande i kombination med stora variationer eftersom det ger upphov till produktionsstörningar som leder till kötid.
- Den funktionella layouten som företagets verkstad har är inte optimerad för Sigmaproduktionen, vilket leder till ett materialflöde som är svårt att styra och därmed att artiklar ofta får vänta på ledig maskintid.
- Material- och produktionsstyrningen tillämpar ett tryckande system som ger upphov till buffertar i form av lager och således också kötid.
- Stor batchstorlek innebär att komponenter måste vänta i kö medan övriga i batchen bearbetas.

För att komma till rätta med dessa orsaker och på så sätt minska kötiden, och därmed genomloppstiden, är en anpassning av kötid i materialplaneringssystemet eller införandet av ett CONWIP-system möjliga förändringsförslag på kort sikt. På lång sikt är möjliga förändringsförslag införande av ett dragande system med en celllayout samt ett resursutnyttjande som är lågt nog att kunna hantera variationer och samtidigt högt nog att upprätthålla önskad produktionstakt. För att kunna genomföra detta krävs dock först att batchstorleken och variationerna minskas. För att detta i sin tur ska vara möjligt krävs fler åtgärder, så som att skapa standardiserade rutiner för ställ och dokumentation.

Förändringsförslagen uppnår rapportens syfte eftersom de bidrar till att minska Sigmaproduktens genomloppstid. De har dessutom positiv inverkan på ekonomisk och ekologisk hållbar utveckling hos Manufaktor. En implementering av förändringsförslagen leder till minskad kapitalbindning. De kan även medföra ökad flexibilitet, ökad konkurrenskraft och minskad ledtid, men eftersom studien inte fokuserat på områdena i fråga krävs ytterligare studier för att klarlägga sådana effekter vid Manufaktor. Vidare är det av stor vikt att omfattande förändringsarbete genomförs vid en eventuell implementering eftersom förändringsförslagens effekter annars inte kan garanteras.

10 Källförteckning

Arkat, J., Farahani, M. H. och Hosseini, L. (2012) Integrating cell formation with cellular layout and operations scheduling. *International journal of advanced manufacturing technology*, vol. 61, nr. 5, ss.637-647.

Andries, B. och Gelders, L. (1995) Time-based manufacturing logistics. *Logistics Information Management*, vol. 8, nr. 6, ss. 25.

Bartezzaghi, E., Spina, G. och Verganti, R. (1994) Lead-time models of business processes. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 14, nr 5, ss 5-20.

Burbidge, J.L. (1991) Production Flow Analysis for Planning Group Technology. *Journal of Operations Management*, vol. 10, nr 1, ss. 5-27.

Burbidge, J.L. (1963) Production Flow Analysis. *Production Engineer*, vol. 50, nr 4.5, ss.139-152.

Canel, C.C., Al-Mubarak, F.A. och Khumawala, B.M.K. (2005) A comparison of focused cellular manufacturing to cellular manufacturing and job shop, *International Journal of Production Research*, vol. 43, nr 11, ss. 2169-2194.

Carlsson B (1990) *Grundläggande forskningsmetodik för medicin och beteendevetenskap*. Andra upplagan. Stockholm: Liber Utbildning AB

Cross, K.F. och Lynch, R.L. (1988) The SMART Way To Define And Sustain Success. *National Productivity Review*, vol. 8, nr. 1, ss. 23-33.

Daita, S.T.S., Irani, S. A. och Kotamraju, S. (1999) Algorithms for Production Flow Analysis. *International Journal of Production Research*, vol. 37, nr. 11, ss. 2609-2638.

Dyllick, T. och Hockerts, K. (2002) Beyond the business case for corporate sustainability. *Business Strategy and the Environment*, vol. 11, nr. 11, ss. 130-141.

Enns, S.T. (2001) MRP Performance effects due to lot size and planned lead time settings. *International Journal of Production Research*, vol. 39, nr 3, ss. 461-480.

Eriksson, L.T. och Weidersheim-Paul, F. (2011) *Att Utreda Forska Och Rapportera*. 9:1. Malmö: Liber.

Eriksson, T och Wiedersheim-Paul, F. (2008) *Rapportboken*. 1:2. Stockholm: Liber.

Fahimnia, B. och Marian, R. Motevallian, B. (2009) Analysing the hindrances to the reduction of manufacturing lead-time and their associated environmental pollution. *International Journal of Environmental Technology and Management*, vol. 10, nr. 1, ss. 16-25.

FN (2012) FN & Hållbar utveckling, RIO+20. FN förbundet. <http://www.fn.se/hallbarutveckling> (2015-03-10).

Gillham, B. (2008) *Forskningsintervjun Tekniker och genomförande*. 1:1. Lund: Studentlitteratur.

González-R, P.L., Framinan, J.M. och Pierreval, H. (2012) Token-based pull production control systems: an introductory overview. *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 23, nr 1, ss. 5-22

Goodson, R.E. (2002) Read a plant - fast. *Harvard Business Review*, vol. 80, nr. 5, ss. 105-113.

Greene, T.J. och Sadowski R.P. (1983) Cellular Manufacturing Control. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 2, nr 2, ss. 137-145.

Greene, T.J. och Sadowski R.P. (1984) A Review of Cellular Manufacturing Assumptions, Advantages and Design Techniques. *Journal of Operations Management*, vol. 4, nr 2, ss. 85-97.

Gross, D. och Soriano, A. (1969) The effect of reducing leadtime on inventory levelssimulation analysis. *Management Science*, vol. 16, nr. 2, ss. B61.

