CHALMERS

BERÄKNING AV TILLVERKNINGSKAPACITET I ETT PRODUKTIONSAVSNITT

-Utveckling av Capacity Evaluation Method (CEM) för kapacitetsanalys där Discrete-Event Simulation (DES) inte är tillämpbar

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet Ekonomi och Produktionsteknik

Adam L. Fredriksson
Pontus J. Hanson

Avdelningen för Produkt- och Produktionsutveckling
Handledare: Sandra Mattsson
Examinator: Åsa Fasth
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2013

Rapport nr. Xxxx/xxxx

BERÄKNING AV TILLVERKNINGSKAPACITET I ETT PRODUKTIONSAVSNITT

Utveckling av Capacity Evaluation Method (CEM) för kapacitetsanalys där Discrete-Event Simulation (DES) inte är tillämpbar

Examensarbete 15HP Ekonomi och Produktionsteknik

Adam L. Fredriksson
Pontus J. Hanson

Avdelningen för Produkt- och Produktionsutveckling
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2013

Beräkning av tillverkningskapacitet i ett produktionsavsnitt
- Utveckling av Capacity Evaluation Method (CEM) för kapacitetsanalys där DES inte är tillämpbar
Adam L. Fredriksson & Pontus J. Hanson

© Adam L. Fredriksson & Pontus J. Hanson, 2013.

Technical report no xxxx:xx
Department of Some Subject or Technology
Chalmers University of Technology
SE-412 96 Göteborg Sweden
Telephone + 46 (0)768-057092

[Kompendiet]
Göteborg, Sweden 2013

FÖRORD

Vi vill tacka Sandra Mattson för all hjälp och stöttning under examensarbetet. Vi vill dessutom rikta ett stort tack till Johan Blom, Gunnar Olander, tekniker och operatörer för deras positiva inställning och välvilja som möjligjort examensarbetet. Tack!

SAMMANFATTNING

Vid beräkning av produktionskapacitet är DES en vanlig angreppsmetod. Det finns däremot ett flertal tillfällen då en DES av olika anledningar inte fungerar eller är tillämpbar, exempelvis då data av rätt kvalitet inte finns eller kan erhållas inom ramarna för projeket. För dessa fall har en ny metod utvecklats, CEM. Metoden har tagits fram i samband med en undersökning av ett produktionsavsnitt hos ett tillverkande företag i Göteborg. Företaget har ca 140 stycken anställda, och det undersökta produktionsavsnittet innehåller sex stycken produktionslinjer och elva materialflöden. Undersökningen har genomförts i form av en fallstudie utifrån ett aktionsforskningssynsätt, och utgår huvudsakligen ifrån teorierna: Theory of Constraints, Lean production och OEE. Resultaten har nåtts och verifierats genom forskar-, metod- och källtriangulering.

För produktionsavsnittet som undersökts har kapaciteten beräknats för kalenderår 2013. För att nå de kapacitetskrav som ställs på produktionsavsnittet krävs vissa förbättringsåtgärder. Det krävs nyinvestering i två stycken svarvar, omfördelning av produktvarianter mellan produktionslinjer och effektivitetsförbättringar mellan 10 - 30 %. De förslag som lämnats har bedömts orimliga att nå kortsiktigt, utan kräver en längre tidshorisont för att anses realistiska. Slutsatsen är därför att produktionsavsnittet inte bedöms klara de kapacitetskrav som ställs på det för kalenderår 2013. Målen ses dock möjliga att nå under en längre tidshorisont om de råd och rekommendationer som lämnats i rapporten följs. Bland annat föreslås ett förbättrat produktionsuppföljningssystem, minskad variansrikedom i ingångsmaterial och en sänkning av antalet planeringspunkter.

Nyckelord: CEM, DES, Effektivitet, Produktion, Kapacitet, Kapacitetsberäkningar, Takttid, Lean production, Theory of constraints, OEE, Cykeltid.

ABSTRACT

When calculating production capacities, DES is a common approach. There are however a number of situations when a DES is not applicable; for example when data of the right quality is missing or found impossible to obtain within the frames of a project. For these cases an analytical calculation method has been developed, CEM. This method has been developed in connection to the investigation of a production department at a manufacturing company located in Gothenburg, Sweden. The company holds a staff of around 140 employees, and the investigated production department contains six production lines and a total of eleven material flows. The investigation has been conducted in the form of a case study from an action research perspective, and is based on the theories: Theory of Constraints, Lean production and OEE. The results have been reached and verified through investigator-, methodological- and data triangulation.

The production capacity for the investigated production department has been calculated for the calendar year 2013. In order to reach the set production goals, a number of improvements have been found necessary. Investment in and installation of two new lathes is required, reallocation of some product variants and an increase of the overall effectiveness in the production lines with between 10 – 30 % is also necessary. The suggestions proposed have been deemed unrealistic to reach on short term, and require a longer time horizon to be seen possible. The conclusion is therefore that the production department will be unable to reach the set production goals for the calendar year 2013. The production goals are however seen possible to reach on a longer time horizon, should they follow the advice and recommendations from this report. Suggestions include an improved production monitoring system, lessened wealth of input materials and a reduction of planning points.

Keywords: CEM, DES, Effectiveness, Production, Capacity, Capacity calculations, Takt time, Lean production, Theory of constraints, OEE, Cycle time.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRKORTNINGSLISTA 1
1. INLEDNING 3
1.1 Bakgrund 3
1.2 Syfte 3
1.3 Mål 3
1.4 Avgränsningar 4
1.5 Beskrivning av studerat produktionsavsnitt 4
2. TEORI 5
2.1 Lean Production / Toyota production system (TPS) 5
2.1.1 Slöserier 5
2.1.2 Värdeskapande aktiviteter 6
2.1.3 Just-In-Time 6
2.1.4 Den japanska sjön 6
2.1.5 SMED 7
2.1.6 Heijunka 7
2.1.7 Takttid 7
2.2 Theory of Constraints 8
2.3 OEE- Overall Equipment Effectiveness 10
2.4 Produktfamilj 11
2.5 Materialflödesstrukturer 12
2.6 Kapacitetsstrukturer 13
2.7 Funktionsflexibilitet 14
3. METOD 15
3.1 Datainsamling 15
3.1.1 Ostrukturerad Intervju 15
3.1.2 Observation 16
3.2 Analys 16
3.2.1 DES- Discrete-Event Simulation 16
3.2.2 Triangulering 16
3.2.3 Validitet & Reliabilitet 17
4. GENOMFÖRANDE 19
4.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden 19
4.1.1 Produktfamiljindelning 19

4.2 Steg 1.2: Kartläggning av tillgänglig tid 20
4.3 Steg 1.3: Kartläggning av efterfrågan 20
4.4 Steg 2.1: Cykeltidsmätningar 20
4.5 Steg 2.2: Beräkning av takttid 21
4.6 Steg 3: Kapacitetsberäkningar 21
4.7 Steg 4: Kapacitetsanalys 21
4.8 Steg 5: Uppföljning 21
5. CEM– CAPACITY EVALUATION METHOD 23
5.1 Varför CEM? 23
5.2 Utgångspunkter för CEM 23
5.3 Ingående data och beräkningshierarki 24
5.3.1 CEM-beräkningar, nivå 1 24
5.3.2 CEM-beräkningar, nivå 2 25
5.3.3 CEM-beräkningar, nivå 3 25
5.3.4 CEM-beräkningar, nivå 4 26
5.4 Analys av data 26
6. RESULTAT 27
6.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden 27
6.1.1 Ingående material 28
6.1.2 Produkter och varianter 28
6.1.3 Beskrivning av Materialförsörjare, MFA1-MFB1 29
6.1.4 Beskrivning av produktionslinjer A1-A4 30
6.1.5 Beskrivning av produktionslinjer B1 & C1 32
6.2 Steg 1.2: Kartläggning tillgänglig tid 33
6.3 Steg 1.3: Kartläggning av efterfrågan 33
6.4 Steg 2.1: Cykeltidsmätningar 33
6.5 Steg 2.2: Beräkning av takttid 33
6.6 Steg 3: Kapacitetsberäkningar 34
6.6.1 Produktionslinje A1 34
6.6.2 Produktionslinje A2 34
6.6.3 Produktionslinje A3 34
6.6.4 Produktionslinje B1 34
6.6.5 Produktionslinje A4 35
6.6.6 Produktionslinje C1 35

6.6.7 Materialförsörjare 35
6.7 Steg 4: Kapacitetsanalys 36
6.7.1 Produktionslinje A1 36
6.7.2 Produktionslinje A2 36
6.7.3 Produktionslinje A3 36
6.7.4 Produktionslinje B1 36
6.7.4 Produktionslinje A4 36
6.7.5 Produktionslinje C1 37
6.7.6 Materialförsörjare 37
7. STEG 5: UPPFÖLJNING & DISKUSSION 39
7.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden 39
7.1.1 Produktfamiljindelning 40
7.1.2 Produktionsuppföljningssytem 40
7.2 Steg 1.2-1.3: Kartläggning av tillgänglig tid och efterfrågan 40
7.3 Steg 2.1-2.2: Cykeltidsmätningar och beräkning av takttid 41
7.4 Steg 3: Kapacitetsberäkningar 42
7.4.1 DES- Discrete-Event Simulation 42
7.4.2 CEM- Capacity Evaluation Method 42
7.5 Steg 4: Kapacitetsanalys 43
8. SLUTSATSER & REKOMMENDATIONER 45
9. KÄLLFÖRTECKNING 47
APPENDIX 1 49

FIGURFÖRTECKNING

Figur 1. Illustration av den japanska sjön. 6
Figur 2. Fem steg mot en förbättrad produktionsprocess enligt Rahman (2007). 8
Figur 3. En beräkningsmodell för OEE (Stamatis, 2010). 10
Figur 4. Exempel på en produktfamiljindelning. 11
Figur 5. Materialflöde av V-typ. 12
Figur 6. Materialflöde av A-typ. 12
Figur 7. Materialflöde av T-typ. 12
Figur 8. Materialflöde av X-typ. 13
Figur 9. Figuren illustrerar ett materialflöde av I-typ. 13
Figur 10. Samband mellan beläggningsgrad och genomloppstid. 14
Figur 11. Genomförandets struktur, aktivitetsordning och karta över de metoder som använts i respektive steg. 19
Figur 12. Ingående data och beräkningshierarki för CEM. 24
Figur 13. Visar resultatet av kapacitetsberäkningarna som utförs i nivå 4. 26
Figur 14. Illustration över det studerade produktionsavsnittets ingående processer och materialflöden. 27
Figur 15. Varianter A1 och B1, med respektive sub-variant A2 och B2. 28
Figur 16. Materialförsörjare MFA1-MFB1 och de produktionslinjer de försörjer. 29
Figur 17. Produktionslinje A1-A2 och de materialflöden associerade till dem. 30
Figur 18. Ingående processer i produktionslinje A1-A2. 30
Figur 19. Produktionslinje A3 och de materialflöden associerade till den. 31
Figur 20. Produktionslinje A3 och de materialflöden associerade till den. 31
Figur 21. Produktionslinje A4 och de materialflöden associerade till den. 31
Figur 22. Ingående processer i produktionslinje A4. 31
Figur 23. Produktionslinje B1 och de materialflöden associerade till den. 32
Figur 24. Förklaring över de ingående processerna i produktionslinje B1. 32
Figur 25. Produktionslinje C1 och de materialflöden associerade till den. 32
Figur 26. Förklaring över de ingående processerna i produktionslinje C1. 32
Figur 27. Diagram över respektive materialförsörjares och produktionslinjes efterfrågenivåer. 33

TABELLFÖRTECKNING

Tabell 1. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A1. 34
Tabell 2. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A2. 34
Tabell 3. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A3. 34
Tabell 4. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje B1. 34
Tabell 5. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A4. 35
Tabell 6. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje C1. 35
Tabell 7. Resultat av kapacitetsberäkningar för samtliga materialförsörjare. 35
Tabell 8. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A1. 36
Tabell 9. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A2. 36
Tabell 10. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A3. 36
Tabell 11. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje B1. 36

Tabell 12. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A4. 36
Tabell 13. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje C1. 37

FORMELFÖRTECKNING

Formel 1. Takttidsberäkning (Liker & Meier, 2006). 7
Formel 2. Effektiviteten är förhållandet mellan effektiv produktionstid och total tillgänglig tid. 24
Formel 3. Beskriver effektiv produktionstid. 25
Formel 4. Beskriver takttid som förhållandet mellan effektiv produktionstid och efterfrågan. 25

FÖRKORTNINGSLISTA

TPS- Toyota Production System, också känt i vidare mening som Lean production.

JIT- Just in time, att enbart producera och hantera det som behövs, när det behövs i exakt den kvantitet som behövs.

SMED- Single Minute Exchange of Die, en omställningsmetodik.

TOC- Theory of constraints, begränsningsteori för att identifiera och åtgärda flaskhalsar.

OEE- Overall Equipment Effectivenes, en effektivitetskvot för maskiner.

DES- Discrete event simulation, en simuleringsmetod byggd på stokastiska variabler.

CEM- Capacity Evaluation Method, en analytisk beräkningsmetod för bestämning av produktionskapacitet.

Mct- Medelcykeltid.

Tt- Takttid, tillgänglig produktionstid per produktvariant och styck.

Tpt- Total producerande tid, den tillgängliga tid som används till reell produktion.

Bep- Beräknad effektiv produktionstid, den tid som produktion anses vara effektivt producerande.

Btt- Beräknad tillgänglig tid, den tid som finns kvar alternativt saknas i systemet efter genomförda kapacitetsberäkningar.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Examensarbetet har genomförts på ett tillverkande industriföretag i Göteborg. Företaget har ca 140 anställda och tillhör en större internationell koncern. På grund av marknadsförändringar har effektivisering och förbättringar på företaget fått ett allt större fokus, samt hur kostnadseffektivitet kan uppnås. Ett behov av att beräkna produktionskapaciteten har identifierats av företaget som en del av deras framtidsstrategi.

Produktionen är serietillverkningsbaserad och präglas av svåröversiktliga samt korsande materialflöden. Det har saknats en god översikt över materialflödena och de ingående processernas egenskaper. Cykeltider för de olika produkterna i respektive maskin har inte varit till fullo kartlagda, och heller inte i vilken grad man utnyttjat maskinernas maximala kapacitet. Företaget har därför yttrat önskemål om att kunna öka tillverkningskapaciteten och att ha möjlighet att variera i vilka produktionslinjer produkterna produceras, detta för att möjliggöra en utjämning av beläggningsgraden.

1.2 Syfte

Syftet är att att identifiera och presentera möjligheterna till en ökning av tillverkningskapacitet och flexibilitet i det undersökta produktionsavsnittet utifrån dagens läge.

1.3 Mål

Målet är att ta fram en kapacitetsberäkningsmetod, manual till densamma samt produktionsrekommendationer utifrån resultat sprungna ur genomförda kapacitetsberäkningar.

1.4 Avgränsningar

Arbetet fokuserar på materialflödet och produktionssystemet, där det förutsätts att materialtillförseln inte är en begränsande faktor vid en kapacitetsökning. Dessutom förutsätts att efterföljande produktionssteg också klarar av en kapacitetsökning utan investeringar eller signifikanta förändringar utifrån nuläget. Produktvariationen är hög och produktionsvolymen varierar från medel till hög beroende på produktvariant. Den höga produktvariationen medför att förenklingar av cykeltidsmätningarna krävs, och utgår därför från mätningar av produkter representativa för de produktfamiljer de delas in i. Produktfamiljerna definieras och väljs utifrån en specifik produktparameter.

