

Kartläggning och reducering av ledtider på Scania Motortillverkning

Mapping and reduction of lead times at Scania Engine Production

Examensarbete utfört vid
Institutionen för produktionsekonomi,
Linköpings tekniska högskola
och vid Scania CV AB

av

Viktoria Fresk

och

Fredrik Gunnstam

LITH-IPE-EX--04/696--SE

Handledare

Jan Olhager - IPE
Fredrik Rydahl - Scania CV AB



Avdelning, Institution
Division, Department
Institutionen för produktionsekonomi (IPE)
Tekniska högskolan
581 83 Linköping

Datum
Date
2004-01-29

Språk
Language

- Svenska/Swedish
 Engelska/English

Rapporttyp
Report Category

- Licentiatavhandling
 Examensarbete
 C-uppsats
 D-uppsats
 Övrig rapport

ISBN

ISRN
LITH-IPE-EX--04/696--SE

Serietitel och serienummer **ISSN**
Title of series, numbering

URL för elektronisk version

URL for electronic version
<http://www.ep.liu.se/exjobb/ipe/2004/pek/696/>

Titel

Title
Kartläggning och reduktion av ledtider på Scania Motortillverkning
Mapping and reduction of lead times at Scania Engine Production

Författare

Author
Viktoria Fresk och Fredrik Gunnstam

Sammanfattning

Abstract

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för produktionsekonomi på Linköpings tekniska högskola, för Scania Motortillverkning i Södertälje. Syftet med arbetet är att kartlägga ledtider i motortillverkningens produktion och att ta fram förbättringsförslag och arbetsmetoder för ledtidsreduktion. Av Scania Motortillverkningens totalt 13 flöden valdes fyra att studeras. De fyra flödena har olika karakteristiska och representerar i viss mån samtliga produktionsflöden.

Slutsatserna i detta arbete bygger på en omfattande kartläggning, vilken innefattar ledtider och operationstider men även hur förflyttning av material sker och hur buffertar byggs upp. Kartläggningen har sedan analyserats genom att ledtider för varje artikel jämförts med hur mycket värdeadderade tid som utförts. På detta sätt synliggörs kö- och väntetider i flödet och dess nödvändighet och funktion kan ifrågasättas.

De mest begränsande faktorerna för ledtiden på de studerade flödena är att produktion sker i stora batcher och att två av flödena har en ojämn produktionstakt.

Strävan har varit att ta fram förbättringsförslag som inte innebär stora investeringar och därför kan genomföras relativt omgående. Det har varit möjligt till viss del, framförallt för det mest komplexa produktionsflödet där slutsatsen bland annat är att det går att producera mer flexibelt. I andra fall har analysen visat att vissa investeringar måste göras för att en märkbar ledtidsreduktion ska ske. Dessa förändringar betyder mestadels att kapaciteten måste höjas för någon del av flödet.

För att arbeta kontinuerligt med ledtider rekommenderas följande arbetsmetoder för Scania Motortillverkning:

- Utmana Kanbansystemet där det finns möjlighet genom att reducera antalet Kanban.
- Nästa steg i Scantias arbete med Scantias Produktions System bör vara reduktion av ställtider.
- Använd det interna datasystemet PUS för att följa upp ställtider.
- Använd den identitetsmärkning som varje artikel har till att följa upp ledtider för de mer komplexa flödena.

Nyckelord

Keyword

Ledtid, Värdeadderande tid, Kartläggning, Flexibilitet, Kanban, Cyklisk planering.

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för produktionsekonomi på Linköpings tekniska högskola för Scania Motortillverkning i Södertälje. Examensarbetet omfattar 20 veckors arbete och är det avslutande momentet i vår civilingenjörsutbildning i Maskinteknik. Denna rapport finns i två versioner, en officiell och en enbart för Scania. Skillnaden är att den officiella upplagan inte innehåller några bilagor.

Examensarbetet har inneburit att vi har studerat Scantias bearbetning av motorer under hösten 2003. Det har varit en spännande och mycket givande tid, framförallt för att det har givit oss praktisk erfarenhet i de teoretiska ämnen vi studerat.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Fredrik Rydahl, planeringschef på Scania Motortillverkning, som har hållit i regelbundna avstämningar och givande diskussioner under arbetets gång. Tack även till Gabriel Chukri, vårt stöd och vår inspiratör under inledningsfasen innan han gick vidare till nya arbetsuppgifter. Vidare vill vi tacka produktionstekniker och produktionsledare för hjälp och synpunkter genom daglig kontakt, samt de operatörer som tålmodigt svarat på våra frågor. Under hösten har vi också besökt Volvo Lastvagnar i Skövde och SAAB Automobile i Södertälje. Där har vi fått ta del av deras produktion och blivit mycket gästvänligt mottagna.

Slutligen vill vi tacka professor Jan Olhager, vår handledare vid Institutionen för produktionsekonomi som tagit sig tid att diskutera våra idéer och bidragit med värdefull kunskap.

Med förhoppningen att Scania ska ha stor användning av detta examensarbete i deras fortsatta arbete med ledtidsreducering.

Södertälje januari 2004

Viktoria Fresk

Fredrik Gunnstam

SAMMANFATTNING

Detta examensarbete är utfört vid Institutionen för produktionsekonomi på Linköpings tekniska högskola, för Scania Motortillverkning i Södertälje. Syftet med arbetet är att kartlägga ledtider i motortillverkningens produktion och att ta fram förbättringsförslag och arbetsmetoder för ledtidsreducering.

Scania Motortillverkning styr sin produktion enligt pull-principen och Kanban är implementerat på de flesta produktionsflöden. Det finns 13 produktionsflöden och av dessa valdes fyra att studeras i detta examensarbete. Dessa är vevaxel-, kamaxel-, cylinderhuvud- och motorblockflödet. De fyra flödena har olika karakteristik och representerar i viss mån samtliga 13 produktionsflöden.

Slutsatserna i detta arbete bygger på en omfattande kartläggning, vilken innefattar ledtider och operationstider men även hur förflyttning av material sker och hur buffertar byggs upp. Kartläggningen har sedan analyserats genom att ledtider för varje artikel jämförs med hur mycket värdeadderade tid som utförts. På detta sätt synliggörs kö- och väntetider i flödet och dess nödvändighet och funktion kan ifrågasättas.