Gung, R.R. och Steudel, H.J. (1999) A workload balancing model for determining set-up time and batch size reductions in GT flow line workcells. *International Journal of Production Research*, vol. 37, nr. 4, ss. 769-791.

Gupta, Y.P. och Willborn, W.W. (1989) Operator Self-inspection: Concepts and Analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 6, nr. 5, ss. 60.

Hayes, R.H. och Wheelwright, S.C. (1979) Link manufacturing process and product life cycles. *Harvard Business Review*, vol. 57, nr. 1, ss. 133-140.

Hopp, W.J. och Spearman, M.L. (2004) To Pull or Not to Pull: What Is the Question?. *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 6, nr 2, ss.133-148.

Hum, S. och Sim, H. (1996) Time-based competition: literature review and implications for modelling. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 16, nr. 1, ss. 75-90.

Hunter, S.L. (2004) The 10 steps to Lean Production. *FDM management*, vol. 76, nr. 5, ss. 22-25.

Jewell, W.S. (1967) A Simple Proof of: $L=\lambda W$. *Operations Research*, vol.15, nr 6, ss. 1109-1116.

Johnson, D.J. (2003) A Framework for Reducing Manufacturing Throughput Time. *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 22, nr 4, ss. 283-298.

Karmarkar, U.S. (1987) Lot sizes, Lead Times and In-Process Inventories. *Management Science*, vol 33, nr 3, ss. 409-418.

Karmarkar, U.S., Kekre, S. och Kekre, S. (1985) Lotsizing in multi-item multi-machine job shops. *IIE Transactions*, vol. 17, nr. 3, ss. 290-297.

Kingman, J.F.C. (1961) The single server queue in heavy traffic. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 57, nr 4, ss. 902-904.

Koo, P.H., Bulfin, R. och Koh, S.G. (2007) Determination of batch size at a bottleneck machine in manufacturing systems. *International Journal of Production Research*, vol. 45, nr 5, ss. 1215-1231.

Kotter, J.P. (1996) *Leading Change*. Boston: Harvard Business School Press.

Kumar, C.S. och Panneerselvam, R. (2007) Literature review of JIT-KANBAN system. *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 32, ss. 393-408.

Kumar, S., Malhotra, V. och Kumar, V. (2013) Cellular Manufacturing System: An Overview. *International Journal of Artificial Intelligence and Mechatronics*, vol. 2, nr 3, ss. 51-55.

Liker, J och Meier, D. (2009) *The Toyota Way Fieldbook*, NY, USA: The McGraw-Hill.

Lindhard, S. (2014) Understanding the Effect of Variation in a Production System. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 140, nr 11, ss. 11-19.

Little, J.D.C. (1961) A Proof for the Queuing Formula: $L=\lambda W$. *Operations Research*, vol. 9, nr. 3, ss. 383-387.

Malmborg, C.J. (1995) A buffer storage resource allocation model for cellular manufacturing systems. *Applied Mathematical Modelling*, vol. 19, nr 7, ss. 437-447.

Mattsson, S-A. och Jonsson, P. (2013) *Material- och produktionsstyrning*. Lund: Studentlitteratur.

Maxwell, W.L. (1970) On the Generality of the Equation $L=\lambda W$. *Operations Research*, vol. 18, nr 1, ss. 172-174.

Medbo, P. (1998) *Significance of Input Data Quality for Materials Flow Analysis*, Gothenburg: Department of Transportation and Logistics, Chalmers University of Technology

Mikati, N. (2010) Dependence of lead time on batch size studied by a system dynamics model. *International Journal of Production Research*, vol. 48, nr 18, ss. 5523-5532.

Monden, Y. (1998) *Toyota Production System: An Integrated Approach To Just-in-time*. Upplaga 3. London: Chapman and Hall.

Olivella J. och Gregorio R. (2014) Organizational Practices Lean Enterprises Adopt to Focus on Value Streams. *Journal of Enterprise Transformation*, vol. 4, nr 4, ss. 309-328.

Prashanth, B. N. och Sanchoy, K. D. (1999) MRP/sfx: A kanban-oriented shop floor extension to MRP. *Production Planning & Control: The Management of Operations*, vol. 10 nr. 3, s. 207-218.

Rajenthirakumar, D. och Harikarthik, S.G. (2011) Lean Manufacturing: Implementation in a Construction Equipment Manufacturing Company. *Acta Technica Corviniensis - Bulletin of Engineering*, vol. 4, nr. 2, ss. 117.

Rother, M. och Shook J. (2004) *Lära sig se*. Upplaga 1.2. Brookline: The Lean Enterprise Institute.

Rubenowitz, S. (2004) *Organisationspsykologi och ledarskap*. Upplaga 2:5. Lund: Studentlitteratur.

Safizadeh, M.H., Ritzman, L.P., Sharma, D. och Wood, C. (1996) An Empirical Analysis of the Product-Process Matrix. *Management Science*. vol. 42, nr 11, ss. 1576-1591.

Salum, L. och Araz, Ö.U. (2009) Using the when/where rules in dual resource constrained systems for a hybrid push-pull control. *International Journal of Production Research*, vol. 47, nr 6, ss. 1661-1677.

Schmenner, R.W. och Swink, M.L. (1998) On theory in operation management. *Journal of Operations Management*, vol. 17, nr 1, ss 97-113.

Schonberger, R.J. (1982) *Some observations on the advantages and implementation issues of just-in-time production systems*. *Journal of Operations Management*, vol. 3, nr 1, ss 1-11.