Arbetets fokus är:

- Cykeltidsmätningar
- Kapacitetsberäkningar
- Kapacitetsanalys

Större layoutförändringar är på grund av tekniska och ekonomiska skäl inte möjliga, däremot är vissa mindre layoutförändringar möjliga, och sannolikt nödvändiga. Examensarbetet behandlar inte bemanningsfrågor.

1.5 Beskrivning av studerat produktionsavsnitt

Produktionsavsnittet som studerats består av sex stycken separata produktionslinjer och totalt elva interna materialflöden. Ytterligare produktionslinjer ingår normalt i produktionsavsnittet men har genom projektets avgränsningar inte tagits med i rapporten. Utöver de produktionslinjer som nämnts ingår också fem stycken materialförsörjare i produktionsavsnittet. Produktionsavsnittet präglas av automatiserad produktion med en hög andel pressmaskiner, som kombinerats med tvättar och svarvar i flödesgrupper.

2. TEORI

Följande teoriavsnitt redogör för de grundläggande teorier som använts till grund för rapporten. I teoriavsnittet beskrivs Lean production, Theory of Constraints och Overall Equipment Efficiency.

2.1 Lean Production / Toyota production system (TPS)

Lean production är ett produktionsfilosofiskt arbetssätt som syftar till att driva organisatorisk och produktionsteknisk utveckling med utgångspunkt i kundens behov (Liker, 2009). Lean production direktöversätts till svenska som mager produktion. Namnet syftar till de japanska företag som undersöktes i en stor biltillverkarstudie under 80-talet som tycktes klara av samma, och oftast högre, produktionsnivåer till väsentligt lägre kostnader och med kortare ledtider än sina västerländska motsvarigheter. Lean production är ett totalgrepp på hur företag och organisationer bör fungera och organiseras (ibid.).

Lean production är i sig ett eget forskningsområde, och fungerar tvärvetenskapligt över många olika fält. Då fältet är för stort för att täckas fullständigt i rapporten, kommer beskrivningen av Lean production i detta avsnitt enbart att fokusera på att förklara Lean productions mest fundamentala delar och verktyg.

2.1.1 Slöserier

Värdet av alla aktiviteter längs ett produktflöde definieras ur kundens synvinkel. Allt som inte är direkt värdeadderande ur kundens perspektiv är och klassas som slöseri. De åtta mest signifikanta slöserierna är identifierade som: **Överproduktion, Väntan, Onödiga transporter, Överarbete, Onödiga rörelser, Lager, Omarbete** och **Outnyttjad kreativitet** (Liker, 2009).

Överproduktion anses traditionellt vara den värsta av samtliga ovanstående slöserier. Anledningen är att överproduktion ofta är grundorsak till samtliga övriga slöserier. Överproduktion innebär att producera mer än vad kunden efterfrågar. Ofta sker överproduktion i syfte att upprätthålla ett högt kapacitetsutnyttjande. Ett högt kapacitetsutnyttjande säkerställer i sig dock inga inkomster. Överproduktion generar istället höga kapitalbindningskostnader och andra indirekta kostnader så som omarbete, onödiga transporter, lager och väntan.

Väntan i alla dess former är slöseri. Automatiserad produktion där personal enbart fungerar som övervakare av produktion i syfte att avhjälpa akuta fel eller justera vid eventuella variationer är en form av slöseri. Väntan på arbete från föregående processteg, väntan på verktyg eller arbetsbrist på grund av låga lagernivåer, utrustningsfel och flaskhalsar är också exempel på slöserier.

Onödiga transporter är en form av slöseri. Förflyttning av produkter i en fabrik är i sig inte värdeadderande och klassas som förlust, oavsett hur kort avståndet är. Transporter till och från olika lager är också en typ av förlust.

Överarbete syftar på sådant arbete som utförs på en produkt som sträcker sig bortom produktspecifikation eller som på annat sätt är onödigt. Exempel på detta är tillverkning av produkter med snävare toleranskrav än nödvändigt och processteg som vid en mer genomtänkt produktdesign eller produktionslayout hade kunnat undvikas.

Lager innebär produkter i väntan och är en form av slöseri. Stora lager leder dessutom till längre ledtider, svinn, förstörda produkter samt transport- och förvaringskostnader. Därutöver har lager en förmåga att dölja produktfel i ett system som upptäcks först då produkten tas ur lager eller når kund.

Onödiga rörelser är sådana rörelser som en arbetare behöver utföra under sitt arbete men som inte är direkt värdeadderande, och klassas som slöseri.

Omarbete av produkter som krävs korrigeras eller skrotas är ett slöseri som dessutom orsakar andra slöserier så som onödiga transporter och materialhantering.

Outnyttjad kreativitet innebär att förlora tid, idéer, kompetens, förbättringar och lärandemöjligheter genom att inte lyssna på de anställda (ibid.).

2.1.2 Värdeskapande aktiviteter

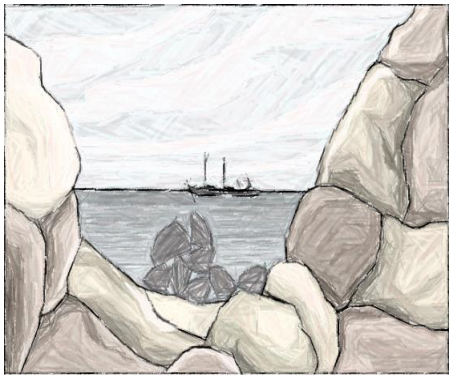
Med värdeskapande aktiviteter menas sådana aktiviteter som, från kundbeställning till leverans, fungerar additativt till det slutligt upplevda kundvärdet av produkter eller tjänster (Liker, 2009). Definitionens snävhet justeras vanligtvis beroende på applikationsområde. Gränser för definitionen kan därmed, vad avser kundbeställning och leverans, sättas på fabriksnivå, produktionsavsnittsnivå eller annan för ändamålet passande nivå.

2.1.3 Just-In-Time

Just In Time (JIT) är en central del i Lean production. Just-in-time innebär att enbart producera och hantera det som behövs, precis när det behövs och i exakt den kvantitet som efterfrågas (Hågeryd et al., 2005). Det optimala JIT-systemet illustreras ofta som ett enstycksflöde utan mellanlager. Viktigt att påpeka är att enstycksflödet, om än eftersträvansvärt, i de allra flesta praktiska tillämpningar är svårt och kanske omöjligt att tillämpa. Enstycksflödet kan däremot fungera som en vision, och en god vägriktare för framtida produktionsutveckling.

2.1.4 Den japanska sjön

Den japanska sjön är en illustration och metafor för hur problem och brister i produktionstekniska system ofta döljs genom stor lagerhållning (Olsson, 2013). Modellen utgörs av en sjö och en båt. Strax under vattenytan döljer sig ett grund, som vid en något lägre vattennivå hade blottlagts och kantrat båten (se figur 1). Stenarna i vattnet representerar de produktionsproblem som finns i produktionssystemet men som döljs av höga lagernivåer. Skulle lagernivåerna sänkas utan samtidiga åtgärder av produktionsproblemen, hade produktionen inte fungerat.



Figur 1. Illustration av den japanska sjön.

2.1.5 SMED

SMED eller "*Single Minute Exhange of Die*" är en metodik som används för att erhålla snabba omställningar. Shigeo Shingo är grundaren till de principer som senare har blivit kända under namnet SMED. Metoden är indelad i fem huvudsakliga steg: **identifiera** inre och yttre ställ, **separera** inre och yttre ställ, **omvandla** inre ställ till yttre, **reducera** inre ställ och **analysera** den kritiska linjen. Med yttre ställ menas de omställningsaktiviteter som kan göras när maskinen körs. Med inre ställ menas de omställningsaktiviteter som kräver att maskinen står still och inte är tillgänglig för produktion (Hågeryd et al., 2005).

2.1.6 Heijunka

Heijunka betyder utjämnad produktion både vad avser produktionsvolym och produktionsmix (Liker, 2009). Produktion sker således inte efter direkta kundorder, utan utifrån kundefterfrågan under en längre tidsperiod. Resultatet är en stabilare produktionsprocess som lättare kan utvecklas och förbättras.

Grundsynen i Lean production är att ojämnheter är en rotorsak till både överbelastning och slöserier. Ett ojämnt produktionsflöde orsakar ofta krav på höjda lagernivåer, extra personal, maskiner och verktyg för att klara av efterfrågetoppar. Ojämnheter orsakar dessutom att personal och maskiner emellanåt belastas bortom sina naturliga gränser, vilket i sin tur orsakar säkerhets- och kvalitetsproblem (Liker, 2009). Genom att undvika sådana skadliga produktionsvariationer tillämpas därför heijunka. Heijunka säkerställer ett konsekvent och stabilt produktionssystem vilket låter färdigvarulagret variera med kundefterfrågan (ibid.).

2.1.7 Takttid

Takttid är en beräknad tid som används för att utveckla processer och produktionsarbete. Takttid beräknas genom division av tillgänglig produktionstid genom kundefterfrågan inom ett givet tidsintervall. Syftet med att beräkna takttiden är att avgöra vilka krav som ställs på de individuella värdeadderande produktionsprocesserna och tydliggöra deras förmåga, eller oförmåga, att uppnå de krav som ställs på dem. Överstiger en individuell process den överliggande takttiden, uppnås inte den produktionstakt som är eftersträvad. Understiger en individuell process den överliggande takttiden besitter den istället en överkapacitet. Överkapacitet möjliggör ökad produktion, men bör enligt TPS inte utnyttjas. Anledningen är att undvika överproduktion, som i sin tur är en stor källa till kostnader och slöserier enligt Liker & Meier (2006). Genom att ställa cykeltiden i relation till takttiden kan det enkelt avgöras huruvida en anläggning uppnår de kapacitetskrav som ställs på den. Relationen säger däremot väldigt lite om den genomsnittliga genomloppstiden.

Takttiden beräknas genom att dividera den tillgängliga tiden med efterfrågan per tidsenhet (se formel 1).

$$\boldsymbol{Takttid} = \frac{\boldsymbol{Tillgänglig\ tid}}{\boldsymbol{Efterfrågan\ per\ tidsenhet}}$$

Formel 1. Takttidsberäkning (Liker & Meier, 2006).

2.2 Theory of Constraints

Theory of Constraints är en metodik för att identifiera och åtgärda flaskhalsar i tillverkningsprocesser (Levinson, 2007). Teorins grundtes är att ett produktionssystem aldrig kan producera mer än sin svagaste länk, sin flaskhals, varför fokus alltid måste ligga på denna.

Metodiken förordar tre huvudsakliga delar: **Drum, Buffer** samt **Rope.**

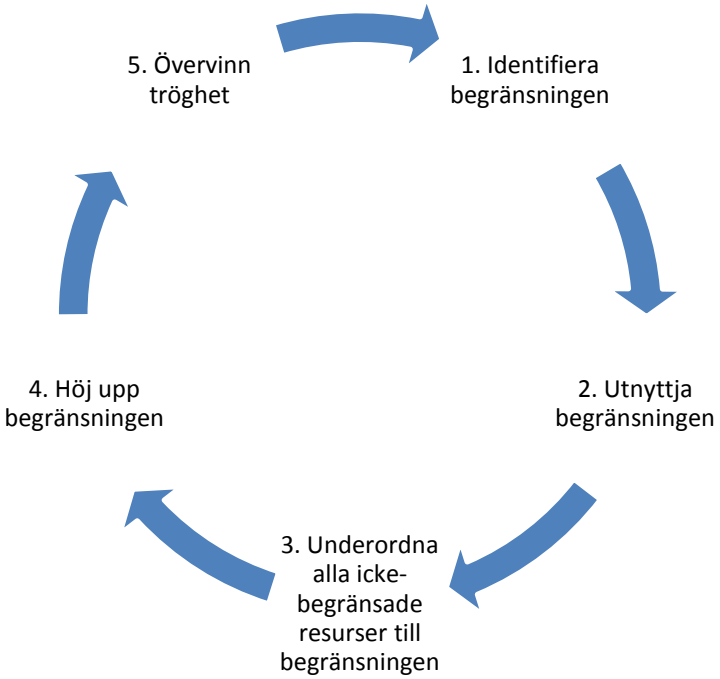
Drum: Överordna flaskhalsen övriga resurser och låt denna avgöra produktionstakten för samtliga ingående processer.

Buffer: Dimensionera flaskhalsens framförliggande buffert på så vis att flaskhalsen aldrig svälter.

Rope: Skapa ett dragande materialflöde för att undvika överproduktion och stora mellanlager i tillverkningen.

Tid som förloras i ett systems svagaste länk är för alltid förlorad, eftersom denna saknar reservkapacitet. Ingångsmaterial av fel kvalitet som inte ligger inom toleransgränser kan därmed vara dyrare att köra och justera i maskin, än att skrota direkt. Felaktiga utgående produkter från flaskhalsen orsakar samma tidsförlust (ibid.).

Rahman (2007) beskriver förbättring av produktionsprocesser och indelar dem i fem steg. Metoden är cyklisk och presenteras nedan i figur 2.



Figur 2. Fem steg mot en förbättrad produktionsprocess enligt Rahman (2007).

1. **Identifiera begränsningen.** Hitta och identifiera den begränsade faktorn i systemet. En begränsande faktor kan bestå av fysiska processer så som material, maskiner och människor. En begränsning kan också vara av icke-fysisk karaktär i form av: policy-, regel- eller metodbegränsningar.

2. **Utnyttja begränsningen.** Om begränsningen är fysisk skall begränsningen utnyttjas så effektivt som möjligt. Är begränsningen icke-fysisk bör den elimineras och ersättas med en policy, regel eller metod som ger upphov till ökad genomströmning.

3. **Underordna alla icke-begränsade resurser till begränsningen.** De icke-begränsade processerna skall stötta den begränsade faktorn så att dess maximala kapacitet kan utnyttjas.

4. **Höj upp begränsningen.** Är den existerande begränsningen fortfarande mest kritisk i systemet, skall ett noggrant förbättringsarbete genomföras i syfte att åtgärda den. Efter åtgärder kommer systemet eventuellt möta en ny begränsning.

5. **Övervinn tröghet.** Elimineras den begränsade faktorn i något av föregående steg startas processen om från steg ett. Det är detta som gör ”Theory of Constraints” till en kontinuerlig process (ibid.).

Alla system måste av naturliga anledningar ha en begränsande faktor. Ett företag utan en begränsande faktor skulle annars kunna erhålla oändlig profit. Rahman (2007) poängterar också att existerande begränsningar representerar företagens möjlighet till förbättring.

2.3 OEE- Overall Equipment Effectiveness

OEE- Overall Equipment Effectiveness är ett mätetal som används vid bestämning av enskilda maskiners produktivitet. OEE utgår från tre nyckelvärden: **Tillgänglighet**, **Anläggningsutbyte** och **Kvalitetsutbyte** (Stamatis, 2010).