Strävan har varit att ta fram förbättringsförslag som inte innebär stora investeringar och därför kan genomföras relativt omgående. Det har varit möjligt till viss del, framförallt för produktionsflödet vevaxlar. I andra fall har analysen visat att större förändringar måste göras för att en märkbar ledtidsreducering ska ske. Dessa förändringar betyder mestadels att kapaciteten måste höjas för någon del av flödet.

De fyra produktionsflödena är mycket olika och deras genomsnittliga ledtider varierar från 5 timmar i flödet för cylinderhuvuden, till drygt en vecka i kamaxelflödet. På grund av flödenas olika karaktär är det följaktligen inte samma faktorer på alla flöden som ger upphov till den mesta kö- och väntetiden. Generellt sett kan däremot sägas att följande omständigheter är, i nämnd ordning, de största anledningarna till kö- och väntetider på Scania Motortillverkning:

1. Produktionen sker i batcher och inte flexibelt med ett Kanban i taget.
2. Delar av flödena har lägre produktionstakt och producerar även på tider då andra delar står stilla.
3. Flera produktionssteg är fristående på grund av buffertar före och efter.

För vevaxelflödet är samtliga nämnda faktorer mycket betydande för ledtiden. Att produktion sker i batcher har störst betydelse för ledtiden, vilket också är möjligt att omgående förbättra för delar av flödet. För att undvika den ojämna takten i flödet är det nödvändigt med investeringar i flödets flaskhals. Buffertar mellan produktionsstegen har av de ovan nämnda faktorerna minst betydelse för den totala ledtiden, men förbättringar skulle till viss del kunna genomföras omedelbart. Dock blir effekten större om investeringar görs för att förbättra delar av flödet genom att sammanlänka produktionssteg mer med varandra.

Kamaxelflödet har stora begränsningar på grund av lång ledtid till flaskhals, långa ställtider och många axeltyper, samt ojämn takt i flödet. Framförallt måste två större förändringar göras för att ledtider ska kortas i någon större utsträckning. Dessa är att öka kapaciteten, eller reducera ställtider, i flaskhalsar och att öka produktionstakten i härderiet.

Cylinderhuvudflödet och motorblockflödet har redan idag avsevärt kortare ledtider än de andra flödena. För dessa är det svårt att göra några omedelbara förändringar vilket beror på låg utnyttjandegrad i maskinerna. För att reducera ledtiden i dessa produktionslinor måste tillgängligheten först förbättras. För cylinderhuvuden ökar då möjligheten att producera mer flexibelt och därigenom hålla ett mindre färdigvarulager. För motorblock, där endast en produkt produceras, skulle istället bättre utnyttjandegrad i maskinerna ge större säkerhet i processen vilket ger förutsättningar att reducera nivån i färdigvarulagret.

För att arbeta kontinuerligt med ledtider rekommenderas följande generella arbetsmetoder för Scania Motortillverkning:

- Utmana Kanbansystemet där det finns möjlighet genom att reducera antalet Kanban.
 - Nästa steg i Scantias arbete med SPS bör vara reducere av ställtider.
 - Använd det interna datasystemet PUS för att följa upp ställtider.
 - Använd den identitetsmärkningen varje artikel har till att följa upp ledtider för de mer komplexa flödena.
-

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	SYFTE.....	2
1.3	DIREKTIV OCH UPPGIFTSPRECISERING.....	2
1.4	AVGRÄNSNINGAR.....	3
2	FÖRETAGSPRESENTATION	5
2.1	MOTORTILLVERKNINGEN.....	6
3	METODBESKRIVNING	9
3.1	GENOMFÖRANDE.....	9
3.1.1	<i>Planering och utformning av uppgiften</i>	9
3.1.2	<i>Litteraturstudie</i>	9
3.1.3	<i>Kartläggning</i>	10
3.1.4	<i>Problemanalys, slutsatser och rekommendationer</i>	10
3.2	FELKÄLLOR.....	11
4	NULÄGESBESKRIVNING	13
4.1	KANBANSYSTEMETS UTFORMNING.....	14
4.2	VEVAXLAR.....	14
4.2.1	<i>Produktionsöversikt</i>	14
4.2.2	<i>Produktionsstyrning</i>	16
4.3	KAMAXLAR.....	16
4.3.1	<i>Produktionsöversikt</i>	16
4.3.2	<i>Produktionsstyrning</i>	18
4.4	CYLINDERHUVUDEN.....	18
4.4.1	<i>Produktionsöversikt</i>	18
4.4.2	<i>Produktionsstyrning</i>	20
4.5	MOTORBLOCK D12.....	20
4.5.1	<i>Produktionsöversikt</i>	20
4.5.2	<i>Produktionsstyrning</i>	21
5	TEORETISK REFERENS RAM	23
5.1	PULL OCH PUSH.....	23
5.2	JIT-PRODUKTION.....	25
5.3	KANBAN.....	26
5.4	CONWIP.....	27
5.5	OPT.....	29
5.6	CYKLISK PLANERING.....	32
5.7	LEDTID.....	33
5.7.1	<i>Ledtidsreduktion</i>	34
5.7.2	<i>Överlappning och orderklyvning</i>	35
5.7.3	<i>Kö- och väntetid</i>	37