Shafer, S.M. och Charnes, J.M. (1993) Cellular Versus Functional Layouts Under a Variety of Shop Operating Conditions. *Decision Sciences*, vol. 24, nr. 3, ss 665-681.

Shah, R. och Ward, P.T. (2007) Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, vol. 25, nr. 4, ss. 785-805.

Shingo, S. (1989) *A study of the Toyota Production System*. New York: Productivity Press.

Shingo, S. (1985) *A revolution in manufacturing: the SMED system*. Stamford: Productivity Press.

Singh, R.J., Sohani, N. och Marmat, H. (2013) Effect of Lean/JIT Practices and Supply Chain Integration on Lead Time Performance. *Journal of Supply Chain Management Systems*, vol. 2, nr. 2, ss. 37.

Stalk, G. (1988) Time - the next source of competitive advantage. *Harvard Business Review*, vol. 66, nr. 4, ss 41-51.

Tersine, R.J. och Hummingbird, E.A. (1995) Lead-time reduction: the search for competitive advantage. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 15 nr. 2, ss. 8-18.

Treville, S., Shapiro, R. D. och Hameri, A-P. (2004) From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance. *Journal of Operations Management*, vol. 21, nr. 6, ss. 613-627.

Tsourveloudis, N.C. och Phillis, Y.A. (1998) Manufacturing flexibility measurement: a fuzzy logic framework. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 14, nr. 4, ss. 513-524

Wacker, J.G. (1996) A theoretical model of manufacturing lead times and their relationship to a manufacturing goal hierarchy. *Decision Sciences*, vol. 27, nr. 3, ss. 483-514.

Veleva, V. och Ellenbecker, M. (2001) Indicators of sustainable production: framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, vol. 9, nr. 6, ss. 519-549.

Zäpfel, G. och Missbauer, H. (1993) New concepts for production planning and control. *European Journal of Operational Research*, vol. nr 67, nr. 3, ss. 297-320.

Appendix A – Intervjumallar

I följande appendix presenteras samtliga intervjumallar som använts under datainsamling.

Intervjufrågor till produktionschef (2015-01-19)

Vilka är företagets största problem i dagsläget?

På vilket sätt är dessa kopplade till Sigmaprodukten i fråga?

Vilka begränsningar finns för eventuella förändringsförslag?

Intervjufrågor till produktionschef (2015-01-28)

På vilket sätt påverkar Sigmaprodukternas genomloppstid produktionens flexibilitet? (med flexibilitet menas produktionens förmåga att anpassa sig till förändrade externa förutsättningar och osäkerheter i produktionsprocessen)

Intervjufrågor till produktionschef angående bearbetningstid och ställtid (2015-03-03)

Hur stora är skillnaderna mellan de bearbetningstider som anges i materialplaneringssystemet och de faktiska bearbetningstiderna?

Hur stora är skillnaderna mellan de ställtider som anges i materialplaneringssystemet och de faktiska ställtiderna?

Intervjufrågor till operatörer om bearbetningstid och ställtid (2015-03-03)

Hur lång tid tar det i genomsnitt att bearbeta produkten vid denna operation?

Hur lång tid tar det i genomsnitt att ställa maskinen om en annan typ av produkt har bearbetats precis innan?

Intervjufrågor till operatörer om transportväg (2015-03-06)

Var kommer produkten ifrån när den kommer till denna operation?

Var ska produkten efter att din operation är klar?

Vilken väg åker produkten till nästa operation?

Är denna väg alltid samma?

Görs någon mer operation än själva bearbetningen i maskin, så som exempelvis gradning (bortslipning av vassa kanter) eller tvättning?

Intervjufrågor angående resursutnyttjande och variationer till produktionsplanerare, produktionsledare, operatörer samt logistikpersonal (2015-03-11)

Intervjun med produktionsledare och produktionsplanerare är halvstrukturerad och frågorna är indelade efter ämne. Punkter som är indenterade tas endast upp om de intervjuade inte berör dessa spontant.

Vilka variationer förekommer i produktionen?

Bearbetningstid

Ställtid

Transportväg

Kvalitetskontroll

Omarbete

Materialavvikelse

Felrapportering

Batchstorlek

Maskinbeläggning

Hur stor är respektive variation, och i vilken utsträckning påverkar den produktionen?

Hur hanteras dessa variationer?

Vad blir konsekvenserna om något måste kasseras?

Intervjufråga till produktionsplanerare angående kapacitet och resursutnyttjande (2015-03-11)

Skulle du anse att kapacitetsplanerna är representativa för varje maskins faktiska kapacitet?

Intervjufrågor angående layout till produktionsledare samt logistikpersonal (2015-03-11)

Vilka nackdelar finns med den nuvarande layouten?

Varför?

Vilka fördelar finns?

Intervjufrågor angående material- och produktionsstyrning till produktionsplanerare (2015-03-11) samt operatörer och logistikpersonal (2015-03-12)

När frågor ställdes till operatörer byttes ”operatörer” ut mot ”du”.

Kan ni berätta övergripande hur produktionen planeras och styrs?

När/hur sker ordersläpp (när börjar produktion)?

Hur bestäms tiden för ordersläpp?

Hur uppstår akutorder?

Monitor

När avviker ni från monitor?

Hur gör operatörerna när de väljer vilken batch som ska köras härnäst?

Har de en fördefinierad lista?

Vem gör den?

Hur görs den?

Bestämmer de själva?

Hur prioriterar de då?