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Equipment ID: Date:
Part ID: Shift:

Equipment Availability:

A. Total available time _____ minutes
B. Planned Downtime _____ minutes
C. Net available time (A-B) _____ minutes
D. Unplanned downtime (from downtime reports)
# of breakdowns _____ Total Minutes _____ +
# of setups & adjustments ____ Total Minutes _____ +
# of minor breakdowns _____ Total minutes _____ = _____ minutes
E. Operating time (C-D) _____ minutes
F. Equipment availability (E/C)x100 _____% [90%]

Performance Efficiency:

G. Total parts run (good + bad) _____ parts
H. Ideal cycle time _____ minutes/part
I. Performance efficiency (HxG)x100 _____% [95%]

Quality Rate:

J. Total defects (rework + scrap) _____ parts
K. Quality rate [(G-J)/G]x 100 _____% [99%]

Overall Equipment Effectiveness:

(F x I x K) x 100_____% [85%]

Figur 3. En beräkningsmodell för OEE (Stamatis, 2010).

Tillgängligheten beräknas enligt figur 3. Den totala tillgängliga tiden för maskinen att producera är den tid som maskinen teoretiskt är tillgänglig för produktion. Därifrån subtraheras sedan planerad stopptid. Sådan tid kan exempelvis vara planerat underhåll, produktionsuppföljningsmöten, luncher eller raster. Därutöver subtraheras också maskinens oplanerade stopptid så som maskinhaverier, omställningar och justeringar.

Anläggningsutbytet är beräknat utifrån en ideal cykeltid som multiplicerats med antalet producerade enheter. Antal producerade enheter inbegriper också de produkter som av någon anledning kasserats. Den ideala cykeltiden är den cykeltid som en maskin teoretiskt sett skall klara av att producera en detalj.

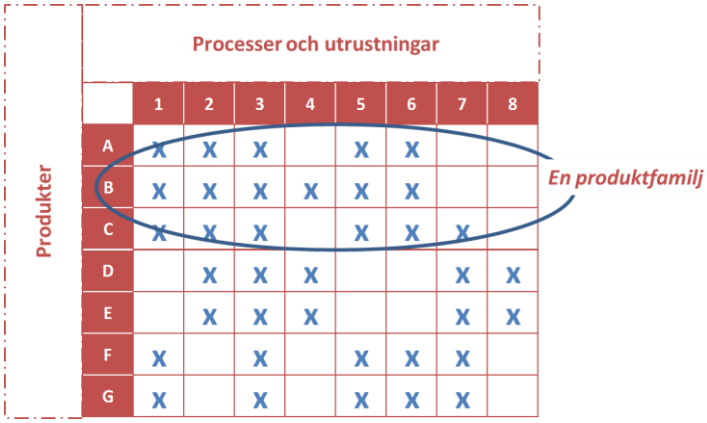
Kvalitetsutbyte är den beräknade kvoten mellan andelen icke godkända och godkända produkter. Den beräknas genom att dividera andelen godkända produkter med den totala delen producerade produkter.

OEE beräknas därefter genom multiplikation av tillgänglighet, anläggningsutbyte och kvalitetsutbyte. Resultatet är ett värde mellan 0 - 100 % vilket anger enskilda produktionsprocessers produktivitet. (ibid.).

De sex största förlusterna som påverkar OEE-kvoten är enligt Stamatis (2010): **haverier**, **inställningar/justeringar, tomgång/stopp**, **reducerad hastighet**, **skrot och uppstart**.

2.4 Produktfamilj

En produktfamilj är en grupp av produkter som i allmänhet passerar genom samma processer och utrustningar nedströms (Rother & Shook, 2004). Det finns flera definitioner av vad som menas med produktfamilj, varav Rother & Shooks grundlägger sig i och utgår från kundens perspektiv (se figur 4).



Figur 4. Exempel på en produktfamiljindelning.

En produktfamilj är en grupp av besläktade produkter vilka härstammar ur en gemensam produktplattform i syfte att tillfredsställa marknadens varierande behov (Simpson et al., 2006). Produktfamiljer indelas vanligtvis i två kategorier: **Modulbaserade** samt **Parameterbaserade** (ibid.).

Modulbaserade produktfamiljer är sådana där komponenter kombineras till att utgöra diversifierade slutprodukter.

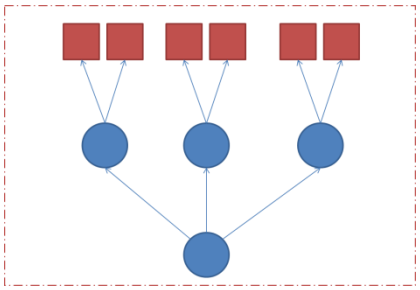
Parameterbaserade produktfamiljer är baserade på variationer av nyckelparametrar hos en grundläggande produktplattform. Genom att variera dessa parametrar och ”förstora” eller ”krympa” plattformen, skapas nya diversifierade produkter som täcker varierande marknadsbehov (ibid.).

Definitionerna kring vad en produktplattform innebär och syftar till varierar beroende på applikation, och beskrivs inte närmare i denna rapport.

2.5 Materialflödesstrukturer

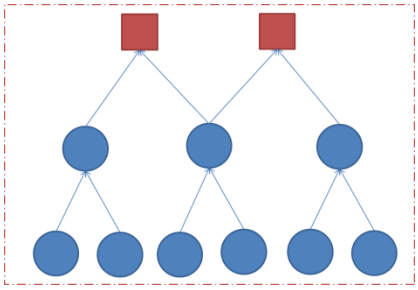
Materialflöden är identifierbara enligt en uppsättning grundtyper. Grundtyperna är: **V-typ, A-typ, T-typ, X-typ** samt **I-typ.** De olika grundtyperna beskriver hur materialflödena är utformade och huruvida de är konvergerande eller divergerande (Jonsson & Mattson, 2005). Med konvergerande materialflöden åsyftas sådana materialflöden där ett eller flera ingångsmaterial förädlas och/eller kombineras till ett större antal utgångsprodukter. Divergerande materialflöden är motsatt konvergerande flöden sådana att ingångsmaterialen istället är många, och kombineras till ett i relation färre antal slutprodukter (ibid.).

V-typ är ett divergerande materialflöde, och kännetecknas av divergeringspunkter där enstaka utgångsmaterial omvandlas till ett relation stort antal slutprodukter (se figur 5).



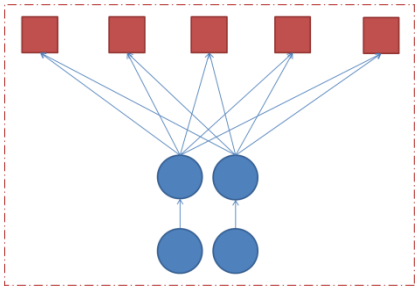
Figur 5. Materialflöde av V-typ.

A-typ är ett konvergerande materialflöde som karaktäriseras av ett litet antal slutprodukter i förhållande till antalet ingående material (se figur 6).



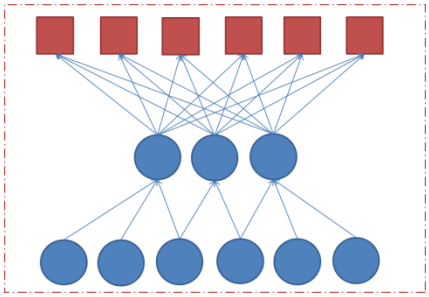
Figur 6. Materialflöde av A-typ.

T-typ är likt A-typ ett konvergerande materialflöde, men kännetecknas i högre grad av färre konvergeringspunkter som är närmare kopplade till slutproduktnivån. Antalet slutprodukter är dessutom mycket högt i relation till antalet ingångsmaterial (se figur 7).



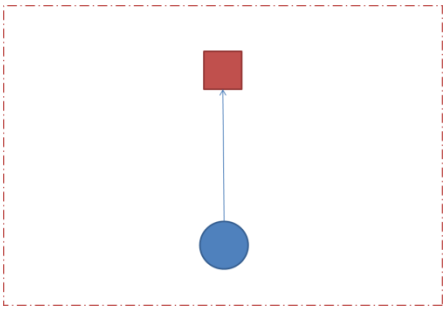
Figur 7. Materialflöde av T-typ.

X-typ har ett stort antal konvergeringspunkter, och kännetecknas av ett stort antal ingångsmaterial som kombineras till ett begränsat antal halvfabrikat. Halvfabrikaten kombineras sedan i sin tur till en stor mängd varierande slutprodukter (se figur 8).



Figur 8. Materialflöde av X-typ.

I-typ är varken konvergerande eller divergerande utan motsvarar enbart *transformation genom frånskiljning, tillformning* eller *egenskapsanpassning*. Det som kännetecknar I-typen är således att enbart ett ingångsmaterial används och förädlas genom materialflödets processer (se figur 9).



Figur 9. Figuren illustrerar ett materialflöde av I-typ.

Samtliga av ovanstående materialflödestyper är grundtyper av hur olika materialflöden kan se ut, och kan kombineras för att bilda än mer komplexa materialflöden och strukturer (ibid.).

2.6 Kapacitetsstrukturer

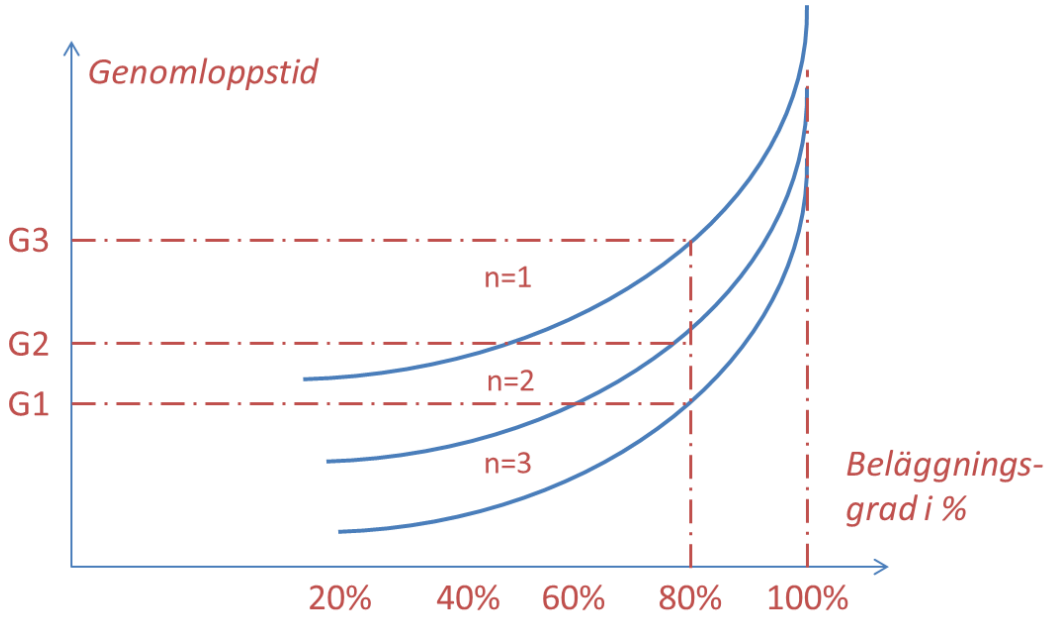
Med kapacitetsstrukturer menas hur produktionen är strategiskt upplagd med avseende på produktionskapacitet. Huvudsakligen finns två kapacitetsstrukturer att välja mellan: **Singelstruktur** och **Parallellstruktur** (Jonsson & Mattson, 2005).

Singelstruktur syftar till att låta en produktionsresurs inneha tillräcklig kapacitet att själv försörja den efterfrågan som föreligger. Singelstrukturens fördelar innefattar hög specialisering och normalt sett också hög automatiseringsgrad, vilka tillsammans bidrar till låga styckkostnader. Singelstrukturen är däremot störningskänslig.

Parallellstruktur menar ett antal mindre produktionsresurser vilka tillsammans uppnår den kapacitet som efterfrågan erfordrar. Parallellstrukturen är mindre störningskänslig än singelstrukturen och håller flexibilitetsfördelar vid efterfrågevariationer. Vid en ökning av efterfrågan kan mindre investeringar göras för att täcka ökningen, och risken för allvarliga felinvesteringar är lägre än i singelstrukturen (ibid.).

2.7 Funktionsflexibilitet

Det går att teoretiskt visa att det finns ett samband mellan genomloppstid, antal möjliga arbetsstationer och beläggningsgrad. Med antal möjliga arbetsstationer menas hur många arbetsstationer en och samma uppgift kan genomföras vid (Jonsson & Mattson 2005). Ju fler parallella arbetsstationer som efterfrågan kan fördelas över, desto lägre genomloppstid. Dessutom skalar fördelarna exponentiellt med beläggningsgraden, vilket figur 10 nedan tydliggör (ibid.).



Figur 10. Samband mellan beläggningsgrad och genomloppstid.

Vid en beläggningsgrad på 80% erhålls vid n=1 en genomloppstid på G3. Där n är lika med antalet stationer. Vid samma beläggningsgrad, men med ett högre antal stationer, n=3, erhålls istället en genomloppstid på G1 (ibid.).

3. METOD

Undersökningen av produktionsavsnittet har genomförts i form av en fallstudie utifrån ett aktionsforskningssynsätt.

Aktionsforskning är en strategi som har en tydlig praktisk och tillämpad prägel med syfte att analysera verkliga problem (Denscombe, 2000). Vad som kännetecknar aktionsforskningen till skillnad från andra praktiskt inriktade forskningsmässiga tillvägagångssätt är att ”forskningen måste genomföras som en del av praktiken snarare än att vara ett påklistrat tillägg till den” (Denscombe, 2000, s. 73). Aktionsforskning kan innebära användande av direkt observation, djupintervjuer eller annan form av datainsamling.

En fallstudie är inte en metod utan en forskningsstrategi och innebär nyttjandet av flera olika metoder och källor (Denscombe, 2000). Målet med en fallstudie är att belysa det generella genom att undersöka det specifika i naturliga miljöer. En fallstudie går därför djupare än en annan mer ytlig undersökning, i syfte att upptäcka sådant som inte annars hade påträffats. Fokus ligger även på sociala relationer och processer eftersom dessa ofta är sammanlänkade och ömsesidigt påverkar varandra (ibid.).

Metodkapitlet är indelat i två sektioner: den första behandlar de metoder som använts för datainsamling. Den andra behandlar de verktyg som använts för att analysera de data som insamlats.

3.1 Datainsamling

Kvalitativ datainsamling är ett arbetssätt där forskaren är en del av den sociala verklighet som studeras (Eriksson, 2013a). Syftet är att få en förståelse kring människors handlingar och deras innebörd, vilken nås genom växelvis utförd datainsamling och analys. Den kvalitativa datainsamlingen är tänkt att ge en helhetsbeskrivning av den aktuella undersökningen. Ofta används den kvalitativa datainsamlingen tillsammans med kvantitativ datainsamling för att på ett så allsidigt sätt som möjligt belysa det studerade forskningsområdet (ibid.).

Kvantitativ data bygger på empiriska och kvantifierbara studier som kan sammanfattas i statistisk form för att analyseras med utgångspunkt i testbara hypoteser (Eriksson, 2013b). Sådant arbete kräver ett strukturerat och systematiskt arbetssätt. För att ta fram kvantitativ data används varierande mätinstrument. Mätinstrumenten används för att finna och mäta variation, fördelning och samband i det som undersöks (ibid.).

3.1.1 Ostrukturerad Intervju

Under en ostrukturerad intervju betonas den intervjuades egna tankar och åsikter (Denscombe, 2000). Intervjuaren har som huvuduppgift att introducera ett ämne eller tema för den intervjuade och därefter inneha en så objektiv och passiv roll som möjligt. Syftet är att skapa förutsättningar för den intervjuade att själv utveckla sina idéer och följa sina tankegångar. Under en ostrukturerad intervju är det fördelaktigt att låta den intervjuade använda sig av sina egna ord för att bättre upptäcka nyanser i komplexa frågeställningar.