5.7.4	<i>Ställtider</i>	38
5.8	SLÖSERI	42
6	KARTLÄGGNING	45
6.1	VEVAXLAR	45
6.1.1	<i>Produktionsstegen, D9</i>	49
6.1.2	<i>Genomsnittliga ledtider, D9</i>	51
6.1.3	<i>Uppmätta ledtider, D9</i>	52
6.1.4	<i>Produktionsstegen, D11/D12</i>	52
6.1.5	<i>Genomsnittliga ledtider, D11/D12</i>	54
6.1.6	<i>Uppmätta ledtider, D11/D12</i>	55
6.1.7	<i>Produktionsstegen, D16</i>	56
6.1.8	<i>Genomsnittliga ledtider, D16</i>	58
6.1.9	<i>Uppmätta ledtider, D16</i>	58
6.2	KAMAXLAR	59
6.2.1	<i>Produktionsstegen</i>	61
6.2.2	<i>Genomsnittliga ledtider</i>	63
6.3	CYLINDERHUVUDEN	64
6.3.1	<i>Produktionsstegen</i>	65
6.3.2	<i>Genomsnittliga ledtider</i>	66
6.4	MOTORBLOCK D12	67
6.4.1	<i>Produktionsstegen</i>	68
6.4.2	<i>Genomsnittliga ledtider</i>	69
7	ANALYS	71
7.1	TRE SÄTT ATT REDUCERA LEDTID	71
7.2	ANALYSENS UPPDELNING	71
7.3	VEVAXLAR	72
7.3.1	<i>Ledtidsanalys mjuka sidan</i>	72
7.3.2	<i>Ledtidsanalys flaskhalsgruppen</i>	76
7.3.3	<i>Ledtidsanalys hårda sidan</i>	78
7.3.4	<i>Ledtidsanalys hela produktionsflödet</i>	83
7.4	KAMAXLAR	90
7.4.1	<i>Ledtidsanalys mjuka sidan</i>	90
7.4.2	<i>Ledtidsanalys härdningen</i>	92
7.4.3	<i>Ledtidsanalys hårda sidan</i>	93
7.4.4	<i>Ledtidsanalys hela produktionsflödet</i>	94
7.5	CYLINDERHUVUDEN	100
7.6	MOTORBLOCK	102
8	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	105
8.1	GENERELLA REKOMMENDATIONER	105
8.2	VEVAXLAR	107
8.2.1	<i>Reducerad ledtid mellan styrbuffertar</i>	107
8.2.2	<i>Ökad lageromsättningshastighet i styrbuffertar</i>	109
8.2.3	<i>Flexiblare produktion mot färdigvarulagret</i>	109
8.2.4	<i>Övrigt</i>	109

8.3	KAMAXLAR.....	110
8.3.1	<i>Reducerad ledtid mellan styrbuffertar.....</i>	<i>110</i>
8.3.2	<i>Ökad lageromsättningshastighet i styrbuffertar.....</i>	<i>111</i>
8.4	CYLINDERHUVUDEN	111
8.5	MOTORBLOCK D12.....	112
9	ABSTRACT	113
	KÄLLFÖRTECKNING	115
	BÖCKER	115
	ARTIKLAR	115
	ÖVRIGA SKRIFTLIGA KÄLLOR	116
	MUNTLIGA KÄLLOR	116
	ORDLISTA	117

BILAGOR (SCANIA)

BILAGA 1 – OPERATIONSDATA, VEVAXEL D9

BILAGA 2 – OPERATIONSDATA, VEVAXEL D11/D12

BILAGA 3 – OPERATIONSDATA, VEVAXEL D16

BILAGA 4 – PROCESSKARTLÄGGNING, VEVAXEL D9

BILAGA 5 – PROCESSKARTLÄGGNING, VEVAXEL D11/D12

BILAGA 6 – PROCESSKARTLÄGGNING, VEVAXEL D16

BILAGA 7 – PROCESSKARTLÄGGNING, KAMAXEL D12

BILAGA 8 – PROCESSKARTLÄGGNING, CYLINDERHUVUD

BILAGA 9 – PROCESSKARTLÄGGNING, MOTORBLOCK D12

BILAGA 10 – BERÄKNING AV TEKNISK CYKELTID

BILAGA 11 – GENOMSNITTLIGA LEDTIDER I STYRBUFFERTAR, VEVAXLAR

FIGURFÖRTECKNING

FIGUR 3.1: BESKRIVNING AV EXAMENSARBETETS GENOMFÖRANDE	9
FIGUR 4.1: PRODUKTIONSSTEG FÖR VEVAXLAR.....	15
FIGUR 4.2: PRODUKTIONSSTEG FÖR KAMAXLAR.....	17
FIGUR 4.3: PRODUKTIONSSTEG FÖR CYLINDERHUVUDEN	19
FIGUR 4.4: PRODUKTIONSSTEG FÖR MOTORBLOCK, D12.....	21
FIGUR 5.1: PRODUKTION ENLIGT PULL- RESP. PUSH-PRINCIPEN	24
FIGUR 5.2: IMPLEMENTERINGSPLAN FÖR JIT	26
FIGUR 5.3: CONWIP-SYSTEMETS UTFORMNING	28
FIGUR 5.4: ÖVERLAPPNING	36
FIGUR 5.5: ORDERKLYVNING	36
FIGUR 5.6: KÖTIDEN SOM FUNKTION AV UTNYTTJANDEGRAD OCH VARIABILITET	37
FIGUR 5.7: EFFEKTER AV ATT UTNYTTJA STÄLLTIDSREDUKTION	41
FIGUR 5.8: DEN JAPANSKA SJÖN.....	44
FIGUR 6.1: PRODUKTIONSSTYRNING AV VEVAXLAR	46
FIGUR 6.2: ÖVERSIKT PRODUKTIONSFLÖDET FÖR VEVAXLAR, MJUKA DELEN.....	47
FIGUR 6.3: ÖVERSIKT PRODUKTIONSFLÖDET FÖR VEVAXLAR, FLASKHALSGRUPPEN OCH HÅRDA SIDAN.....	48
FIGUR 6.4: UPPMÄTTA LEDTIDER FÖR MÄRKTA AXLAR, VEVAXEL D9	52
FIGUR 6.5: UPPMÄTTA LEDTIDER FÖR MÄRKTA AXLAR, VEVAXEL D11/D12	55
FIGUR 6.6: KOMPLETTERANDE MÄTNING FÖR VEVAXEL D11/D12.....	56
FIGUR 6.7: UPPMÄTTA LEDTIDER FÖR MÄRKTA AXLAR, VEVAXEL D16	59
FIGUR 6.8: PRODUKTIONSSTYRNING AV KAMAXLAR, FRAM TILL NOVEMBER 2003	59
FIGUR 6.9: NY PRODUKTIONSSTYRNING KAMAXLAR	60
FIGUR 6.10: ÖVERSIKT PRODUKTIONSFLÖDET KAMAXLAR.....	61
FIGUR 6.11: PRODUKTIONSSTYRNING AV BEARBETNINGSFLÖDET FÖR CYLINDERHUVUDEN	64
FIGUR 6.12: ÖVERSIKT PRODUKTIONSFLÖDET CYLINDERHUVUDEN	65
FIGUR 6.13: PRODUKTIONSSTYRNING AV BEARBETNINGEN AV MOTORBLOCK.....	67
FIGUR 6.14: ÖVERSIKT PRODUKTIONSFLÖDET MOTORBLOCK.....	68
FIGUR 7.1: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D9 MJUKA SIDAN.....	73
FIGUR 7.2: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D11/12 MJUKA SIDAN.....	73
FIGUR 7.3: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D16 MJUKA SIDAN.....	74
FIGUR 7.4: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D9 FLASKHALSGRUPPEN	76
FIGUR 7.5: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D11/D12 FLASKHALSGRUPPEN	77
FIGUR 7.6: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D16 FLASKHALSGRUPPEN ..	77
FIGUR 7.7: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D9 HÅRDA SIDAN	79
FIGUR 7.8: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D11/D12 HÅRDA SIDAN	79
FIGUR 7.9: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D16 HÅRDA SIDAN	80
FIGUR 7.10: KOMPLICERAT FLÖDE I POLERPORTALEN	82
FIGUR 7.11: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D9 HELA FLÖDET.....	83
FIGUR 7.12: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D11/D12 HELA FLÖDET....	83
FIGUR 7.13: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, D16 HELA FLÖDET.....	84