Vad inkluderas i ställtiderna som är specificerade i monitor?

Hur har man satt dessa tider?

Samma för alla maskiner?

Gradning?

Tvättning?

Hantering?

Hur sker prioriteringen mellan produkten (A och B-varianter) och andra produkter i flödet?

Vilka operationer skulle gå snabbare om man är fler operatörer?

Vilka begränsningar (max antal operatörer) finns?

Hur kommer det sig att det körs batcher om 30 st?

Hur gör operatörerna när de prioriterar mellan olika batcher?

Hur får nästa station reda på när föregående operatör är klar med sin operation?

Hur långt fram i tiden vet operatörerna vilka produkter du ska bearbeta?

Hur mycket bestämmer du operatörerna själva över vilka batcher som ska bearbetas?

Hur får operatörerna reda på om det kommer akuta ändringar i planeringen?

Tror du att alla operatörer planerar på samma sätt?

Finns det några andra sätt att utföra planeringen på?

Intervjufrågor angående batchstorlek till operatörer (2015-03-12)

Gällande Sigmaprodukter:

Hur många komponenter bearbetas åt gången i din maskin?

Hur många komponenter transporteras åt gången från din maskin?

Utformning av workshop (2015-04-29)

Under workshopen diskuterades följande områden:

Batch

Hur kan man minska batchstorleken?

Vilka hinder finns för att minska batchstorleken?

Vad skulle det innebära att köra enstycksproduktion?

Spårbarhet?

Restriktioner i övrigt?

Planering

Vilka begränsningar finns för att införa ett dragande system i fabriken?

Kvalitetskontroll

Vilka alternativa sätt finns att genomföra kvalitetskontrollen på?

Hur kan man förenkla felrapportering och -uppföljning?

Skulle det vara möjligt att ha ett reservdelslager om någon komponent skulle behöva kasseras?

Skulle det vara möjligt att mäta/göra slutkontroll på plats vid maskinen?

Resursutnyttjande och variationer

Vilka variationer finns idag?

Hur kan man minska dem?

Layout

Vilka maskiner och områden är inte flyttbara? Varför?

Hur kan man ändra layouten för att produkten inte ska gå mellan hallarna i lika stor utsträckning som i dagsläget?

Appendix B – Read a Plant

För att bekräfta företagets problembild gjordes en förstudie där metoden Read a Plant-Fast användes. Metoden är utformad av Goodson (2002) och används för att snabbt bedöma hur välfungerande en produktion är. Kategorierna i tabell B.1 bedöms utifrån det första intrycket och kryss sätts i den ruta, från undermålig (*poor*) till världsklass (*Best in Class*), som bäst representerar produktionen. Resultatet presenteras i tabell B.1 och det framgår att kategorierna Mängd lager och PIA (*Levels of inventory and work in progress*) och Användning av utrymme, materialförflyttning och produktflöde (*Use of space, movement of materials, and product line flow*) fick sämst betyg.

Tabell B.1 Resultatet av Read a Plant-Fast.

	Poor	Below Average	Average	Above Average	Excellent	Best in Class
Customer satisfaction				x		
Safety, Environment, Cleanliness and Order				x		
Visual Management Systems		x				
Scheduling System		x				
Use of Space, Flow etc.	x					
Levels of Inventory	x					
Teamwork and Motivation					x	
Condition and Maintenance					x	
Complexibility and Variability			x			
Supply Chain Integration		x				
Commitment to Quality						x

Appendix C – Kapitalbindning

Här presenteras beräkningen av hur mycket kapital som binds i företagets produktion. I 3.1.1 *Bekräftande av problembild och syftesformulering* är det beskrivet hur datainsamlingen till denna beräkning genomfördes. Vid beräkning av kapitalbindning har medelpris använts istället för pris före, under respektive efter bearbetning. Anledningen till detta är att storleken på kapitalbindningen endast använts i syfte att skapa en uppfattning av hur mycket kapital som binds i produktionen. En högre detaljeringsgrad ansågs därför inte nödvändig. Att medelpris använts gör dock att den beräknade kapitalbindningen inte fullständigt speglar den verkliga. Resultatet av beräkningen används sedan som utgångspunkt för de förändringsförslag som lyfts fram, se 7.4.1 *Ekonomisk hållbarhet*.

Tabell C.1 Beräkning av total kapitalbindning i produktionen 2015-01-30.

Artikelnummer	Pris efter bearbetning (kr)	Pris innan bearbetning (kr)	Medelpris (kr)	Antal totalt (st)	Bundet kapital (kr)
Benämning	A	B	C	D	E
Beräkning	Från materialplanerings-system	Från materialplanerings-system	(A+B)/2	Från inventering	C*D
1	130	130	130	62	8060
2	70	13	42	161	6696
3	40	40	40	269	10760
4	27	4	16	206	3271
5	510	510	510	114	58140
6	167	167	167	90	15030
7	92	13	53	141	7436
8	343	230	286	60	17182
9	574	455	514	116	59679
10	207	207	207	238	49266
11	23	2	12	99	1212
12	15	15	15	700	10388
13	20	20	20	238	4760
14	83	16	50	150	7441
15	3	3	3	2167	6934
16	910	818	864	180	155506
17	33	10	22	116	2507
18	972	734	853	365	311392
19	420	420	420	91	38220
20	18	18	18	240	4370
21	164	58	111	149	16502
22	2	2	2	3592	6106
23	639	270	454	216	98167
24	1078	532	805	182	146510
25	559	150	355	592	209994
26	386	166	276	179	49412
27	1290	1290	1290	90	116100
28	1165	592	879	211	185376
29	4159	3272	3716	60	222930
30	3287	2719	3003	30	90087
31	366	122	244	145	35360
32	10703	10193	10448	150	1567156
33	924	703	814	150	122044
34	5248	4691	4969	90	447218
35	7951	7495	7723	30	231695
36	21756	21066	21411	60	1284642
37	695	106	400	180	72074
38	22730	21111	21920	30	657609
39	175	175	175	60	10500
40	422	195	309	211	65123
41	53	53	53	120	6341
42	53	53	53	128	6764
43	549	140	345	757	260953
44	1611	230	921	34	31304
45	380	65	222	212	47140
46	1001	341	671	238	159704
47	684	310	497	62	30819
48	58	13	35	830	29195
Totalt					6977017