Till skillnad från den strukturerade intervjun, som innebär stor kontroll över både frågorna och svarens utformning, inbjuder den ostrukturerade intervjun till mer djupgående undersökningar (ibid.).

3.1.2 Observation

En observation tar inte hänsyn till vad människor säger eller tänker att de gör, utan enbart till deras faktiska handlingar (Denscombe, 2000). Det finns två huvudtyper av observationer: systematisk observation och deltagande observation. Den systematiska observationen är vanligtvis förknippad med statistisk analys och kvantitativ data, medan den deltagande observationen oftast förknippas med kvalitativ data.

De två typerna av observation har gemensamt att de krävs ske i naturliga miljöer, vilket innebär att de situationer som observeras inte skall påverkas av att de studeras. Datan som framkommer ur de observerade situationerna färgas dock utifrån observatörens tolkning, och ur vilket perspektiv som datan sedan analyseras (ibid.).

3.2 Analys

I analysdelen presenteras DES, triangulering samt validitet och reliabilitet.

3.2.1 DES- Discrete-Event Simulation

Discrete-Event Simulation (DES) är en tidsdiskret uppbyggnad och modellering av virtuella miljöer som bygger på stokastiska variabler (Banks, 2005). En DES är således en icke-tidskontinuerlig simulering, där det simulerade systemet intar särskilda tillstånd vid varje, av systemet, given tidpunkt. Systemets tillstånd påverkar i sin tur det näskommande tillståndet (ibid.).

För att simulering skall vara en användbar metod för att analysera verkliga miljöer skall en rad underliggande faktorer vara uppfyllda. En DES kräver exempelvis finansiella resurser, kunskap och tid. Situationer där simulering inte är rekommenderad är då system är så komplexa att det inte kan definieras, eller då ett problem kan lösas analytiskt eller genom sunt förnuft. Finns inte goda ingångsdata, eller kan de inte tas fram inom tidsramen för projektet, bör en simulering heller inte genomföras (ibid.).

3.2.2 Triangulering

Triangulering har ett flertal olika definitioner, nedan presenteras Williamsons (2002) och Unaids (2010).

3.2.2.1 Williamsons definition av triangulering

Williamson definierar två huvudsakliga typer av triangulering: **metod-** och **källtriangulering**.

Metodtriangulering syftar till att säkerställa resultat genom att nå dem utifrån skilda datainsamlingsmetoder. Metoderna för datainsamling kan vara av både kvalitativ och kvantitativ karaktär. Varierande metoder kan exempelvis vara observationer eller olika typer av intervjuer.

Källtriangulering används för att säkerställa korrekta resultat genom att verifiera dem utifrån skilda källor. Källorna kan exempelvis härstamma från olika författare eller avvika från varandra vad gäller tidsperiod för publicering.

Fördelen med triangulering är att slutsatserna vinner trovärdighet om data inhämtats genom olika former av metoder och från mer än en källa. Forskaren kan också själv dra fördel av att använda sig av flera metoder, genom att använda sig av respektive metods fördelar (Williamson, 2002).

3.2.2.2 Unaids definition av triangulering

Unaids (2010) beskriver fyra typer av trianguleringsmetoder. De fyra typerna är **data-**, **metod-**, **forskar-** och **teoritriangulering**.

Datatriangulering innebär användandet av en mängd olika datakällor i en studie. En studie kan innefatta data från olika tid, rum och person.

Metodtriangulering innebär användandet av ett antal olika metoder i en studie.

Forskartriangulering innebär en form av triangulering där flera individer intervjuar, genomför observationer och analyserar data i en undersökning. Ett samarbete mellan flera forskare anses avsevärt förbättra trovärdigheten då de tillsammans kan bekräfta resultaten.

Teoritriangulering innebär användning av flera olika teorier vid undersökning av en given situation.

Triangulering har visat sig vara ett effektivt verktyg för att granska, bekräfta och kontrollera resultat i undersökningar och projekt. Anledningen är att triangulering ger möjlighet att jämföra resultat från olika källor, metoder, forskare och teorier (ibid.).

3.2.3 Validitet & Reliabilitet

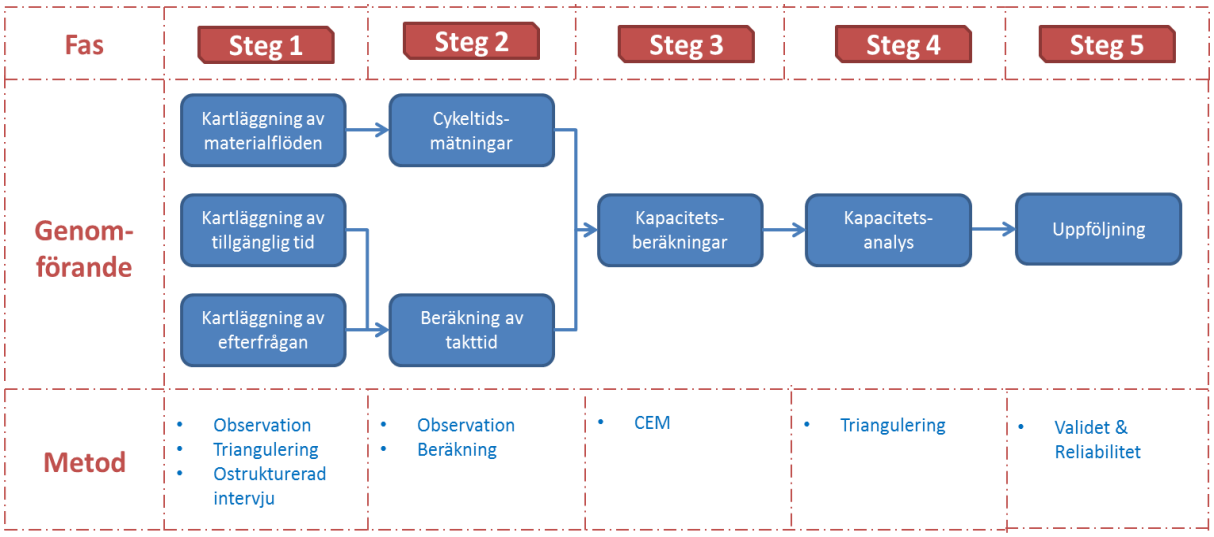
Validitet beskriver hur exakt ett mätinstrument mäter det som det avser att mäta (Gustafsson, 2013)

Reliabilitet härstammar från det engelska ordet reliable som betyder tillförlitlighet (Lanke, 2013). Reliabilitet innebär hur tillförlitlig en viss testmetod är. En undersökning med god reliabilitet skall uppvisa resultat som stämmer överens oberoende av mätsubjekt och antal mätningar. (ibid.)

Reliabilitet innebär en frånvaro av slumpmässiga mätfel medan validitet innebär en frånvaro av systematiska mätfel (ibid.).

4. GENOMFÖRANDE

Materialflödenas kapacitet har undersökts genom cykeltidsmätningar, vilka har analyserats i förhållande till respektive produktfamiljs takttid. Företagets takttid har beräknats utifrån kalenderåret 2013 prognostiserade efterfrågan och tillgängliga tid. Med ingående data har en flaskhalsanalys genomförts i syfte att finna den begränsade faktorn i varje flöde. Materialflödenas kapacitet har senare analyserats i syfte att visa på möjligheterna till en mer utjämnad belastning flödena sinsemellan. Insamling av data har bland annat genomförts med hjälp av företagets affärssystem, ostrukturerade intervjuer och direkt observation. Genomförandet är uppdelat i fem steg, där de metoder som använts i respektive steg finns presenterade nederst i figur 11.



Figur 11. Genomförandets struktur, aktivitetsordning och karta över de metoder som använts i respektive steg.

4.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden

I syfte att kartlägga produktionsavsnittets olika materialflöden har direkta observationer av materialflödena genomförts på plats i produktionsavsnittet. Tillsammans med produktionschefen har dessutom underlag över hur de olika produktionslinjerna försörjs av sina materialförsörjare tagits fram. Genom observationer i företagets affärssystem har produktfloran identifierats och strukturerats mellan de skilda materialflödena. Genom nyttjandet av flera olika metoder, forskare och källor har således metod-, forskar- och källtriangulering använts.

4.1.1 Produktfamiljindelning

Produktfamiljindelningen är parameterbaserad (Simpson et al., 2006) och bygger på en central varierande parameter som återfinns i samtliga produktvarianter. Parametern har efter ostrukturerade intervjuer med tekniker från produktionsavsnittet valts utifrån dess styrkraft över de separata processernas cykeltider. Genom direkt observation (cykeltidsmätningar) har den valda parametern också bekräftats som direkt signifikant. Produktfamiljindelningen har också påverkats av enskilda varianters tillverkningsvolymer, detta i syfte att åstadkomma tidsbesparingar. Produktvarianter av låg volym har slagits samman med liknande varianter av, i relation, avsevärt större volym.

4.2 Steg 1.2: Kartläggning av tillgänglig tid

Den tillgängliga tiden för kalenderår 2013 har kartlagts genom ostrukturerade intervjuer med produktionsavsnittets produktionschef samt genom observationer av företagets produktionskalender. I kartläggningen av den tillgängliga tiden har alla planerade stopp för kalenderår 2013 inkluderats. Både käll- och metodtriangulering har använts.

4.3 Steg 1.3: Kartläggning av efterfrågan

Efterfrågan utgår från företagets prognostiserade efterfrågan för kalenderår 2013. Produktfamiljindelningen har krävt att de enskilda produktvarianternas efterfrågan slagits samman i produktfamiljer. Datan har insamlats genom observation i, av företaget tillhandahållna, efterfrågeprognoser för 2013.

4.4 Steg 2.1: Cykeltidsmätningar

Cykeltidsmätning är en kvantitativ datainsamlingsmetod och har genomförts med hjälp av tidtagarur. Mätningarna har utförts genom observation av produktionsavsnittets samtliga ingående maskiner.

En stor mängd cykeltidsmätningar har genomförts och den resulterande datan har krävt strukturering. Det har därför utarbetats en cykeltidsmall för samtliga produktionslinjer och materialförsörjare. I cykeltidsmallen framgår vilka maskiner som ingår i de olika produktionslinjerna samt vilka materialförsörjare som försörjer respektive produktionslinje. I vissa fall har cykeltidsmätningarna varierats i sitt utförande[1].

För att analysera tillverkningskapaciteten i materialförsörjare och produktionslinjer har det vid mätning krävts att de undersökta processerna producerar vid maximal kapacitet. Buffertuppbyggnad före maskinerna har säkerställt detta. Arbetet med cykeltidsmätningarna har haft en tydlig praktisk prägel och utförts som en del av praktiken vilket ligger inom ramarna för, och definieras som, aktionsforskning.

---

[1] *I vissa fall har en hög cykeltidsvariation varit förekommande (Då menas främst produktionslinje B1 som kännetecknas av en hög andel manuellt arbete). I sådana fall har ett flertal mätningar genomförts och det beräknade medelvärdet av dessa istället använts.*

Tvättarnas cykeltider har inte kunnat direktobserveras, utan har istället räknats fram utifrån tvättarnas bandhastighet, längd och produktvarianternas varierande diametrar.

4.5 Steg 2.2: Beräkning av takttid

Takttiden är beräknad utifrån företagets tillgängliga tid och efterfrågenivåer för kalenderår 2013. Den beräknade takttiden har tillsammans med de uppmätta maskincykeltiderna legat till grund för genomförda kapacitetsberäkningar.

4.6 Steg 3: Kapacitetsberäkningar

För att beräkna produktionsavsnittets produktionskapacitet, hade en DES varit rådlig. På grund av data- och tidskrav har en sådan inte varit möjlig att genomföra. Istället har en analytisk metod tagits fram och använts. Det analysverktyg som använts för kapacitetsberäkningarna är CEM (Capacity Evaluation Method). CEM är en analytisk metod för att beräkna maskinkapacitet, där en framtagen takttid jämförs med enskilda maskiners cykeltider (mer om CEM i kapitel fem).

4.7 Steg 4: Kapacitetsanalys

Kapacitetsanalysen består av en subjektiv bedömning av produktionskapaciteten utifrån kända teorier och processkunskap inhämtad i steg ett och framåt. Processkunskaperna har inhämtats av två personer med hjälp av varierande metoder, både kvalitativa och kvantitativa. Genom de varierande datainsamlingsmetoderna och teorierna har kapacitetsanalysen kunnat belysas ur olika infallsvinklar. I kapacitetsanalysen har därmed data-, forskar och metodtriangulering använts, vilket ökar resultatens reliabilitet och validitet.

4.8 Steg 5: Uppföljning

I det femte steget har resultatens reliabilitet och validitet bedömts genom analys av och diskussion om tillförlitligheten i den insamlade datan och de använda metoderna. Uppföljningen återfinns i diskussionskapitlet.

5. CEM– CAPACITY EVALUATION METHOD

CEM är en analytisk metod, med utgångspunkt i kundefterfrågan och begränsningsteori (Theory of Constraints), som tagits fram i samband med rapporten. CEM används för att kartlägga och identifiera produktionsprocessers, nuvarande eller framtida, tillgängliga produktionskapacitet.

5.1 Varför CEM?

CEM kan användas då konventionella simuleringsmetoder inte kan appliceras. Orsaker till detta kan exempelvis vara bristfälliga data eller tidsbrist. Resultaten ur en CEM är av lägre detaljupplösning än de som kan fås ur en konventionell simuleringsmetod så som DES, men kräver inga eller få förkunskaper. CEM kräver inga specialutvecklade simuleringsprogram och är lätt att lära. CEM är konstruerat i Office-miljö och kan därför lätt hanteras av en majoritet användare.

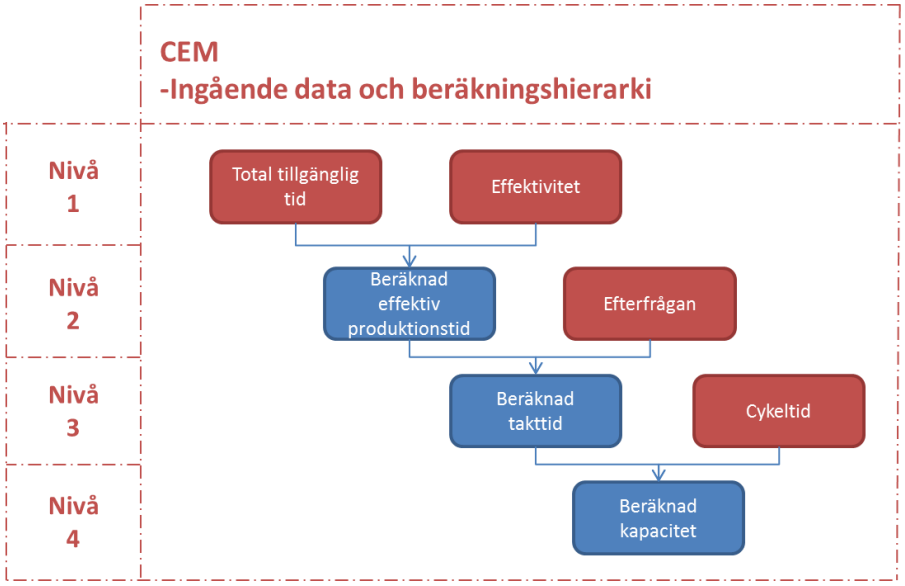
5.2 Utgångspunkter för CEM

CEM utgår från två centrala grundteser, takttid och begränsningsteori (*Theory of Constraints*). Takttid har sitt ursprung i Lean production och är en nedbrytning av kundefterfrågan till ett format som fungerar för jämförelser med maskinspecifika cykeltider. Genom att jämföra en cykeltid med en överliggande takttid, går det att avgöra huruvida en produktionsprocess når upp till de kapacitetskrav som ställs på den. Överskrider cykeltiden dess överliggande takttid klarar processen inte av att förse sina kunder i den produktionstakt som krävs. Genom att jämföra varje maskinspecifik cykeltid med sin överliggande takttid, går det på så sätt att avgöra huruvida en process besitter över- eller underkapacitet.