FIGUR 7.14: LAGERNIVÅER I VISUELL BUFFERT FÖR D11, DAGENS BATCHSTORLEKAR88	
FIGUR 7.15: LAGERNIVÅER I VISUELL BUFFERT FÖR D12, DAGENS BATCHSTORLEKAR88	
FIGUR 7.16: LAGERNIVÅER I VISUELL BUFFERT FÖR D11, FLEXIBEL PRODUKTION	89
FIGUR 7.17: LAGERNIVÅER I VISUELL BUFFERT FÖR D12, FLEXIBEL PRODUKTION	89
FIGUR 7.18: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, MJUKA SIDAN.....	91
FIGUR 7.19: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, HÅRDA SIDAN	93
FIGUR 7.20: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, HELA PRODUKTIONSFLÖDET	95
FIGUR 7.21: ANTAL DAGAR I LAGER, RIKTAD BUFFERT	96
FIGUR 7.22: ANTAL DAGAR I LAGER, ORIKTAD BUFFERT.....	97
FIGUR 7.23: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, TOMMA BUFFERTAR.....	100
FIGUR 7.24: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID, FULLA BUFFERTAR	101
FIGUR 7.25: LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID	102

TABELLFÖRTECKNING

TABELL 6.1: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR VEVAXEL D9.....	51
TABELL 6.2: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR VEVAXEL D11/D12.....	55
TABELL 6.3: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR VEVAXEL D16.....	58
TABELL 6.4: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR KAMAXLAR.....	64
TABELL 6.5: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR CYLINDERHUVUDEN.....	66
TABELL 6.6: LEDTIDER OCH OPERATIONSTIDER FÖR MOTORBLOCK.....	69
TABELL 7.1: TEORETISKT MINSTA MÖJLIGA ANTAL KANBAN PER BATCH.....	85
TABELL 7.2: PRAKTISKT MÖJLIGA BATCHSTORLEKAR SAMT REDUCERADE GENOMLOPPSTIDER I STYRBUFFERTAR.....	87
TABELL 8.1: LEDTIDER OCH ANDEL VÄRDEADDERANDE TID, VEVAXLAR.....	107
TABELL 8.2: LEDTIDER OCH ANDEL VÄRDEADDERANDE TID, KAMAXLAR.....	110
TABELL 8.3: LEDTIDER OCH ANDEL VÄRDEADDERANDE TID, CYLINDERHUVUDEN....	111
TABELL 8.4: LEDTIDER OCH ANDEL VÄRDEADDERANDE TID, MOTORBLOCK.....	112

1 INLEDNING

Detta avsnitt beskriver examensarbetets bakgrund och syfte. Dessutom görs en precisering av uppgiften och en redogörelse för gjorda avgränsningar.

1.1 BAKGRUND

Scania påbörjade under 90-talet ett förändringsarbete för att effektivisera produktionsprocesserna. Detta förändringsarbete har framförallt syftat till att arbeta med förbättringar på ett enkelt och strukturerat sätt. Förändringsarbetet har idag utmynnat i ”Scanias Produktions System”, SPS. Det ska fungera som en gemensam bas för Scanias alla aktiviteter genom att sammanfatta riktlinjer och filosofier samt de prioriteringar och principer som Scania ska arbeta efter. Arbets sättet bygger på fyra grundprinciper:

- *Normalläge – standardiserat arbets sätt*
Normalläget bygger på standardisering, en bestämd takt liksom ett utjämnat och balanserat flöde genom hela produktionskedjan. Arbetet ska ske visuellt så att alla kan se vad som är normalt och onormalt, med direkt återföring av information till den som behöver den.
- *Rätt från mig*
Rätt från mig innebär att göra rätt från början. Detta genom ändamålsenliga verktyg, instruktioner samt metoder som helst gör det omöjligt att göra fel.
- *Förbrukningsstyrd produktion*
Produktion ska ske endast om kunden har signalerat ett behov. Styrning för detta sker så långt som möjligt med visuella buffertar och Kanban.
- *Ständiga förbättringar*
Det innebär att kontinuerligt utmana och förbättra processen genom att minska slöserier. Genom detta skapas ett nytt bättre normalläge.

I slutet av 90-talet infördes förbrukningsstyrd produktion på i stort sett samtliga produktionslinor i motortillverkningen och produktionen styrs idag till största del med Kanban. I samband med det har ledtider i produktionslinorna hamnat i fokus, och därav startades detta examensarbete. Behovet på Scania Motortillverkning är i första hand en kartläggning över dagens ledtider och förluster, för att med denna som underlag arbeta fram åtgärdsförslag och arbetsmetoder för ledtidsreducering.

1.2 SYFTE

Syftet med detta examensarbete är att genomföra en omfattande kartläggning av valda produktionsflöden för att fastställa dess ledtider och identifiera begränsningar. Vidare ska förbättringsförslag och rekommendationer med fokus på ledtidsreduktion utarbetas.

1.3 DIREKTIV OCH UPPGIFTSPRECISERING

Examensarbetet innefattar fyra produktionsflöden i motortillverkningen. Dessa är bearbetning av vevaxlar, kamaxlar, cylinderhuvuden och motorblock. De fyra produktionsflödena har olika karaktär och tillsammans är det tänkt att i viss mån representera samtliga 13 produktionsflöden inom Scania Motortillverkning.