Appendix D – Transporttid

I detta appendix beräknas total transportsträcka och transporttid i fabriken, transporttid för den kritiska linjen samt andel av genomloppstiden som utgörs av kötid. Beräkningarna används i 4.2 *Analys av genomloppstid för Sigmaprodukterna*.

För att beräkna den totala transportsträckan i fabriken mättes sträckan på materialflödet på det sätt som beskrivs i 3.1.4 *Datainsamling*. I beräkningarna har ett antagande gjorts att transportsträckan när komponenter transporteras i hissen är fyra meter. Delsträckorna för varje komponent beräknades och summerades ihop för att få den totala transportsträckan. Resultatet kan ses i tabell D.1.

Tabell D.1. Beräkningar av transportsträckor för alla ingående komponenter i Sigmaprodukten. De komponenter markerade i grått är de komponenter som tillhör den kritiska linjen.

Komponenter	Sträcka på karta (skala 1:6) (cm)	Sträcka i verkligheten (meter)
Komponent 1	76,4	458,4
Komponent 2	65,2	391,2
Komponent 3	7	42
Komponent 4	40,8	244,8
Komponent 5	35,4	212,4
Komponent 6	69	414
Komponent 7	33,6	201,6
Komponent 8	35	210
Komponent 9	44,9	269,4
Komponent 10	40,1	240,6
Komponent 11	17,3	103,8
Komponent 12	20,8	124,8
Komponent 13	19,3	115,8
Komponent 14	41,3	247,8
Komponent 15	18,3	109,8
Komponent 16	16,8	100,8
Komponent 17	18,2	109,2
Komponent 18	18	108
Komponent 19	19,5	117
Komponent 20	19	114
Komponent 21	37,5	225
Komponent 22	37,5	225
Komponent 23	37,5	225
Komponent 24	20,5	123
Komponent 25	14	84
Komponent 26	24,5	147
Komponent 27	64,5	387
Komponent 28	63,2	379,2
Komponent 29	23	138
Komponent 30	35,5	213
Komponent 31	15,5	93
Komponent 32	29	174
Komponent 33	34,5	207
Total transportsträcka	1092,6	6555,6

För att sedan beräkna total transporttid för en batch Sigmaprodukter uppskattades transporthastigheten till 5 km/h vilket motsvarar 1,4 m/s. Transporttiden beräknades genom att dividera transportsträckan med den uppskattade transporthastigheten i m/s och sedan multiplicera kvoten med 60 för att få tiden i minuter. Resultatet av beräkningen finns i tabell D.2.

Tabell D.2. Beräkning för total transporttid för en batch Sigmaprodukter.

Total transporttid för en batch Sigmaprodukter		
Total transportsträcka	6556	meter
Uppskattad hastighet	5	km/h
Uppskattad hastighet	1,4	m/s
Total transporttid	79	minuter

Beräkningar har även gjorts gällande transporttid för den kritiska linjen. Den totala transportsträckan för denna väg motsvarar summan av de grå raderna i den högra kolumnen i tabell D.1. Sträckan dividerades med transporthastigheten 1,4 m/s och kvoten multiplicerades med 60 för att få transporttiden i minuter. Resultatet av denna beräkning kan ses i tabell D.3.

Tabell D.3. Beräkning av transporttid för den kritiska linjen.

Transporttid för den kritiska linjen		
Transportsträcka	1021	meter
Transporttid	12	minuter

För att beräkna hur stor andel av den totala genomloppstiden som utgörs av kötid subtraherades först den kritiska linjens bearbetningstid, ställtid och transporttid från genomloppstiden omräknad från veckor till minuter. Differensen dividerades sedan med genomloppstiden i minuter och multiplicerades med 100 för att få andelen i procent. Resultatet ses i tabell D.4 där bearbetningstider och ställtider för den kritiska linjen hämtades från de operationslistor som erhållits från företaget. Vid omräkningen av genomloppstiden från veckor till minuter gjordes ett antagande att en arbetsvecka motsvarar ett genomsnitt av de olika maskinernas beläggningsbara tid. Maskintiderna varierar mellan 30 och 220 timmar per vecka. Medelvärdet av alla maskintider är 66,5 timmar per vecka, vilket i beräkningarna fått motsvara en arbetsvecka.

Tabell D.4. Andel av genomloppstiden som utgörs av kötid.