Den maskin som inom ett produktionsflöde är den begränsande faktorn vad avser förmågan att producera i den ställda efterfrågetakten är produktionsflödets flaskhals. I varje flöde finns en begränsande faktor, som därmed styr produktionsflödets förmåga att uppnå de kapacitetskrav som ställs. CEM möjliggör en jämförelse mellan samtliga ingående processer i syfte att identifiera varje produktionsflödes första, andra och tredje flaskhals.

5.3 Ingående data och beräkningshierarki

CEM kräver fyra datapunkter för att genomföra nödvändiga beräkningar. De fyra datapunkterna är: **Total tillgänglig tid**, **Effektivitet**, **Efterfrågan** samt **Cykeltid**. Beräkningshierarkin är indelad i fyra nivåer, vilka inkrementellt bygger på varandra. De fyra nivåerna benämns vidare **Nivå 1-4** (se figur 12). I följande kapitel förklaras stegen övergripande, se appendix för ett fullständigt beräkningsexempel.



Figur 12. Ingående data och beräkningshierarki för CEM.

5.3.1 CEM-beräkningar, nivå 1

Nivå 1 består av två ingångsdata, **Total tillgänglig tid** samt **Effektivitet**.

Total tillgänglig tid innebär all den tid under en given period då en undersökt produktionsprocess förväntas vara tillgänglig för drift.

Exempel: En arbetsdag är 8 timmar. Maskinerna står still 20 minuter om dagen för lunchrast. 30 minuter om dagen är dedikerade åt förebyggande underhåll. Detta ger 7 timmar och 10 minuter tillgänglig tid för produktion.

Effektivitet är ett nyckeltal mellan 0 - 100 %, och bestäms utifrån förväntad produktivitet. Med detta menas den genomsnittliga effektivitetsgrad som kan förväntas av produktionsprocess under en given tidsperiod. Effektiviteten är INTE maskinspecifik utan utgår från erfarenhet, kunnande och historiska data för ett helt produktionsflöde. Effektiviteten är alltså den tid vi förväntas klara av att producera fullvärdiga produkter i relation till den totalt tillgängliga tiden. Effektiviteten tar till hänsyn alla stopp i produktionsflödet oavsett orsak, inklusive omställningar (se formel 2).

$$Effektivitet = \frac{Effektiv\ produktionstid}{Total\ tillgänglig\ tid}$$

Formel 2. Effektiviteten är förhållandet mellan effektiv produktionstid och total tillgänglig tid.

5.3.2 CEM-beräkningar, nivå 2

Nivå två består av **Beräknad effektiv produktionstid** och **Efterfrågan.**

Beräknad effektiv produktionstid är resultatet av Nivå 1, där **Total tillgänglig tid** multiplicerats med **Effektivitet**. Beräkningsförloppet förtydligas i formel 3 nedan.

$$Effektiv\ produktionstid = \frac{Effektiv\ produktionstid\ \times \cancel{Total\ tillgänglig\ tid}}{\cancel{Total\ tillgänglig\ tid}}$$

Formel 3. Beskriver effektiv produktionstid.

Efterfrågan är den kvantitet som efterfrågas under en given tidsperiod. Väljer man att undersöka en specifik produktionslinje under ett år skall den totala efterfrågan i den produktionslinjen, under det året, identifieras och användas.

5.3.3 CEM-beräkningar, nivå 3

Nivå tre består av **Beräknad takttid** och **Cykeltid**.

Beräknad takttid fås genom att dividera **Beräknad effektiv produktionstid** med **Efterfrågan** (se formel 4). Takttiden är alltså den tid vilken en produktionsprocess har på sig att producera en enhet för att klara efterfrågan.

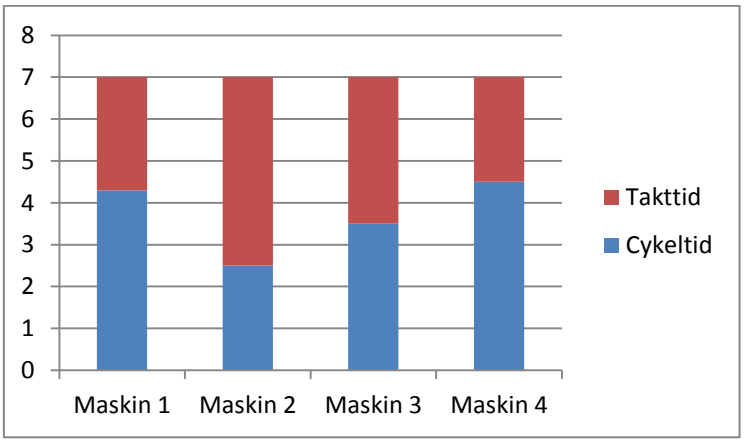
$$Takttid = \frac{Effektiv\ produktionstid}{Efterfrågan}$$

Formel 4. Beskriver takttid som förhållandet mellan effektiv produktionstid och efterfrågan.

Cykeltid är den tid som varje individuell process i ett produktionsflöde kräver för att producera en enhet. Tiden mäts vanligtvis från dess att en produkt påbörjats, tills dess att den är färdig och nästa produkt påbörjas igen. Cykeltiden är central för analysen. Uppskattade cykeltider är inte tillräckliga, utan krävs vara exakta.

5.3.4 CEM-beräkningar, nivå 4

Nivå fyra är den sista nivån i beräkningshierarkin och här sker en sammanställning av alla data för den slutliga analysen. I nivå fyra ställs takttid och cykeltid mot varandra och jämförs på maskinnivå. Det framgår i figur 13 att samtliga maskiner uppnår de kapacitetskrav som ställs på dem, då cykeltiden i varje maskin understiger respektive takttid. Flaskhalsen är Maskin 4, då dess cykeltid är längst av samtliga. Från datan som erhålls i nivå fyra går det även att erhålla information så som beläggningsgrad och överbliven/saknad produktionstid.



Figur 13. Visar resultatet av kapacitetsberäkningarna som utförs i nivå 4.

5.4 Analys av data

Efter genomförd sammanställning av ingående data och efterföljande beräkningar analyseras resultaten genom lämplig metod. CEM presenterar resultaten tydligt och överskådligt med alla centrala delar, samlade i ett dokument.

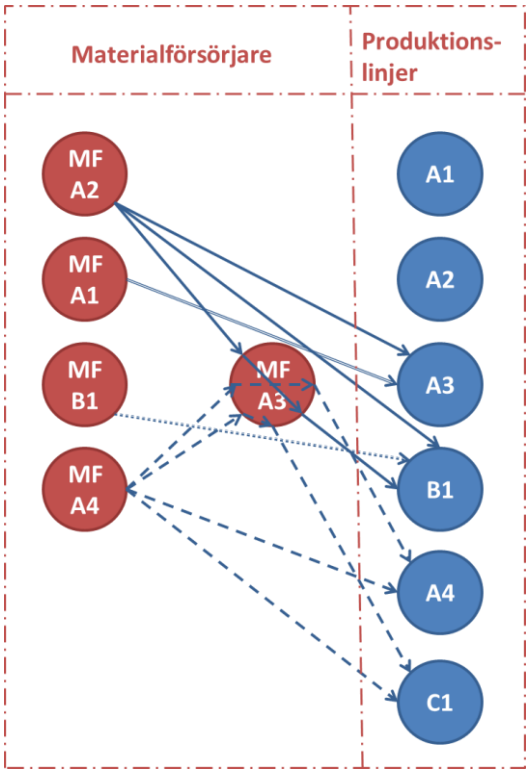
CEM tillåter att samtliga efterfrågenivåer i efterhand justeras med en multiplikator. På så sätt går det att simulera olika efterfrågenivåer. Multiplikatorn erbjuder således en möjlighet att avgöra om ett produktionsflöde klarar av en plötslig ökning i efterfrågan eller inte.

6. RESULTAT

6.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden

Produktionsavsnittet som undersökts består av sex stycken separata produktionslinjer och totalt elva interna materialflöden. Produktionslinjerna kallas fortsättningsvis för **A1, A2, A3, A4, B1** och **C1.** Ytterligare produktionslinjer ingår normalt i produktionsavsnittet men har genom projektets avgränsningar inte tagits med i rapporten. Utöver de produktionslinjer som nämnts ingår i produktionsavsnittet också fem stycken materialförsörjare, dessa benämns **MFA1, MFA2, MFA3, MFA4** och **MFB1.**

I figur 14 nedan syns en illustration över de olika produktionslinjer, materialförsörjare och ingående materialflöden som kännetecknar det undersökta produktionsavsnittet. Samtliga materialförsörjare är pressar av olika slag. Utöver de interna materialflöden som identifierats återfinns även flöden av legotillverkade komponenter som inte tas upp närmare i rapporten. Legoprodukterna har dock tagits hänsyn till vid kapacitetsberäkningarna då dessa upptar produktionskapacitet. Produktionens materialflödesstruktur identifieras som en uppsättning I-typer, då produktionen enbart är frånskiljande och formande (Jonsson & Matsson, 2005). Huvuddelen av produktionen bedöms också vara av parallellstruktur (ibid.).



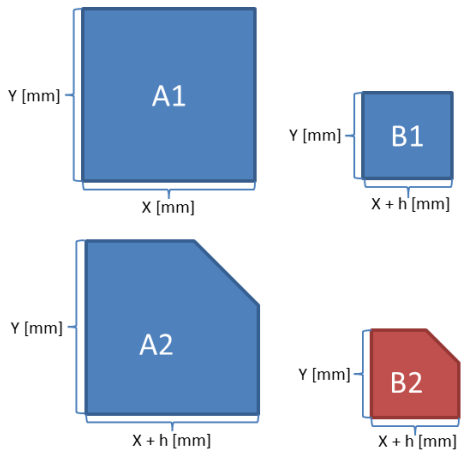
Figur 14. Illustration över det studerade produktionsavsnittets ingående processer och materialflöden.

6.1.1 Ingående material

Råmaterialet till de produkter som tillverkas i det undersökta produktionsavsnittet är uteslutande bandstål. Bandstålet har dock när det når produktionsavsnittet i många fall redan förbearbetats. I dagsläget levereras ingångsmaterialet i sex distinkta varianter till produktionsavsnittet. Efter genomförandet av en ostrukturerad intervju med en representant ur företagets avdelning för processutveckling har det framkommit att produkternas slutkvalitet och egenskaper inte påverkas av i vilken variant de når produktionsavsnittet. De olika varianterna kräver dock olika processteg, och begränsar förmågan att fritt flytta produkter mellan de olika produktionslinjerna. Anledningen till den höga variationsrikedomen uppges bero på en historiskt intermittent teknologiutveckling.

6.1.2 Produkter och varianter

Produktfamiljerna som produceras i produktionsavnittet är parameterbaserade (Simpson et al., 2006). Inom varje produktfamilj återfinns dock många mindre varianter som skiljer sig marginellt från varandra. En sådan produkt som endast skiljer sig lite från sin förlaga kallas vidare för sub-variant. Med detta menas att en produkt är närmast identisk sin förlaga med utrymme för vissa mindre skillnader. Med mindre skillnader menas exempelvis högre toleranskrav eller något skilda mått, vilket illustreras i figur 15. A2 är en sub-variant av A1, likaså är B2 en sub-variant av B1.



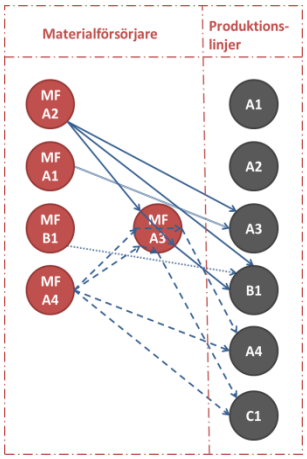
Figur 15. Varianter A1 och B1, med respektive sub-variant A2 och B2.

6.1.2.1 Koppling mellan ingående material och varianter

Det ingående materialet avgör inte om en produkt klassas som en variant eller ej. Anledningen till detta är att varje variant har en given processgång vilken förutsätter ett visst ingångsmaterial. I dagsläget finns det inga slutprodukter som har identiska egenskaper men som härstammar ur olika ingångsmaterial.

6.1.3 Beskrivning av Materialförsörjare, MFA1-MFB1

Samtliga materialförsörjare är pressar av olika typer med varierande förmåga att hantera skilda produktdimensioner. Materialförsörjarna förser produktionslinjerna med komponenter för bearbetning. Materialförsörjarna är i samtliga fall, utom MFA1 & MFA2, fysiskt åtskilda de produktionslinjer de huvudsakligen försörjer med material, och kräver därför mellanlagring. MFA1 & MFA2 är direkt kopplade genom conveyorsystem till de produktionslinjer de huvudsakligen försörjer. Conveyorsystemen kan förbikopplas och genom trucktransport och mellanlagring även försörja andra produktionslinjer. I dagsläget är det enbart produktionslinje B1 genom MFA2 som försörjs på detta sätt. Materialförsörjare MFA1, MFA2, MFA3 och MFB1 saknar helt produktionsuppföljningssystem. I vissa fall krävs det att ingångsmaterialet förbearbetas i två steg, i dessa fall sker det andra steget uteslutande i MFA3 (se figur 16).



Figur 16. Materialförsörjare MFA1-MFB1 och de produktionslinjer de försörjer.

6.1.4 Beskrivning av produktionslinjer A1-A4

Produktionslinjer A1, A2 och A3 är layoutmässigt nära identiska. Det som huvudsakligen skiljer dem åt är vilka produktdimensioner de kan hantera i dagsläget. De dimensioner som hanteras av respektive produktionslinje är:

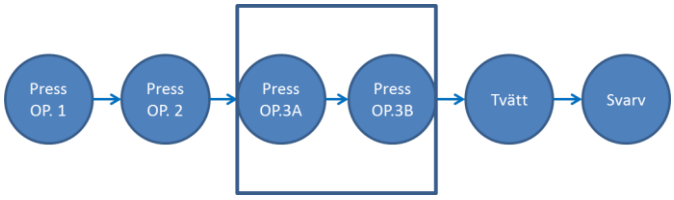
- **A1:** 100-200 [mm]
- **A2:** 150-300 [mm]
- **A3:** 150-300 [mm]
- **A4:** 240-400 [mm]

Produktionslinjer A1-A4 har samtliga interna processteg ihopkopplade med conveyorsystem.