Vevaxeltillverkningen är ett produktionsflöde som tillverkar fyra typer, som till stor del bearbetas i separata maskiner. Flödet är komplicerat i och med att det är många produktionssteg som är separerade och för att axlarna förflyttas i vissa fall automatiskt och i andra fall manuellt. Flödeslayouten är inte rak och på flera ställen korsas de olika typernas flöden genom delade resurser.

Kamaxlar tillverkas i 3 typer och totalt 13 varianter, varav 5 i stora volymer. Bearbetningen görs i en produktionslina som växlar längs flödet mellan en till tre parallella resurser. Speciellt för denna produktionslina är att den är avdelad i två flöden eftersom härdning görs i en annan byggnad.

Cylinderhuvuden och motorblock tillverkas på ett flödesmässigt liknande sätt. Artiklarna är placerade på en bana som taktar fram mellan de olika bearbetningsstationerna. Skillnaden ledtidsmässigt mellan cylinderhuvuden och motorblock är framförallt att cylinderhuvuden tillverkas i många varianter och därmed måste banan ställas om, medan motorblock endast tillverkas i en variant.

Examensarbetet kan delas upp i följande delmoment, vilka ska genomföras i nämnd ordning.

- *Grundläggande kartläggning av ledtider*
En omfattande kartläggning av produktionsflödet och dess olika delmoment kommer att utgöra grunden för examensarbetet. Kartläggningen innebär att ledtider klockas och att operationstider och ställtider bestäms. Dessutom görs en sammanställning av var det samlas PIA, både i planerade och icke planerade buffertar. Fokus kommer att ligga på att identifiera förluster i produktionssystemet.
- *Hitta orsakande begränsningar i varje flöde*
Genom kartläggningen ska begränsningar och förluster i varje flöde kunna utläsas. Kartläggningen är också tänkt att vara en hjälp i att hitta orsaker till hur och varför dessa begränsningar uppstår.

- *Framtagning av åtgärdsförslag och arbetsmetoder*
När begränsningar har identifierats utarbetas förslag på hur ledtidsreducering kan uppnås. I detta moment kombineras teoretiska kunskaper med verklighetens förutsättningar och begränsningar

1.4 AVGRÄNSNINGAR

För att begränsa examensarbetets omfattning kommer projektet endast att innefatta motortillverkningens verksamhet varpå varken gjuteriet eller andra leverantörers produktion kommer att beaktas. Vidare görs följande avgränsningar:

- Tiden i råvarulager och färdigvarulager kommer inte att ingå i den granskade ledtiden.
- Projektet ska endast beröra aktuella flöden. Den utgående modellen D14 kommer därför inte att ingå i studien. Inte heller tillfälliga flöden som tester av nyintroducerade modeller eller låga volymer av specialvarianter.
- Vid kartläggning av ledtider kommer inte maskinhaverier att tas med i beräkningarna. Dessa anses som tillfälliga och slumpmässiga och kommer om möjligt att subtraheras från uppmätta ledtider.
- Maskinparken i de fyra produktionslinorna ses som given och arbetet kommer inte att utvärdera lönsamheten i eventuella nyinvesteringar. Däremot kan förslaget innebära rekommendationer om att öka kapaciteten i någon resursgrupp såväl som förslag om omfördelning av produktion mellan befintliga resurser.
- Examensarbetet kommer att fokusera på reduktion av ledtider och beräkningar av eventuella förändringars betydelse i monetära termer gör därför inte.

2 FÖRETAGSPRESENTATION

I detta avsnitt ges en kort presentation av företaget Scania CV AB och dess produkter. Avsnittet inleds med en kort historik och därefter verksamhets- och organisationsbeskrivning.

Scania grundades 1891 och började då tillverka cyklar. Det speciella med dessa cyklar var att de hade ett treuddat trampnav. Trampnavet finns representerat i företagets logotyp än idag. Verksamheten var förlagd till Malmö där även Scantias första personbil tillverkades 1897. Ett par år senare, 1902, tillverkades den första lastbilen och ytterligare lite senare, 1911, kompletterades utbudet med en bussmodell. Samma år gick Scania ihop med Vagnsfabriksaktiebolaget i Södertälje och bildade Scania-Vabis. År 1969 skedde en ny fusion, denna gång med biltillverkaren Saab och Saab-Scania bildades. Sedan 1995 är de två företagen separerade och idag är Scania självständigt.

Scania är i dagsläget en av världens ledande tillverkare av lastbilar och bussar. Inom huvudområdet tunga lastbilar är man det fjärde största märket på världsmarknaden och det tredje största på den Europeiska marknaden. De huvudsakliga marknaderna, sett till antal registrerade lastbilar, är Storbritannien, Frankrike, Tyskland och Italien. För bussar skiljer det sig och där är istället Mexico, Spanien, Italien och Brasilien störst. Förutom lastbilar och bussar tillverkar man även motorer som är avsedda för industriellt och marint bruk.

Scania är ett globalt företag med produktionsanläggningar i Europa och Latinamerika. Dessutom har man ett antal monteringsanläggningar i Afrika, Asien och Europa. Huvudkontoret och produktutvecklingen är baserat i Södertälje där ca 6600 anställda arbetar. Företaget finns representerat i ett hundratal länder genom ca 1000 lokala distributörer och 1500 serviceanläggningar.

Scantias affärsidé är att:

”erbjuda sina kunder fordon och tjänster av hög kvalitet för kvalificerade varu- och persontransporter på väg”

För att uppnå detta har framförallt fyra faktorer identifierats som starkt bidragande till framgångar:

- *Koncentration på fordon för tunga transporter*
Scania anser att fordon för tunga transporter är ett lönsamt segment som har en ökande efterfrågan både på redan utvecklade marknader och tillväxtmarknader.
- *Modulärt produktsystem*
Under flera decennier har företaget arbetat för att samma komponenter ska kunna användas i en rad olika specifikationer. Detta gör det möjligt för kunden att kunna anpassa sin produkt för bästa ändamål. Dessutom minskar det totala antalet

huvudkomponenter i Scantias produktprogram och skapar en grund för produktkvalitet.