Andel av genomloppstiden som utgörs av kötid		
Genomloppstid	16,8	veckor
Arbets tid per vecka	66,5	timmar
Genomloppstid	67032	minuter
Bearbetningstid för den kritiska linjen	483	minuter
Ställtid för den kritiska linjen	785	minuter
Transporttid för den kritiska linjen	12	minuter
Kötid för den kritiska linjen	65752	minuter
Andel kötid av genomloppstiden	98,1	procent

Appendix E – Beläggningsbar maskintid

I detta appendix förklaras hur beläggningsbar maskintid för Sigmaproduktion har beräknats. Resultaten ligger till grund för de beräkningar som görs i Appendix G och Appendix H.

För att beräkna hur mycket som företagets maskiner används till produktion av Sigmaprodukter togs procentsatser fram med hjälp av de körscheman som erhållits från företaget. Från körschemana summerades all maskintid för Sigmakomponenter i respektive maskin. Summan dividerades sedan med den totala maskintiden för alla planerade komponenter i maskinen. Resultatet av beräkningarna återfinns i tabell E.1 där även beläggningsbar maskintid och beläggningsbar maskintid för Sigmaprodukter för varje maskin presenteras. De totala maskintiderna är hämtade från de kapacitetsplaneringar som erhållits från företaget.

Tabell E.1. Resultat av beräkningar av beläggningsbar maskintid för Sigmaproduktion.

Maskin	Beläggningsbar maskintid (timmar)	Andel av maskintiden som används till Sigmaproduktion	Beläggningsbar maskintid för Sigmaproduktion (timmar)	Beläggningsbar maskintid för Sigmaproduktion (minuter)
44	30	0,24	7,3	440
45	30	0,49	14,8	889
66	65	0,92	59,6	3578
67	65	0,46	29,7	1780
72	45	0,97	43,6	2613
73	45	0,88	39,6	2377
85	45	0,76	34,4	2064
86	45	0,94	42,4	2543
163	35	0,79	27,7	1659
127	110	0,62	67,8	4066
128	220	0,98	215,6	12934
134	35	0,79	27,5	1649
156	90	0,69	62,3	3739
79	71	0,69	48,7	2924

Appendix F – Maskingruppering

I detta appendix beskrivs hur den föreslagna layouten har tagits fram. Resultatet av beräkningarna används och analyseras i 7.2.2 *Layout*.

Metoden av Burbidge (1963) beskriver ett sätt att bilda celler genom att endast använda data angående vilka artiklar som bearbetas av vilken maskin. Dessa data erhöles från samma operationslistor som användes vid flödesvandringen som beskrivs i 3.1.4 *Datainsamling*.

I enlighet med Burbidges metod skapades en matris med komponenter på den ena axeln och maskiner på den andra. Därefter fylldes matrisen ut med ettor och nollor där en etta betyder att en komponent använder en maskin och en nolla att den inte används. Om exempelvis en maskin X används för att producera en komponent Y sattes en etta i rutan som motsvarar kombinationen X och Y. Varje rad avlästes sedan som ett binärt tal och raderna ordnades i storleksordning. Samma sak gjordes därefter för kolumnerna. Ett mönster tydliggjordes i matrisen där ettorna var utspridda längs diagonalen.

Burbidge beskriver att i det optimala fallet bildar ettorna tydligt avgränsade kluster i matrisen, vilka motsvarar olika celler. En tydlig avgränsning innebär att alla komponenter kan bearbetas inom en och samma cell. I den skapade matrisen kunde inga helt avgränsade kluster identifieras, däremot kunde två celler avläsas där sex komponenter var tvungna att gå mellan båda cellerna. Genom att flytta en rad, motsvarande maskin 128, kunde antalet komponenter som måste gå genom två celler reduceras till fyra stycken. Det slutliga resultatet av beräkningen presenteras i figur F.1 där de två cellerna är markerade med olika färger.

Figur F.1 Beräkning av hur Manufaktors maskiner bör grupperas. De två färgade områdena motsvarar två olika

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
69	1	1	1	1	1	1	1	1	1																															
66	1	1	1	1							1	1																												
78	1	1			1	1	1	1	1				1	1																										
79			1	1											1	1																								
134			1		1																																			
72						1									1	1	1	1	1	1																				
128																	1	1	1	1	1	1	1																	
166																1																								
68																1																								
180											1	1					1				1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
73																				1			1	1							1	1	1							
44																															1	1	1							
45																																								
67																																								
156																																								1
163																																								1
85																																								
52																																								
127																																								
86																																								

celler.

För att kunna placera företagets maskiner i de celler som beräkningen föreslår måste fyra maskiner byta plats. Jämfört med den tidigare maskinplaceringen kommer betydligt färre transporter behöva ske mellan Hall 1 och Hall 2.

Appendix G – Antal möjliga ställ

Här presenteras beräkningar av antal möjliga ställ per vecka för de maskiner som används till Sigmaproduktion. Resultatet och de tider som behövs för beräkning av antal möjliga ställ per vecka används för att analysera ställtidens inverkan på batchstorlek i avsnitt 6.4 *Batchstorlek*.

Tabell G.1. I tabellen presenteras beläggningsbara maskintider för Sigmaproduktion, bearbetningstider, ställtider och antal möjliga ställ per vecka för Manufaktors svarv-, fräs- och svetsmaskiner.