6.1.4.1 Produktionslinjer A1-A2

Layouten för produktionslinjer A1 och A2, kan studeras i figur 18 nedan. Processen består av fyra pressoperationer innan produkten når en tvätt och till sist svarvas. Därefter transporteras produkterna i bingar vidare till efterbearbetning i ett annat produktionsavsnitt, som inte behandlas vidare i den här rapporten. Pressoperation 3A och 3B, är ihopkopplade, och klassas normalt som en enhet, men är uppdelad i två nedan av pedagogiska skäl. De betraktas normalt som en enhet av anledningen att de är sammanbyggda i en bullerbur med robothantering. Vid cykeltidsmätning ses därför pressoperation 3A och 3B som en enhet. Kvadraten i figur 18, som ramar in pressoperation 3A och 3B, representerar den ihopbyggnationen.

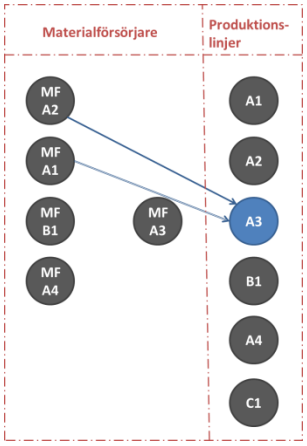
Figur 17. Produktionslinje A1-A2 och de materialflöden associerade till dem.



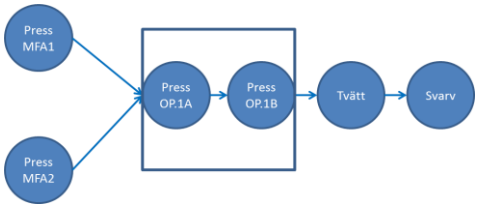
Figur 18. Ingående processer i produktionslinje A1-A2.

6.1.4.2 Produktionslinje A3

Produktionslinje A3 påminner layoutmässigt om A1 och A2, men har två materialförsörjare direkt kopplade till sig, varav layouten blir något annorlunda. Här är, av samma anledning som i produktionslinje A1-A2, två av pressoperationerna sammankopplade och klassas som en enhet, vilket kan ses i figur 20. Produktionslinjen är i dess början kopplad till två parallella materialförsörjare, MFA1 samt MFA2. Därefter följer två sammankopplade pressar, en tvätt och slutligen en svarv.



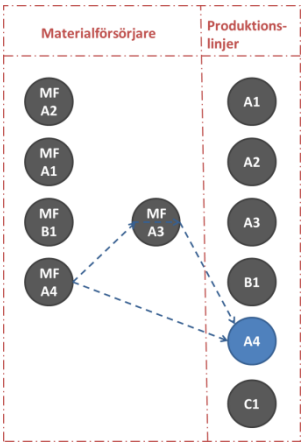
Figur 19. Produktionslinje A3 och de materialflöden associerade till den.



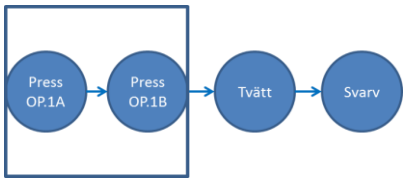
Figur 20. Produktionslinje A3 och de materialflöden associerade till den.

6.1.4.3 Produktionslinje A4

Produktionslinje A4 skiljer sig något från de övriga produktionslinjerna i samma kategori. Anledningen är att A4 är en relativt nybyggd produktionslinje, med högre kapacitet och något annorlunda fysisk layout än övriga produktionslinjer. Till skillnad från de andra produktionslinjerna i samma kategori, förses A4 också något annorlunda med material. I dagsläget förses A4 enbart med material som härstammar från MFA4, eller med legotillverkat material. Eftersom materialförsörjarna i detta fall inte är direkt kopplade till produktionslinjen syns dessa inte i figur 22. För en vidareutveckling av materialflödena se figur 21. A4 består av två sammankopplade pressar, en tvätt och slutligen en svarv.



Figur 21. Produktionslinje A4 och de materialflöden associerade till den.



Figur 22. Ingående processer i produktionslinje A4.

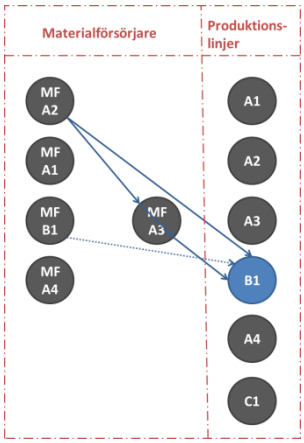
6.1.5 Beskrivning av produktionslinjer B1 & C1

Produktionslinjerna B1 och C1 skiljer sig från övriga linjer främst genom avsaknaden av conveyorsystem som identifierats hos samtliga av A-linjerna. B1 skiljer sig också genom att de produktfamiljer som den hanterar är av skild karaktär från övriga produktfamiljer i produktionsavsnittet.

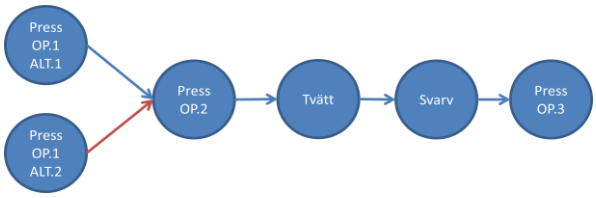
- **B1:** X-Y [mm]
- **C1:** 400-530 [mm]

6.1.5.1 Produktionslinje B1

B1 präglas av en hög andel manuellt arbete och avsaknad av automatiserad materialhantering. Pressarna är handmatade och mellan samtliga ingående maskiner i flödet hanteras materialet för hand i bingar. Dessutom varierar flödesgången beroende på produktvariant. Den röda respektive blå pilen representerar de olika vägar produkten kan ta i flödet (se figur 24). Flödet har i början två parallella pressar, vilka används olika beroende på vilket produktvariant som skall tillverkas. Därefter följer ytterligare en pressoperation innan produkterna når en tvätt. Senare följer en svarv och slutligen ytterligare en press. För produktionslinjen används inget produktionsuppföljningssystem.



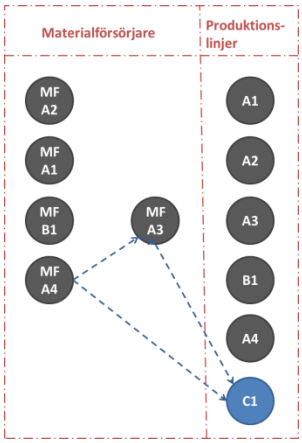
Figur 23. Produktionslinje B1 och de materialflöden associerade till den.



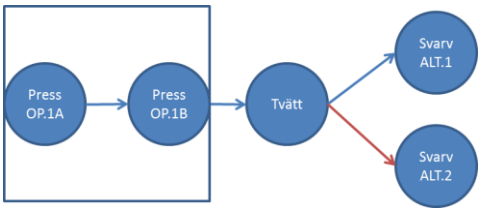
Figur 24. Förklaring över de ingående processerna i produktionslinje B1.

6.1.5.2 Produktionslinje C1

Produktionslinje C1, saknar likt B1 conveyorsystem och automatiserad materialhantering. Produkterna kan ta två olika vägar där produkterna kan köras i antingen en av två tillgängliga svarvar. Den ena av svarvarna har automatisk matning, men kräver manuell tömning. Den andra svarven både matas och töms manuellt. Två ihopkopplade pressar står först i produktionslinjen, och följs därefter av en tvätt samt två parallella svarvar (se figur 26).



Figur 25. Produktionslinje C1 och de materialflöden associerade till den.



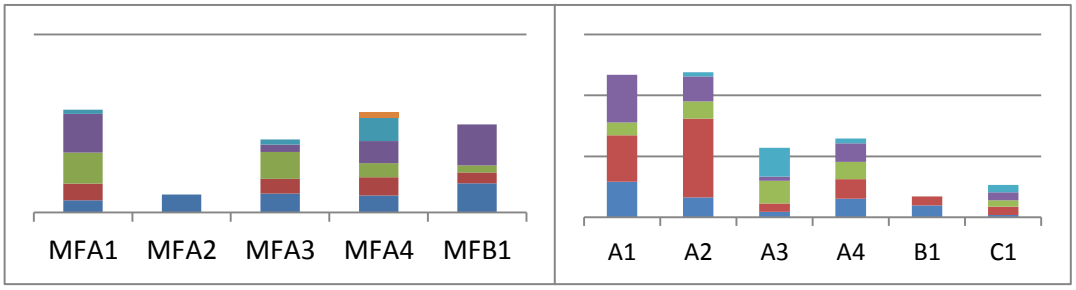
Figur 26. Förklaring över de ingående processerna i produktionslinje C1.

6.2 Steg 1.2: Kartläggning tillgänglig tid

Den tillgängliga tiden beror av mängden *helgdagar*, *skiftform* och andra *planerade produktionsstopp*.[2] Tillgänglig tid varierar således med vilken tidsperiod som undersöks. Den period som undersökts i detta fall är kalenderår 2013.

6.3 Steg 1.3: Kartläggning av efterfrågan

Nedan följer efterfrågenivåerna per materialförsörjare/produktionslinje (se figur 27). De exakta siffrorna anges inte av sekretesskäl. Varje stapel representerar efterfrågenivåerna i en särskild materialförsörjare eller produktionslinje. Staplarna är indelade i efterfrågenivåer per produktfamilj. Produktfamiljerna är unikt indelade per produktionslinje/materialförsörjare. Färgkodningen skall enbart tolkas individuellt per produktionslinje i syfte att urskilja produktfamiljernas inbördes skillnader i efterfrågenivåer.



Figur 27. Diagram över respektive materialförsörjares och produktionslinjes efterfrågenivåer.

6.4 Steg 2.1: Cykeltidsmätningar

Den kvantitativa data som har erhållits genom utförda cykeltidsmätningar har sorterats och strukturerats utifrån genomförda produktfamiljindelningar. Resultaten av de uppmätta cykeltiderna har använts för att beräkna en för varje produktfamilj gemensam cykeltid.

Vid de cykeltidsmätningar som utförts i produktionsavsnittet, har de uppmätta cykeltiderna jämförts med den i produktionsuppföljningssystemet inlagda cykeltiden. Det har visat sig att differensen mellan de båda cykeltiderna i vissa fall har varit så hög som 50 %. Datan presenteras ej av sekretesskäl.

6.5 Steg 2.2: Beräkning av takttid

Takttiden är beräknad på maskinnivå utifrån varje produktfamiljs tillgängliga tid och efterfrågan. Takttiden beräknas i CEM och resultaten presenteras av sekretesskäl inte ytterligare i detta avsnitt.

[2] *Helgdagar har ingen inplanerad produktion, heller inte klämdagar. Planerade produktionsstopp innefattar semester och planerat underhåll. Planerat underhåll sker löpande en dag i veckan, och semestern varar två veckor. Den tillgängliga tiden är inte uttryckt i timmar av sekretesskäl.*

6.6 Steg 3: Kapacitetsberäkningar

Följande avsnitt redogör för de resultat som framkommit ur kapacitetsberäkningarna och presenteras per materialförsörjare/produktionslinje. Exempel på hur beräkningarna gått till går att finna i Appendix. Beräkningarna är baserade på prognoser för efterfrågan och tillgänglig tid för kalenderår 2013.

6.6.1 Produktionslinje A1

Produktionskapaciteten understiger för kalenderår 2013 de efterfrågenivåer som prognosticerats. Svarven är begränsande, men även press OP.3A/B understiger nödvändig kapacitet. Produktionslinjen är överbelastad med ca 900 h produktion, som krävs fördelas över andra produktionslinjer. En åtgärd av processens flaskhals skulle frigöra ca 280 h produktionstid, men processen skulle fortfarande inte nå upp till de krav som ställs på den (se tabell 1).

Beräknad tillgänglig tid	-900	-624	219
Flaskhals	Svarv	Press OP.3A/B	Tvätt

Tabell 1. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A1.

6.6.2 Produktionslinje A2

I produktionslinje A2 fattas ca 1200 h produktionstid för att nå upp till de efterfrågenivåer som prognosticerats. En åtgärd av produktionslinjens första flaskhals skulle frigöra ca 364 h produktionstid, men produktionslinjen skulle trots det inte nå upp till de krav som ställs på den (se tabell 2).

Beräknad tillgänglig tid	-1198	-834	-720
Flaskhals	Svarv	Press OP.3A/B	Press OP.1

Tabell 2. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A2.

6.6.3 Produktionslinje A3

Den begränsande faktorn i produktionslinje A3 är Press OP.1A/B och saknar ca 90 h produktion för att nå de krav som ställs. Även svarvens produktionskapacitet understiger produktionskraven och det fattas ca 64 h produktion (se tabell 3).

Beräknad tillgänglig tid	-90	-64	871
Flaskhals	Press OP.1A/B	Svarv	Tvätt

Tabell 3. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A3.

6.6.4 Produktionslinje B1

Produktionslinje B1 håller en överkapacitet på ca 1500 h. Svarven är flaskhals, och åtgärd skulle maximalt frigöra ca 540 h produktionstid (se tabell 4).

Beräknad tillgänglig tid	1523	2063	2246
Flaskhals	Svarv	Press OP.3	Press OP.1A

Tabell 4. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje B1.

6.6.5 Produktionslinje A4

Produktionskapaciteten i produktionslinje A4 understiger den prognosticerade efterfrågan och det fattas ca 900 h produktionstid. Svarven är flaskhals och skulle den åtgärdas frigörs ca 1700 produktionstimmar. Vid en sådan åtgärd håller produktionslinjen därefter en överkapacitet på ca 800 h (se tabell 5).

Beräknad tillgänglig tid	-897	823	1769
Flaskhals	Svarv	Press OP.1A/B	Tvätt

Tabell 5. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje A4.

6.6.6 Produktionslinje C1

Produktionskapaciteten understiger efterfrågan med ca 1000 h. Åtgärdas svarven frigörs ca 1400 h för produktion. Efter en sådan åtgärd skulle produktionslinjen hålla en överkapacitet på ca 360 h (se tabell 6).

Beräknad tillgänglig tid	-1034	360	1013
Flaskhals	Svarv Alt.1	Press OP.1A/B	Tvätt

Tabell 6. Resultat av kapacitetsberäkningar för produktionslinje C1.

6.6.7 Materialförsörjare

Den beräknade produktionskapaciteten för samtliga materialförsörjare presenteras i tabell 7 nedan. MFA2 och MFA4 saknar båda produktionstid för att nå upp till de krav som ställs på processerna. Samtliga övriga håller överkapacitet.

	Beräknad tillgänglig tid
MFA1	2065
MFA2	-63
MFA3	1303
MFA4	-296
MFB1	2413

Tabell 7. Resultat av kapacitetsberäkningar för samtliga materialförsörjare.

6.7 Steg 4: Kapacitetsanalys

Följande avsnitt fokuserar på den kapacitetsanalys som genomförts. Avsnittet syftar till att redogöra för den uppsättning åtgärder som använts vid simuleringarna för att uppnå de kapacitetskrav som ställs på produktionsprocesserna.

6.7.1 Produktionslinje A1

Effektiviteten i Produktionslinje A1 har höjts med ca 10 %. Dessutom har två produktvarianter flyttats till produktionslinje A3. Resultatet av åtgärderna ses i tabell 8.

Beräknad tillgänglig tid	9	226	946
Flaskhals	Svarv	Press OP.3A/B	Tvätt

Tabell 8. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A1.

6.7.2 Produktionslinje A2

Effektiviteten i produktionslinje A2 har höjts med ca 15 %. Dessutom har sju produktvarianter flyttats till produktionslinje A4, och tre produktvarianter flyttats till produktionslinje A3. Resultatet av åtgärderna ses i tabell 9.