- *Komplett produktprogram av fordon, tjänster och finansiering*
Scania växer genom att erbjuda kunderna fordon, service och finansiering med de bästa lösningarna på marknaden. Det massiva utnyttjandet av produkterna ställer höga krav på snabb och löpande tillgång till underhåll och reparationer.
- *Tillväxtmarknader i fokus*
I takt med att infrastrukturen byggs ut i tillväxtländer så kommer efterfrågan på tunga transporter att öka. Där så redan har skett finns det stora möjligheter att utveckla försäljnings- och servicenät.

2.1 MOTORTILLVERKNINGEN

Motortillverkningen, DM, är en produktionsenhet inom Scania CV AB i Södertälje. Produkterna som tillverkas är motorkomponenter till motorer för Scantias lastbilar och bussar, samt grundmotorer för industriellt och marint bruk. Motorerna som tillverkas är 9-, 11-, 12- och 16-litersmotorer i olika utföranden och klasser. Den stora 16-litersmotorn är av typen V8 och finns i två olika utföranden med 480 alternativt 580 hästkrafter. De övriga tre motorerna har 6 cylindrar som ligger på rad och styrkan på dessa varierar från 220 upp till 470 hästkrafter.

Motortillverkningen består av ett antal olika enheter med varierande uppgifter:

- **DMA, bearbetning del 1**
DMA ansvarar för bearbetning av kamaxlar, motorblock, cylinderhuvuden och ramlageröverfall.
- **DMB, bearbetning del 2**
DMB's uppdrag är att bearbeta vevaxlar, vevstakar, cylinderfoder, svänghjulskåpor, prototyp tillverkning och revision av hemmatillverkade artiklar.
- **DME, produktionsekonomi**
DME verkar som stöd för verksamheten inom DM och DM-ledningens resurs i ekonomiska utredningsfrågor samt ansvarar för löpande redovisning enligt god redovisningssed.
- **DMF, gjutning**
DMF ansvarar för gjutning och efterbehandling av ämnen till motorblock och cylinderhuvuden.
- **DMT, produktionsteknik**
DMT verkar som produktionstekniskt stöd inom DM's verksamhet när det gäller produktionstekniska utredningsfrågor.

- **DMH, personal**

DMH verkar som stödfunktion och ansvarar för motortillverkningens interna HR-frågor (Human Resources) samt att centrala direktiv och riktlinjer följs.

- **DMS, produktionsstöd**

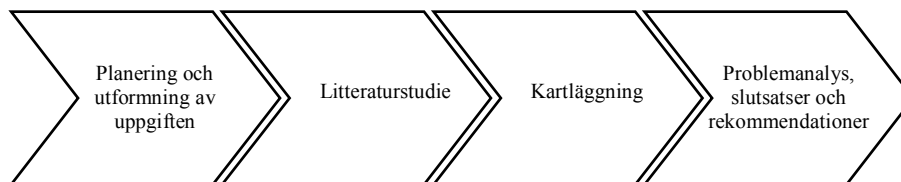
DMS huvudsakliga uppgift är att stödja, utveckla och driva på kvalitets- och miljöarbetet samt ledningssystemen och arbetsmiljö.

3 METODBESKRIVNING

I detta avsnitt beskrivs kortfattat hur examensarbetet utförts i termer av olika delmoment samt vad de respektive momenten inneburit. Dessutom beskrivs hur kartläggningen gått till samt eventuella felkällor.

3.1 GENOMFÖRANDE

Metoden vi har använt oss av under det här examensarbetet kan beskrivas med hjälp av fyra delmoment, se Figur 3.1. Dessa har utförts i en naturlig följd även om vissa delar har löpt parallellt med varandra. Framförallt litteraturstudierna som har kompletterats under arbetets gång allt eftersom nya infallsvinklar har tillkommit. Genom hela examensarbetet har vi haft regelbundna kontakter med våra handledare; Fredrik Rydahl, planeringschef vid Scania Motortillverkning samt Jan Olhager, professor på Institutionen för produktionsekonomi vid Linköpings tekniska högskola. Det har varit bra och viktigt för att försäkra oss om att arbetet har framskridit i rätt riktning.



Figur 3.1: Beskrivning av examensarbetets genomförande

3.1.1 PLANERING OCH UTFORMNING AV UPPGIFTEN

De första veckorna ägnades åt att lära känna fabriken verksamhet och då framförallt de produktionsflöden som var aktuella för examensarbetet. Syftet var att få kunskap om vilka artiklar som tillverkades och hur tillverkningen gick till. I och med att flöden skulle kartläggas och ledtider mätas talade vi mycket med operatörer och tekniker på varje avdelning. De hjälpte oss att skapa förståelse för de olika bearbetningsstegen och för hur flödet hängde ihop som helhet.

Samtidigt som vi bekantade oss med produktionen fördes löpande diskussioner med våra handledare om arbetets omfattning och inriktning. När uppgiften började ta form sammanställdes relevant information i en planeringsrapport. Rapporten innehöll uppgiftsprecisering, nulägesbeskrivning och företagsbeskrivning.

3.1.2 LITTERATURSTUDIE

För att få en fördjupad insikt i teoretiska och forskningsnära områden, som var relevanta för uppgiften, utfördes en litteraturstudie. Material samlades in och sammanfattades på ett enkelt och kortfattat sätt för att sedan resultera i kapitlet Teoretisk referensram. Kapitlet innehåller teori som utgjort grunden vid

kartläggningen och analysen av problemen, men även teori för att ge den mindre insatta läsaren förståelse för relevanta teorier och begrepp.

3.1.3 KARTLÄGGNING

Kartläggningen av dagens ledtider utgjorde grunden till examensarbetet. Dessa ledtider kunde bestämmas genom en kombination av klockade genomloppstider för delar av flödet, buffertinventeringar och intervjuer med operatörer. I samtliga flöden utom kamaxlar genomfördes även ledtidsmätningar genom produktionsflödet genom att märka upp ett antal artiklar och mäta dess genomloppstid. Den största mätningen av detta slag gjordes i produktionsflödet för vevaxlar, där ett 80-tal axlar märktes upp och skickades in i flödet. Axlarna fångades upp på mellan sex och tio platser. För att genomföra mätningen fick vi hjälp av operatörer som noterade när den märkta axeln passerade och skrev ned tiden i ett protokoll.