	Beläggningsbar maskintid för Sigmaproduktion (minuter)	Bearbetningstid (minuter)	Ställtid (minuter)	Antal möjliga ställ per vecka (st)
Svarvar				
44	440	234	630	0,3
45	889	360	405	1,3
66	3578	2925	765	0,9
67	1780	450	270	4,9
72	2613	2610	1170	0
73	2377	2497.5	1095	0
85	2064	1359	465	1,5
86	2543	1575	435	2,2
163	1659	1395	450	0,6
Fräsar				
127	4066	3285	135	5,8
128	12934	9450	90	38,7
134	1659	1035	360	1,7
156	3739	4140	225,38	0
Svets				
79	2924	3015	90	0

De beläggningsbara maskintiderna för Sigmaproduktion för respektive maskin beräknades på det sätt som beskrivs i Appendix E. Bearbetningstider och ställtider utgår från de operationslistor som användes vid flödesvandringen och har beräknats med utgångspunkt i att företaget ska producera 45 produkter i veckan. Tiderna är summerade för alla Sigmakomponenter som ska köras i respektive maskin. Antal möjliga ställ per vecka beräknades för varje maskin genom att subtrahera bearbetningstid från beläggningsbar maskintid och sedan dividera differensen med ställtiden. I de fall kvoten blev negativ ersattes den med noll i tabellen eftersom det inte är möjligt att göra ett negativt antal ställ.

Appendix H – Räkneexempel genomloppstid

Här presenteras alla beräkningar som ligger till grund för räkneexemplen på möjliga genomloppstider efter förändringar (se 7.3 *Utvärdering med avseende på genomloppstid*).

Precis som i Appendix D motsvarar 66,5 timmar en arbetsvecka i beräkningarna. Eftersom Sigmakomponenten på den kritiska linjen befinner sig på ytbehandling i 3 veckor har dessa räknats bort från genomloppstiden. Bearbetnings-, ställ- och transporttid samt kötid till följd av batchstorlek beräknades och urskiljdes från genomloppstiden. Kvar blev det som i tabell H.1. kallas övrig kötid. För att få en uppfattning om hur mycket varje batch ligger och väntar mellan bearbetning gjordes även en beräkning av övrig kötid i förhållande till antalet operationer, mätt i dagar med antagandet att en vecka innehåller 5 arbetsdagar. I det första räkneexemplet där den möjliga genomloppstiden blir 11,8 veckor gjordes ett antagande att övrig kötid kan halveras genom införande av CONWIP eller genom att korta ned kötid i Monitor. Vilken möjlig genomloppstid detta ger och hur stor procentuell minskning det motsvarar presenteras tillsammans med beräkningar i tabell H.1.

Tabell H.1. Räkneexempel där den möjliga genomloppstiden blir 11,8 veckor efter införande av CONWIP, alternativt minskning av kötid i Monitor.

		Benämning	Beräkning
Batchstorlek	30	A	
Arbetsvecka (timmar)	66,5	B	Genomsnitt av belägningsbar maskintid för Sigmaprodukter
Genomloppstid med ytbehandling (veckor)	16,8	C	
Genomloppstid i verkstad (veckor)	13,8	D	$C - 3$
Genomloppstid i verkstad (timmar)	918	E	$D / 60$
Total bearbetningstid kritisk linje (min)	483	F	
Total ställtid kritisk linje (min)	785	G	
Total transporttid (min)	12	H	
Kötid under kritisk linje till följd av batchstorlek (min)	14007	I	$F * 29$
Summa bearbetningstid, ställtid, transporttid och kötid till följd av batchstorlek under kritisk linje (min)	15351	J	$F + G + H + I$
Summa bearbetningstid, ställtid, transporttid och kötid till följd av batchstorlek under kritisk linje (timmar)	256	K	$J / 60$
Övrig kötid (timmar)	662	L	$E - K$
Övrig kötid (veckor)	10,0	M	L/B
Antal operationer kritisk väg	21	N	
Antal köddagar per operation	2,4	O	$M * 5 / N$
Övrig kötid kortas ner till (timmar)	331	P	$L / 2$
Möjlig genomloppstid i verkstad (timmar)	587	Q	$K + P$
Möjlig genomloppstid i verkstad (veckor)	8,8	R	Q / B
Möjlig genomloppstid med ytbehandling (veckor)	11,8	S	$R + 3$
Minskning av genomloppstiden	30 %	T	$(1 - S / C) * 100$

I nästföljande räkneexempel har följande antaganden gjorts:

- inga ställtider är längre än 30 minuter
- batchstorleken ändras till 10 st
- bättre rutiner för dokumentation
- dragande system
- cellayout där transporttiden är försumbar
- egenkontroll istället för slutkontroll (förutom sista)

Tabell H.2. visar beräkningar för hur mycket maskiner behöver beläggas under antagandet att ställtiderna inte överstiger 30 minuter samt att batchstorleken är tio stycken. Samtliga Sigmaoperationer som utförs i maskiner samt svets har tagits i beaktning. Sista kolumnen i tabell H.2. presenterar hur mycket den belägningsbara maskintiden behöver ändras, när batchstorleken ändras till tio stycken. Positivt tal betyder att maskintiden behöver ökas. Som

kan ses i summan kommer den sammanlagda maskintiden inte behöva ökas, men en omfördelning behövs då mer tid krävs i exempelvis maskin 72 och 73.

Tabell H.2. Beräkningar för hur mycket belägningsbar maskintid som krävs vid kortare ställtider och mindre batchstorlek.