Beräknad tillgänglig tid	84	401	471
Flaskhals	Svarv	Press OP.3A/B	Press OP.1

Tabell 9. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A2.

6.7.3 Produktionslinje A3

Effektiviteten i produktionslinje A3 har höjts med ca 30 %. Dessutom har sju produktvarianter flyttats till produktionslinje A4. Resultatet av åtgärderna ses i tabell 10.

Beräknad tillgänglig tid	74	339	1636
Flaskhals	Svarv	Press OP.1A/B	Tvätt

Tabell 10. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A3.

6.7.4 Produktionslinje B1

Inga förändringar eller åtgärder har funnits nödvändiga för produktionslinje B1, varför dess produktionskapacitet stannar kvar på tidigare nivå. Resultatet ses i tabell 11.

Beräknad tillgänglig tid	1523	2063	2246
Flaskhals	Svarv	Press OP.3	Press OP.1A

Tabell 11. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje B1.

6.7.4 Produktionslinje A4

En svarv har adderats till produktionslinje A4. Resultatet av åtgärden ses i tabell 12.

Beräknad tillgänglig tid	89	293	1619
Flaskhals	Svarv	Press OP.1A/B	Tvätt

Tabell 12. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje A4.

6.7.5 Produktionslinje C1

En svarv har hadderats till produktionslinje C1. Resultatet av åtgärden ses i tabell 13.

Beräknad tillgänglig tid	281	360	1013
Flaskhals	Svarv	Press OP.1A/B	Tvätt

Tabell 13. Produktionskapacitet efter simulerade åtgärder i produktionslinje C1.

6.7.6 Materialförsörjare

Materialförsörjare MFA2 och MFA4 understiger de kapacitetskrav som ställs på dem. En ökning av effektiviteten har bedömts som orimlig, och därför har inga åtgärder simulerats. Istället kan MFA1 ta över försörjningen av de produktvarianter som förflyttats från produktionslinje A2 till A3. Kapacitetsbristen i MFA4 kan täckas av legotillverkning eller övertid.

7. STEG 5: UPPFÖLJNING & DISKUSSION

I följande avsnitt diskuteras de i genomförandet ingående stegen ett till fyra. Stegen behandlas utifrån de metoder som använts samt de framkomna resultatens validitet och reliabilitet. Andra faktorer som bedömts relevanta för respektive steg tas även upp för diskussion.

7.1 Steg 1.1: Kartläggning av materialflöden

Kartläggningen av produktionsavsnittets materialflöden har genomförts med hjälp av produktionsavsnittets personal och tekniker, affärssystem och genom direktobservation. De tre metodernas resultat har understött varandra och tillsammans använts för att ta fram en bild av materialflödena. Genom användandet av olika metoder, källor samt att resultaten verifierats individuellt har därför genom triangulering en hög säkerhet i datan fastställs (Unaids, 2010). Det råder därför inga tvivel om att en korrekt bild av materialflödena är den som speglas i resultatet. Avgränsningarna av det studerade produktionsavsnittet har inte avgjorts påverka de studerade materialflödena.

Det har framkommit att den höga variationen i ingångsmaterialen inte har någon teknisk nödvändighet, och bör kunna minskas.

- *Det är vår rekommendation att påbörja arbete med att minska variationsrikedomen av ingångsmaterial. Arbetet bör resultera i en förmåga att i högre grad standardisera produktionsprocesserna och öka produktionsflexibiliteten.*

Resultaten visar en hög grad av korsande materialflöden av I–typer (Jonsson & Matsson, 2005). Korsande materialflöden orsakar fler planeringspunkter än vad som annars vore nödvändigt. Den höga andelen planeringspunkter leder till större batcher och mellanlager, och resulterar dessutom i högre genomloppstider. Enligt Liker (2009) är detta slöseri och bör eftersträvas att undvikas. Stora batcher och mellanlager resulterar i höga kapitalbindningskostnader och produktionsojämnheter och är inte värdeadderande (ibid.). Dessutom möjliggör en reducering av antalet planeringspunkter att bättre producera enligt JIT (Hågeryd et al., 2005)

- *Räta ut materialflödena i den mån möjligt. Initialt krävs inte någon fysisk ombyggnation, som pga. ekonomiska restriktioner inte är möjlig. Istället rekommenderas ett arbete med att sänka antalet planeringspunkter och genom det konstruera teoretiskt rakare materialflöden.*

Produktionsavsnittet kännetecknas av en tydlig parallellstruktur (Jonsson & Matsson, 2005), som är förenlig med Lean production (Liker, 2009). Parallellstruktur medger högre produktionsflexibilitet till lägre risk, i förhållande till singelstruktur, något som passar väl in med företaget och dess omvärldssituation. Parallellstruktur medgör delvis utjämnad produktion och är vanligt benämnt som Heijunka (ibid.).

- *Det rekommenderas att företaget fortsätter arbeta i parallellstruktur, och att de bör fortsätta utveckla sina produktionslinjer i det konceptet.*

7.1.1 Produktfamiljindelning

En produktfamiljindelning genomfördes i syfte att möjliggöra att projektet kunde genomföras i tid. Antalet produktvarianter har varit för stort för att möjliggöra separat mätning av samtliga ingående produkter. Produktfamiljindelningen sänker dock säkerheten i slutresultatet och detaljupplösningen av resultaten sjunker till följd av detta. Produktfamiljindelningen är gjord utifrån en produktspecifik parameter som antagits påverka cykeltiderna i samtliga ingående processer.

Produktfamiljindelningen är en grov förenkling av verkligheten, och orsakar brister i resultatens tillförlitlighet. Parametern som använts är inte avgörande vid flertalet av processerna, utan påverkas i högre grad av andra parametrar. Produktfamiljindelningen har heller inte varit konsekvent vad avser att enbart ta till hänsyn den tidigare nämnda produktspecifika parametern. I de flesta fall har produktfamiljer slagits samman i större kluster, med tidskravet som anledning. Hur detta påverkar detaljupplösningen av resultaten är svårt att avgöra. Det kan till och med tänkas att sammanslagningen av produktfamiljer har haft en positiv påverkan på resultatens tillförlitlighet. Anledningen är att de i högre grad tar till hänsyn andra faktorer än den produktparameter som använts vid produktfamiljindelningen.

7.1.2 Produktionsuppföljningssytem

I dagsläget saknas det ett fungerande produktionsuppföljningssystem som mäter produktivitet och stopporsaker på ett tillfredsställande vis. Nuvarande mätetal utgår i många fall från felaktiga grunddata vilket i sin tur genererar felaktiga effektivitetssiffror. Exempelvis saknas det i dagsläget relevanta cykeltider för de produkter som produceras. Det anges i dagsläget inte när fel under skift inträffat, och angivelserna är inte tillräckligt detaljerade vad avser hur och i vilken maskin problemen uppstår. Datan är nödvändig för att styra sina produktionsprocesser och förbättringsåtgärder på ett fungerande och effektivt vis. Hade sådan data funnits tillgänglig, hade bland annat en DES kunnat genomföras för att bättre och mer trovärdigt beräkna produktionskapaciteten.

Materialförsörjare MFA1, MFA2, MFA3 och MFB1 saknar helt produktionsuppföljning, likaså produktionslinje B1. Effektivitetssiffror på dessa ingående maskiner bygger på personalens och teknikernas erfarenheter. Utifrån detta är det troligtvis svårt att upprätthålla en effektiv planering och beläggning av de olika produktionsflödena. För att tackla problemen som uppstår på grund av det bristfälliga produktionsuppföljningssystemet använder man sig sannolikt av stora buffertar och lager, något som ofta benämns ”Den Japanska Sjön” (Olsson, 2013).

- *Det är vår rekommendation att omarbeta nuvarande produktionsuppföljningssystem till att bli tydligare och mer detaljerat. Dessutom bör samtliga materialförsörjare och produktionslinjer innefattas av produktionsuppföljningssystemet.*

7.2 Steg 1.2-1.3: Kartläggning av tillgänglig tid och efterfrågan

Den tillgängliga tiden och efterfrågan är båda prognoser för kalenderår 2013, vilket innebär att den ingående datan kan komma att förändras under året. Prognoserna tar inte till hänsyn extraordinära händelser och efterfrågan förutsätts vara relativt konstant. Antagandena är nödvändiga, men möjliggör ifrågasättande av deras reliabilitet.

7.3 Steg 2.1-2.2: Cykeltidsmätningar och beräkning av takttid

Cykeltidsmätningar av en stor andel produkter har genomförts i syfte att kartlägga den produktionstid som tas i anspråk av respektive produktvariant. Mängden mätningar har på grund av projektets tidsramar begränsats till att inte inbegripa alla produkter, och resultaten har i de fall där mätningar inte varit möjliga, extrapolerats utifrån produkter med liknande egenskaper.

Mätningen av cykeltiderna har genomförts utifrån en standardiserad mall, i syfte att säkerställa god reliabilitet i resultaten. Vid mätningarna har ansvarig maskinoperatör ombetts låta maskinerna arbeta vid maxkapacitet. Vad maxkapacitet innebär, är dock svårdefinierat. En maskins maxkapacitet kan innebära dess teoretiskt maximala hastighet vid bearbetning av produkter. Den tiden är dock irrelevant vid prognostisering av reell produktionskapacitet, där många andra faktorer spelar in. Istället är det relevanta mätvärdet, den maximala produktionshastighet vid vilken processen fortfarande är stabil. Hastigheten har subjektivt avgjorts vid varje mättillfälle av de maskinoperatörer som arbetat med processen vid mättillfället, och inför i mätresultaten därför ett visst mått osäkerhet.

Cykeltiderna som uppmätts, och de cykeltider som används i företagets affärssystem för kostnadsberäkningar och produktionsplanering har observerats skilja sig från varandra. I vissa fall har en differens på upp till 50 % observerats. Sådan differens orsakar sannolikt stora planeringsproblem, där ordrar startar och slutar tidigare eller senare än planerat, vilket resulterar i onödigt stora mellanlager. I de flesta av de observerade cykeltiderna, överstiger de uppmätta cykeltiderna de angivna. Resultatet är att den planerade produktionen inte klarar av de produktionsmål som satts, vilket sannolikt kompenseras genom nyttjandet av övertid. Övertid är ett tecken på överbelastning av produktionssystemet, och är oönskat enligt Liker (2009).

- *Vi rekommenderar fortsatt arbete med att kartlägga samtliga produkters cykeltider. Korrekta cykeltider möjliggör ett effektivare produktionsplaneringssystem som kräver mindre mellanlager. De redogjorda effektivitetssiffrorna som används blir till följd av detta också mer rättvisande.*

Takttiden är beroende av uppmätta cykeltider, effektivitetsgrad, efterfrågan och samtliga övriga datapunkter. Beroendet av många parametrar innebär en aggregerad osäkerhetsgrad som är svårbestämd. Osäkerhetsgraden påverkar sannolikt slutresultatens reliabilitet negativt.

7.4 Steg 3: Kapacitetsberäkningar

De kapacitetsberäkningar som genomförts har hållit utgångspunkt i begränsningsteori och takttid, istället för klassiska metoder så som DES.

7.4.1 DES- Discrete-Event Simulation

DES är en simuleringsmetod i vilken stokastiska variabler används i syfte att simulera produktionsprocesser. Metoden har i detta fall bedömts oanvändbar, då den ställer höga krav på ingångsdata (Banks, 2005). Nödvändiga data som exempelvis pålitliga effektivitetstal på maskinnivå, inkluderat deras felbenägenhet och reparationstider, har inte funnits tillgängliga eller bedömts möjliga att ta fram under projektets tidsramar. En DES har däremot klara fördelar skulle den användas på rätt sätt. En DES kan simulera layoutförändringar och investeringsförslag snabbt och enkelt, och därigenom fungera som utvecklingsdrivare och beslutsunderlag vid investeringar.

- *Det rekommenderas att man påbörjar arbete med att ta fram en DES över ett pilotområde. Syftet är, utöver de självklara möjligheterna till simulering av layoutförändringar, att driva behovet av processkontroll och insikt i maskinernas förmågor och brister. Genom utvecklandet av DES skapas också en kunskapsbas som kan verka utvecklande i företagets framtida intressen.*

7.4.2 CEM- Capacity Evaluation Method

CEM är en metod framtagen specifikt för att prognostisera produktionskapacitet i fall där det saknas tillräckliga data för att ta fram detaljerade simuleringar. Metoden är häftad med ett antal problem, varav en del är direkt hänförliga till bristen på data, och de antaganden som varit nödvändiga för att kringgå den problematiken. En ytterligare brist med metoden är att den inte är testad och validerad. Metod- och forskartriangulering har dock använts vid framtagandet av metoden, vilket säkerställer dess pålitlighet till viss grad (Unaids, 2010).

7.4.2.1 Effektivitetens giltighet som ingångsdata

Effektiviteten som används i CEM är en uppskattad storhet, baserad på erfarenhet och uppskattningar av personal och tekniker. Den är därför inte exakt, och det är svårt att avgöra huruvida de effektivitetssiffror som använts är korrekta eller felaktiga. Siffrorna har dock bedömts vara inom ett rimligt område, då de används och har använts historiskt för existerande produktionsplanering. Detaljupplösningen försämras dock avsevärt gentemot om siffrorna hade varit exakta och beräknade utifrån produktionshistorik.

Eftersom effektiviteten är beräknad på produktionslinjenivå, och avser de timmar då fullvärdig produktion är förväntad, görs ett direkt antagande som påtagligt påverkar resultatens tillförlitlighet. Antagandet är att samtliga iakttagna produktionslinjer är kontinuerliga enstycksflöden, som stannar så snart en ingående process står still. Processernas uptime antas därför vara identiska. Detta är en grov förenkling av verkligheten och mycket svår att avgöra huruvida den är möjlig att använda sig av. Metoden tar därför inte till hänsyn vilken process i varje produktionsflöde som orsakar de största effektivitetsbristerna.

En i resultatet identifierad flaskhals är därför inte nödvändigt processens egentliga flaskhals, som orsakar produktionslinjen att stå still. Istället identifieras i metoden flaskhalsarna enbart utifrån använd kontra tillgänglig tid.

Är det så att samtliga ingående processer är statistiskt likvärdiga vad avser deras åverkan av effektiviteten är metoden och antagandena sannolikt fungerande, men detta har inte kunnat undersökas. Ju högre variation det är mellan varje ingående process OEE-tal minskar sannolikheten att CEM är en adekvat beräkningsmetod. Metoden pekar alltså inte på vilken process som kräver uppmärksamhet vad avser låg effektivitet, utan enbart på vilken process där det vore lämpligt att sänka cykeltiderna. För att kunna identifiera de sanna flaskhalsarna krävs istället mer detaljerad ingångsdata.