Kartläggningen innefattade även att ett 50-tal operationstider klockades. Cykeltider för samtliga flöden samt operationstider för kamaxelflödet fanns tillgängliga hos respektive tekniker. Information om ställtider samlades in genom intervjuer med operatörer, eftersom det inte fanns tid att klocka dessa. För att få relativt säkra tider intervjuades flera operatörer om samma ställtider. Det var även nödvändigt att få tillförlitlig information om efterfrågan på artiklarna och på tillgängligheten i maskinerna. Efterfrågan kunde utläsas i Scantias datanät och i det interna inrapporteringsystemet, PUS, kunde maskinerna tillgänglighet utläsas.

Kartläggningen utmynnade i kapitlet Kartläggning där varje produktionssteg beskrivs avseende buffertar, förflyttning av material, ställtider och dylikt, men även i en processkartläggning med genomsnittliga ledtider och operationstider.

3.1.4 PROBLEMANALYS, SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Kartläggningen följdes av en noggrann analys av de i kartläggningen framtagna fakta. Syftet var att analysera vilka faktorer som begränsade dagens situation samt vilka möjligheter det fanns för ledtidsreduktion. Fokus lades på de två mer komplexa linorna, vevaxlar och kamaxlar, vilka även har längst ledtider. Kompletteringar till kartläggningen gjordes där vi ansåg att det behövdes. Det var framförallt fallet för Kamaxlar där styrningen av produktionen ändrades under detta examensarbets genomförande. Det blev nödvändigt att genomföra en kompletterande lagerinventering då lagernivåerna steg vid förändrad styrning i detta flöde.

För att få nya intryck och idéer hade vi förmånen att få utföra två studiebesök, ett på Volvo Lastvagnar i Skövde och ett på SAAB Automobile i Södertälje. Framförallt var vi intresserade av hur Volvo och SAAB hade löst tillverkningen av de artiklar som vi tittade på hos Scania. Besöken var givande då vi förde en intressant dialog om hur Volvo och SAAB ser på flöden och ledtider. Därmed fick vi nya uppslag men även till viss del en ny syn på Scantias tillverkning.

Avslutningen på arbetet ägnades åt att försöka kombinera de teorier vi lärt oss och beskrivit i Teoretisk referensram med de praktiska kunskaperna om verksamheten på Scania vi införskaffat genom kartläggningen. Vår strävan var att ta fram förslag som inte innebar några större investeringar och därmed kanske kunde tillämpas ganska omgående.

3.2 FELKÄLLOR

Kartläggning av flödet och dess ledtider har krävt att stora mängder data samlats in. Vid insamlingen av dessa data finns risk för att fel och missförstånd har uppstått. Nedan listas möjliga felkällor samt vilka åtgärder som tagits för att undvika dessa fel.

- *Begränsat antal ledtidsmätningar*
När ledtidsmätningar gjordes på flödet var det endast möjligt att genomföra det på ett begränsat antal artiklar och under en begränsad tid. Viktigast var dessa mätningar i vevaxelflödet då det är svårt att få en total ledtid över detta flöde på annat sätt. För att få så rättvis mätningar som möjligt gjordes mätningarna under en tid då det förväntades vara få störningar i produktionen. För vevaxeltyperna D11 och D12 inträffade dock ett antal störningar, vilket ledde till att delar av flödet mättes igen.
- *Inga ledtidsmätningar för kamaxelflödet*
Det har inte varit möjligt att genomföra ledtidsmätning genom det totala flödet för kamaxlar. Det beror på att det inte går att märka axlarna på ett bra sätt. Istället bestämdes ledtiden genom tidtagning av delar av flödet tillsammans med intervjuer och lagerinventeringar.
- *Ställtider undersöktes med intervjuer*
Eftersom det inte funnits tid till att ta tid på alla ställtider har det varit nödvändigt att bestämma ställtider genom intervjuer. För att få så korrekta tider som möjligt intervjuades flera operatörer om samma ställtid. Då svaren var ungefär likvärdiga kunde vi dra slutsatsen att tiderna var säkra.
- *Kapacitetsdata i vissa fall svåra att få fram*
För några maskiner har det varit svårt att få fram tillitsfulla data på tillgängligheten. I dessa fall har det varit nödvändigt att göra en uppskattning med hjälp av operatörer och tekniker på avdelningen. Osäkerheten gäller framförallt för icke flaskhalsar vilket gör att exaktheten i dessa data inte är lika nödvändig.

4 NULÄGESBESKRIVNING

I detta kapitel ges en kort, övergripande beskrivning av produktionen på Scania Motortillverkning. Dessutom presenteras de fyra produktionsflöden som studeras i detta examensarbete. Bearbetningssteg, produktionsstyrning och flödets utformning beskrivs i korthet för att ge läsaren en introduktion.

Motortillverkningen bearbetar gjutna och smidda motordelar från externa och interna leverantörer. Den huvudsakliga kunden är den interna monteringsanläggningen i Sverige, men det händer också att motortillverkningen i Sverige stödjer Scantias monteringsanläggningar i andra länder med artiklar.

Bearbetningen sker i 13 produktionsflöden. Varje flöde producerar en produkt, men de flesta flöden producerar denna produkt i ett flertal varianter. Produktionsflödena är mer eller mindre kontinuerliga. Några är helt sammanbyggda, med automatisk enstycksförflyttning genom hela flödet. Andra består av ett antal mindre sammankopplade produktionssteg, där material förflyttas mellan maskinerna med truck. Material in till produktionen hämtas på pallar med truck från råvarulagret. Efter bearbetning till färdig produkt förflyttas de på pallar med truck till färdigvarulagret som är placerat i samma byggnad.

Organisationen i produktionen på motortillverkningen är uppdelad genom att varje tillverkningsflöde är en egen avdelning. Varje avdelning har en produktionsledare, som är chef och ansvarig för produktionen. Som ett stöd för den långsiktiga utvecklingen, tekniskt, kvalitetsmässigt och logistiskt, har varje avdelning en tekniker och en beredare. Varje avdelning har sina egna arbetslag av operatörer och driftledare.

Produktionen är så långt som möjligt förbrukningsstyrd och Kanban är idag implementerat på de flesta av produktionsflödena, både för den interna tillverkningen men även gentemot leverantörer och kunder. Internt fungerar Kanban inte som produktionsbeordring för en enskild maskin. I stället går Kanbanlooparna över flera produktionssteg, varpå produktionen mellan maskinerna inne i Kanbanloopen producerar enligt ett push-system, se kapitel 5.4. Vanligt är att Kanbanloopen går från första operationen i flödet till färdigvarulagret i slutet.