Maskin	Total bearbetnings-tid för 45 Sigma-produkter (min)	Tid för ett ställ, samtliga operationer (min)	Ställtid per vecka, med batchstorlek 10 st (min)	Bearbetnings-tid + ställtid med batchstorlek 10 st (min/vecka)	Bearbetnings-tid + ställtid med batchstorlek 10 st (timmar/vecka)	Belägnings-bar maskintid idag (timmar/vecka)	Skillnad mellan krävd och belägnings-bar maskintid (timmar/vecka)
Benämning	A	B	C	D	E	F	G
Beräkning	Från tabell G.1	Antaganden	$B * 4,5$	$A + C$	$D / 60$	Från tabell G.1	$E - D$
44	234	90	405	639	10,7	7,3	3,3
66	2925	120	540	3465	57,8	59,6	-1,9
79	3015	60	270	3285	54,8	48,7	6,0
134	1035	60	270	1305	21,8	27,5	-5,7
127	3285	60	270	3555	59,3	67,8	-8,5
72	2610	270	1215	3825	63,8	43,6	20,2
73	2498	240	1080	3578	59,6	39,6	20,0
45	360	60	270	630	10,5	14,8	-4,3
128	9450	60	270	9720	162,0	215,6	-53,6
85	1359	120	540	1899	31,7	34,4	-2,8
86	1575	120	540	2115	35,3	42,4	-7,1
163	1395	60	270	1665	27,8	27,7	0,1
156	4140	30	136	4276	71,3	62,3	9,0
67	450	30	135	585	9,8	29,6	-19,9
78	12735	200	900	13635	227,3	210,4	16,8
69	1823	70	315	2138	35,6	18,7	16,9
180	877	227	1022	1898	31,6	57,0	-25,4
Summa:							-36,8

Med en batchstorlek på tio stycken genom hela flödet, maximal ställtid på 30 minuter samt med endast en slutkontroll gjordes en ny beräkning av kötid till följd av batchstorlek. Det antogs att varje artikel väntar på övriga nio i batchen vid varje operation, men att orderbehovet fortfarande är 30 och att en produkt därför kan få vänta på 29 andra produkter vid sista operationen innan leverans. Hur mycket kötiden till följd av batchstorlek kan reduceras presenteras i tabell H.3.

Med ett fungerande dragande system, cellayout och egenkontroll istället för slutkontroll av komponenter antas den övriga kötiden reduceras återigen med 50 procent, övrig kötid har därför nu beräknats till en fjärdedel av den ursprungliga. Vilken genomloppstid och procentuell minskning detta resulterar i framgår i tabell H.3.

Tabell H.3. Räkneexempel med möjlig genomloppstid 6,9 veckor efter införande av dragande system, med kortare ställtider, mindre batchstorlek och endast en slutkontroll på produkten.

		Benämning	Beräkning
Batchstorlek	10	A	
Arbetsvecka (timmar)	66,5	B	Se appendix D
Total bearbetningstid kritisk linje (min)	478	C	
Total ställtid kritisk linje (min)	355	D	
Total transporttid (min)	0	E	
Kötid under kritisk linje till följd av batchstorlek (min)	4782	F	$C * 9 + 20 * 24$
Kötid under kritisk linje till följd av batchstorlek (veckor)	1,2	G	
Summa bearbetningstid, ställtid och kötid till följd av batchstorlek under kritisk linje (min)	5615	H	$C + D + E$
Summa bearbetningstid, ställtid och kötid till följd av batchstorlek under kritisk linje (timmar)	94	I	$F / 60$
Kötid under kritisk linje till följd av batchstorlek i dagsläget (min)	14007	J	Se tabell H.1.
Reducering av kötid till följd av batchstorlek (timmar)	154	K	$(J - F) / 60$
Övrig kötid idag (timmar)	663	L	Se tabell H.1.
Övrig kötid kortas ner till (timmar)	166	M	$L / 4$
Möjlig genomloppstid i verkstad (timmar)	259	N	$I + M$
Möjlig genomloppstid i verkstad (veckor)	3,9	O	N / B
Möjlig genomloppstid med ytbehandling (veckor)	6,9	P	$O + 3$
Procentuell minskning av genomloppstiden	59 %	Q	$(1 - P / 16,8) * 100$

Appendix I – Räkneexempel kapitalbindning

Här presenteras beräkningar för hur mycket kapital som kan frigöras på kort respektive lång sikt. Beräkningarna baseras på samma antaganden som i appendix H.

Tabell I.1. Sammanställning av med hur många procent genomloppstiden kan reduceras på kort respektive lång sikt.

Genomloppstid idag	16,8 veckor
Möjlig genomloppstid på kort sikt	11,8 veckor
Procentuell minskning av genomloppstiden på kort sikt	30%
Möjlig genomloppstid på lång sikt	6,7 veckor
Procentuell minskning av genomloppstiden på lång sikt	59%

Flödestakten kommer att bevaras när genomloppstiden kortas. Detta innebär att enligt Little's lag (Little, 1961) att PIA kommer att minska i produktionen. Antalet PIA kommer att minska med samma procentsats som genomloppstiden, se tabell I.1, och frigör därmed kapital. Hur mycket kapital produkterna binder beror på var i produktionen de befinner sig. Ett antagande har därför gjorts att kapitalbindningen minskar med samma andel som såväl PIA som genomloppstid. En jämförelse görs med den kapitalbindning företaget beräknats ha i dagsläget (se Appendix C). Resultatet av denna beräkning ses i tabell I.2.

Tabell I.2. Beräkning av hur mycket kapital som kan frigöras på kort respektive lång sikt baserat på den procentuella minskningen av PIA.

Kapitalbindning idag	6 976 005 kr
Möjlig kapitalbindning på kort sikt	4 632 510 kr
Frigjort kapital på kort sikt	2 343 495 kr
Möjlig kapitalbindning på lång sikt	2 778 065 kr
Frigjort kapital på lång sikt	4 197 940 kr