- *I syfte att kartlägga produktionens sanna flaskhalsar rekommenderas vidare arbete med att ta fram mer detaljerade data och effektivitetstal.*

7.5 Steg 4: Kapacitetsanalys

Kapacitetsanalysen har hållit utgångspunkt i de resultat som framkommit ur kapacitetsberäkningarna. Det har framkommit att ett antal produktionslinjer inte klarar av de kapacitetskrav som ställs på dem, varför ett antal åtgärder föreslagits i resultatsavsnittets kapacitetsanalys. Åtgärderna innefattar förslag om förflyttning av produktvarianter till andra produktionslinjer, effektivitetsökningar och två investeringar i nya svarvar. Förslagen utgör tillsammans ett helhetsförslag, och det är möjligt att nå samma förbättringar genom andra åtgärder. Genom att tillämpa en utjämning mellan produktionsflödena kan slöserier så som överbelastning och lager minskas (Liker, 2009). Förhoppningen är att överbelastning skall undvikas och att lager skall minskas vid de åtgärder som föreslås, dock talar andra teorier emot detta. Jonsson & Mattson (2005) visar att genomloppstiden stiger med beläggningsgraden och att en beläggningsgrad kring 80 % är lämplig. De förslag som presenterats resulterar i en beläggningsgrad långt över 90 % och kan således resultera i en ökad genomloppstid. Ökad genomloppstid resulterar i högre kapitalbindningkostnader och är därför inte rådligt.

De effektivitetsökningar som föreslås ligger mellan 10 - 30 %. Det är vår bedömning att en sådan ökning av effektivitet bör kunna uppnås, men det kommer sannolikt kräva ett fokuserat och dedikerat arbete. Det är enligt Stamatis (2010) sex stycken delar som främst påverkar effektiviteten: haverier, inställningar/justeringar, tomgång/stopp, reducerad hastighet, skrot och uppstart. För att sänka omställningstiderna bör SMED tillämpas (Hågeryd et al., 2005).

- *Det är vår rekommendation att ett arbete med effektivitetsförbättringar inom produktionsavsnittet påbörjas. Ett sådant arbete kan komma att fokusera på haverier, inställningar/justeringar, tomgång/stopp, reducerad hastighet, skrot och omstart. I arbetet är det främst omställningar och haverier som rekommenderas att arbeta med.*

Den produktionskapacitet som framkommit utifrån kapacitetsanalysen ligger kring nollstrecket vad avser tillgänglig kontra använd kapacitet. Då osäkerheten i datan även är relativt hög stämmer möjligtvis inte kapacitetsanalysen överens med verkligheten. Detaljupplösningen bedöms subjektivt ligga mellan + / - 100 h, varför föreslagna förändringar inte nödvändigtvis är tillräckliga för att uppnå de kapacitetskrav som ställs på processerna. De kapacitetskrav som ställs på produktionsavsnittet ses därför inte möjliga att nå under kalenderår 2013. I ett långsiktigt perspektiv anses däremot kapacitetskraven vara möjliga att uppnå.

- *Det rekommenderas investering i två nya svarvar till kanal A4 och C1. Rekommendationen grundar sig i att en sådan investering kan ge stora kapacitetsökningar. Kapacitetsökningen i produktionslinje A1 och A4 kan komma till användning för att ta in nya affärer eller ta över produktion från andra produktionslinjer som är överbelastade.*

8. SLUTSATSER & REKOMMENDATIONER

Det är vår slutsats att de kapacitetsökningar som önskas av företaget för kalenderår 2013 i det undersökta produktionsavsnittet, sannolikt inte är möjliga att uppnå. För att klara av de kapacitetskrav som ställs krävs kraftiga insatser för att uppnå högre effektivitet, en omfördelning av produkter mellan produktionslinjerna och nyinvestering i två svarvar. För att klara av kapacitetskraven under en längre tidshorisont krävs ett antal åtgärder vilka presenteras nedan. Rekommendationerna är uppdelade i tre områden: **Processutveckling**, **Produktionsuppföljning** och **Investeringar**.

Processutveckling

- *Minska variationsrikedomen i ingångsmaterial.*
- *Reducera antalet planeringspunkter.*
- *Fortsätt arbeta i parallellstrukturer.*
- *Ta fram en DES-modell över ett pilotområde.*
- *Påbörja effektivitetsförbättringar inom produktionsavsnittet.*

Produktionsuppföljning

- *Ta fram mer detaljerade data och effektivitetstal för processerna för att hitta produktionens sanna flaskhalsar.*
- *Omarbeta nuvarande produktionsuppföljningssystem och inkludera samtliga materialförsörjare och produktionslinjer.*
- *Kartlägg samtliga produkters cykeltider.*

Investeringar

- *Investera i två nya svarvar i produktionslinje A4 & C1.*

9. KÄLLFÖRTECKNING

Banks, J. et al. (2005) *DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION,* Fjärde upplagan. Upper Saddle River: Pearson Education International.

Denscombe, M. (2000) *Forskningshandboken,* Lund, Studentlitteratur.

Eriksson, B. E. (2013a) Kvalitativ Metod. I *Nationalencyklopedin.* http://www.ne.se/lang/kvalitativ-metod. (2013-03-19)

Eriksson, B. E. (2013b) Kvantitativ Metod. I *Nationalencyklopedin.* http://www.ne.se/lang/kvantitativ-metod. (2013-03-19)

Gustafsson, J-E. (2013) Validitet. I *Nationalencyklopedin.* http://www.ne.se/lang/validitet/338295. (2013-04-02).

Hågeryd, L. et al. (2005) *Modern Produktionsteknik Del 2*, Stockholm, Liber

Jonsson, P. Mattsson, S-A.(2005) *Logistik- Läran om effektiva materialflöden*, Andra upplagan. Lund, Studentlitteratur

Lanke, J. (2013) Reliabilitet. I *Nationalencyklopedin.* http://www.ne.se/lang/reliabilitet/292172. (2013-04-02).

Levinson. W. A. (2007) *Beyond the Theory of Constraints: How to Eliminate Variation and Maximize Capacity.* Productivity Press.

Liker, K. (2009) The Toyota Way, Malmö, Liber

Liker, K. Meier, D. (2006) The Toyota Way- Fieldbook, New York, McGraw-Hill

Olsson, Peter (2013), *Strategier & Principer TEK400,* föreläsning, Chalmers Tekniska Högskola, (2013-01-20)

Rahman. S. (2007) *Theory of constraints- A review of the philosophy and its applications.* MCB University Press.

Rother, M. Shook, J. (2004) *Lära sig se - Att kartlägga och förbättra värdeflöden för att skapa mervärden och eliminera slöseri*, Stockholm, Plan Utbildning

Simpson, Et al. (2006) *Product Platform and Product Family Design: Methods and Applications*. http://common.books24x7.com.proxy.lib.chalmers.se/toc.aspx?bookid=16283 (2013-04-04)

Stamatis, D.H. (2010) *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness*, Reliability and Maintainability. Auerbach Publications

UNAIDS (2010) *AN INTRODUCTION TO TRIANGULATION.* http://www.unaids.org/en/media/unaids/contentassets/documents/document/2010/10_4-Intro-to-triangulation-MEF.pdf (28-03-2013).

Williamson, K. (2002) *Research methods for students, academics and professionals.* Andra upplagan. Wagga Wagga: Centre for Information Studies.

APPENDIX 1

CEM- MANUAL

Kapacitetsberäkningarna har genomförts med CEM. Siffrorna som använts nedan är syntetiska av sekretesskäl. Tabellen består i detta fall, då den representerar produktionslinje A1, av nio kolumner: **Produktfamilj**, **Efterfrågan, Efterfrågan beräknad, Multiplikator** och **Maskinspecifika kolumner** (se tabell 1).

Produktfamilj	Efterfrågan	Efterfrågan Beräknad	Multiplikator		Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
19-20	500000	500000	100%	Mct	0.12333	0.17	0.1	0.3	0.4
21-22	200000	200000	100%	Mct	0.12333	0.12	0.3	0.3	0.4
24-25	10000	10000	100%	Mct	0.12333	0.17	0.3512	0.3	0.3
26	400000	400000	100%	Mct	0.12333	0.3	0.3512	0.3	0.4
Total tillgänglig tid		440000		Tct	0.5535374	0.4126	0.296016	0.338	0.218
				Tct	1.1988485	0.7265	0.316016	0.395	-0.055
				Tct	21.6337	12.3	10.152	2.2	-8.8
Effektivitet		80%		Tct	0.66108925	0.60325	0.59622	0.3475	0.1725
Beräknad effektiv produktionstid		352000		Tct-Mct	0.4302074	0.2426	0.196016	0.038	-0.182
				Tct-Mct	1.0755185	0.6065	0.016016	0.095	-0.455
				Tct-Mct	21.51037	12.13	9.8008	1.9	-9.1
				Tct-Mct	0.53775925	0.30325	0.24502	0.0475	-0.2275
				Tpt	136896.3	230700	253992	333000	443000
				Btt-Tpt	215103.7	121300	98008	19000	-91000
				TT	-1517	316	1633		
				Flaskhals:	Svarv	Tvätt	Press OP.3A/B		

Tabell 1. En översikt av kapacitetsberäkningsverktyget CEM.

Produktfamiljkolumnen

Produktfamiljkolumnen innehåller samtliga ingående produktfamiljer. I samma kolumn definieras också: *Total tillgänglig tid*, *Effektivitet* samt *Beräknad effektiv produktionstid* (se tabell 2).

Total tillgänglig tid		440000
Effektivitet		80%
Beräknad effektiv produktionstid		352000

Tabell 2. Ingående delar i Beräknad effektiv produktionstid.

- *Total tillgänglig tid* är den tid under året då produktionslinjen är planerad att vara bemannad och under drift, i detta fall är den 440000 minuter.
- *Effektivitet* är den prognostiserade effektiviteten för produktionslinjen under året, i detta fall är den 80%.
- *Beräknad effektiv produktionstid* är den tillgängliga tiden multiplicerad med effektiviteten. Här är den 352.000 minuter.

Kolumn Efterfrågan, Efterfrågan beräknad och Multiplikator.

I denna del förklaras de båda efterfrågekolumnerna samt multiplikatorkolumnen. Efterfrågan är den efterfrågan som prognosticerats för den undersökta tidsperioden (se tabell 3).

Efterfrågan för respektive produktgrupp syns i tabellen nedan.

Produktfamilj	Efterfrågan
19-20	500000
21-22	200000
24-25	10000
26	400000

Tabell 3. Efterfrågan för varje produktfamilj.

Efterfrågan beräknad är *Efterfrågan* multiplicerad med *Multiplikatorn* i nästkommande kolumn, det är *Efterfrågan beräknad* som används i alla efterföljande beräkningar. I tabell 4 nedan har multiplikatorn 100% använts och därför står siffrorna oförändrade.

Efterfrågan beräknad	Multiplikator
500000	100%
200000	100%
10000	100%
400000	100%

Tabell 4. Efterfrågan multiplicerad med en multiplikator.

Multiplikatorn används till att justera efterfrågenivåerna. Detta möjliggör enkel simulering av varierande efterfrågenivåer. Som nämnts i föregående stycke är multiplikatorn i detta fall 100 % (se tabell 4).

Maskinspecifika kolumner

De maskinspecifika kolumnerna innefattar fem kolumner som redogör för respektive ingående maskins egenskaper. En maskinkolumn är uppdelad i sju stycken radområden: *Medelcykeltid (Mct), Takttid (Tt), Takttid – Medelcykeltid (Tt-Mct), Totalt producerande tid (Tpt), Beräknad effektiv produktionstid – Totalt producerande tid (Bep-Tpt*), *Beräknad tillgänglig tid(Btt)* och *flaskhals.* (se tabell 5).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Mct	0.12333	0.17	0.1	0.3	0.4
Mct	0.12333	0.12	0.3	0.3	0.4
Mct	0.12333	0.17	0.3512	0.3	0.3
Mct	0.12333	0.3	0.3512	0.3	0.4
Tt	0.5535374	0.4126	0.296016	0.338	0.218
Tt	1.1988485	0.7265	0.316016	0.395	-0.055
Tt	21.6337	12.3	10.152	2.2	-8.8
Tt	0.66108925	0.60325	0.59622	0.3475	0.1725
Tt-Mct	0.4302074	0.2426	0.196016	0.038	-0.182
Tt-Mct	1.0755185	0.6065	0.016016	0.095	-0.455
Tt-Mct	21.51037	12.13	9.8008	1.9	-9.1
Tt-Mct	0.53775925	0.30325	0.24502	0.0475	-0.2275
Tpt	136896.3	230700	253992	333000	443000
Bep-Tpt	215103.7	121300	98008	19000	-91000
Btt	-1517	316	1633		
Flaskhals	Svarv	Tvätt	Press OP.3A/B		

Tabell 5. Maskinspecifika kolumner i CEM.

- **Mct** är den beräknade M*edelcykeltiden* för respektive produktfamilj. Då varje ingående produkt har en varierande cykeltid, även inom respektive produktfamilj, måste medelvärdet användas. Cykeltiden anges i minuter (se tabell 6).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Mct	0.12333	0.17	0.1	0.3	0.4
Mct	0.12333	0.12	0.3	0.3	0.4
Mct	0.12333	0.17	0.3512	0.3	0.3
Mct	0.12333	0.3	0.3512	0.3	0.4

Tabell 6. Tabell över varje maskins medelcykeltider.

- **Tt** är *Takttiden*, och är beräknad utifrån *Efterfrågan beräknad* och *Beräknad effektiv produktionstid*. Takttiden är den tid som produkten har på sig att produceras för att tillgodose kundbehovet. Den tar till hänsyn samtliga övriga produkters efterfrågan och cykeltider (se tabell 7).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Tt	0.5535374	0.4126	0.296016	0.338	0.218
Tt	1.1988485	0.7265	0.316016	0.395	-0.055
Tt	21.6337	12.3	10.152	2.2	-8.8
Tt	0.66108925	0.60325	0.59622	0.3475	0.1725

Tabell 7. Tabell över takttiden för respektive produktfamilj på maskinnivå.

- **Tt-Mct** är *Takttiden* subtraherad med *Medelcykeltiden* (se tabell 8).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Tt-Mct	0.4302074	0.2426	0.196016	0.038	-0.182
Tt-Mct	1.0755185	0.6065	0.016016	0.095	-0.455
Tt-Mct	21.51037	12.13	9.8008	1.9	-9.1
Tt-Mct	0.53775925	0.30325	0.24502	0.0475	-0.2275

Tabell 8. Tabell över skillnaden mellan Takttid och medelcykeltid för respektive produktfamilj på maskinnivå.

- **Tpt** är den *Totalt producerande tiden* och är samtliga produktfamiljers medelcykeltider, multiplicerade med respektive efterfrågan (se tabell 9).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Tpt	136896.3	230700	253992	333000	443000

Tabell 9. Tabell över den totalt producerande tiden på maskinnivå.

- **Bep-Tpt** är den *Beräknade effektiva produktionstiden* subtraherad med den *Totalt producerande tiden* (se tabell 10).

	Press OP.1	Press OP.2	Press OP.3A/B	Tvätt	Svarv
Bep-Tpt	215103.7	121300	98008	19000	-91000

Tabell 10. Tabell över skillnaden mellan Beräknad effektiv produktionstid och Totalt producerande tid på maskinnivå.

- **Btt** är den *Beräknade tillgängliga tiden* och är den lägst tillgängliga tiden hos samtliga ingående maskiner i produktionslinjen. Det är alltså den tid som flaskhalsen i produktionslinjen har tillgänglig eller saknar för att inte längre vara begränsande. I det fall som använts, saknas alltså 1517 h produktion för att nå de efterfrågenivåer som satts, och det är svarven som är begränsande (se tabell 11). Om den första flaskhalsen skulle åtgärdats hade 1833 h produktion frigjorts, och tvätten hade blivit den nästkommande flaskhalsen.

Btt	-1517	316	1633
Flaskhals:	Svarv	Tvätt	Press OP.3A/B

Tabell 11. Tabell över den Beräknade tillgängliga tiden.