På några av produktionsflödena har det inte varit möjligt att införa ett Kanbansystem fullt ut. Detta kan bero på en alltför ojämn efterfrågan eller på att det är alltför många varianter som tillverkas. Exempel på det är kamaxeltillverkningen som beskrivs nedan. Detta produktionsflöde styrdes fram till november 2003 med produktionsplaner som lades en gång i veckan. Dessa planer gick ut på att inspektera alla lager och sedan producera det som behövs för att täcka efterfrågan. Under utförandet av detta examensarbete genomfördes styrning med Kanban även för detta produktionsflöde.

4.1 KANBANSYSTEMETS UTFORMNING

Scania Motortillverkning använder sig av ett Kanbansystem som har tre nivåer: grön, gul och röd nivå. Detta system används för att tydliggöra när det börja ta slut i en buffert och när det därmed är dags att starta produktionen av en produkt. Grön nivå indikerar att det finns tillräckligt i buffert. Gul nivå indikerar att det är dags att starta produktion för att hinna fylla på innan brist uppstår. Röd nivå visar att bufferten har sjunkit till under säkerhetsnivån och att den därmed fortast möjligt bör fyllas på.

Hur stor bufferten är för varje variant och hur många Kanban det därmed finns, är anpassat efter hur stor efterfrågan är på respektive artikel. Grön nivå är vanligtvis efterfrågan under ca tre dagar, gul för två dagar och röd för ca 1,5 dagar.

Om flera varianter produceras i samma produktionsflöde och även i samma resurser, sker produktion av samma variant så länge Kanbansystemet tillåter det. Meningen är att när en variant har sin buffert nere på gul nivå startas produktion och fortsätter tills bufferten är full igen. Det vill säga om inte en annan variant samtidigt håller på att ta slut, varpå maskinerna måste ställa om tidigare för att börja producera den andra varianten. Produktionen är inte tillräckligt flexibla för att producera endast ett Kanban i taget av varje variant, vilket medför att tillverkningen görs i större partier.

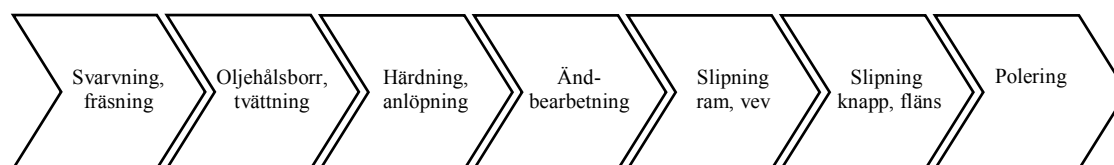
4.2 VEVAXLAR

Vevaxlar tillverkas i nuläget huvudsakligen i fyra axeltyper, D9, D11, D12 och D16. Den äldsta varianten är D9 och den nyaste är D16. D11 och D12 är i stort sett identiska axlar och används i samma motorblock. Dock skiljer sig slaglängden på vevarna med sju millimeter, vilket gör att de måste behandlas som två skilda artiklar genom hela flödet. Förutom ovanstående fyra axeltyper görs viss reservdelsproduktion av gamla typer samt prototyp tillverkning av nya modeller. Efterfrågan på vevaxlarna är relativt jämn och en prognos finns för sex månader framåt.

4.2.1 PRODUKTIONSÖVERSIKT

Bearbetningen av vevaxlar kan delas in i sju produktionssteg. Alla axeltyper går igenom samtliga produktionssteg och i samma ordning, men det kan vara varierande antal moment i varje produktionssteg för de olika typerna.

Produktionen sker i tre variantflöden, där D11 och D12 delar ett flöde medan D9 och D16 går i varsitt. Variantflödena går till stor del parallellt, men vissa maskiner delas mellan olika axeltyper, vilket betyder att maskinen oftast måste stannas och ställas om. Generellt kan sägas att första halvan av bearbetningsflödet består av dedikerade maskiner, medan slutet av flödet till viss del består av maskiner som bearbetar flera axeltyper. Figur 4.1 beskriver visar de olika steg som en vevaxel går igenom.



Figur 4.1: Produktionssteg för vevaxlar

1. *Svarvning och fräsning*

I det första steget svarvas och fräses ramen, vevar, knapp och fläns. Dessutom görs en underskuren radie på ramen.

2. *Oljehålsbörning och tvätt*

I nästa produktionssteg borrar oljehål som sedan försänks. Efter det måste axeln tvättas innan den kan gå vidare för härdning.

3. *Härdning och anlöpning*

Axlarna härdas genom att vevar och ram hettas upp kraftigt med elektricitet, för att sedan kylas snabbt med kylvätska. Innan axlarna härdas måste oljehålen förses med träplugg för att sprickor inte ska uppstå. Efter härdning anlöps axlarna på så sätt att de passerar en ugn med en viss temperatur vilket gör att axlarna svalnar i kontrollerad temperatur och takt. Anlöpningen tar ungefär sex timmar.

4. *Ändbearbetning*

När axeln är härdad ska den ändbearbetas. Den första operationen slipar lokaliseringpunkter innan nästa maskin borrar och gängar olika hål i ändarna.

5. *Slipning av ram och vev*

Ram och vevar slipas för att få rätt toleranser. Kvalitetskontroller görs på varje axel för att verifiera att ytmåtten är inom toleransgränserna.

6. *Slipning av knapp och fläns*

Knapp och fläns slipas och även här görs en kvalitetskontroll på varje axel.

7. *Balansering, polering och avsyning*

Detta produktionssteg inleds med en sprickkontroll. Efter det poleras oljehålen, vevarna och ramen. Axeln måste också balanseras och slutligen sker en avsyning.

Flödesmässigt är produktionen av vevaxlar relativt komplicerad. Framförallt för att produktionen sker i tre delvis separerade flöden, men som på flera ställen går ihop och delar resurser. Dessutom är produktionslayouten inte rak och genom detta korsas de olika axeltypernas flöden på flera ställen.

Förflyttning av axlarna mellan maskinerna sker på flera sätt. Stora delar av produktionsflödet är uppbyggt av portaler, som maskinerna står under. Mellan maskinerna inom en portal sker förflyttningen av axlarna automatiskt i enstyck av portalroboten. Vissa portaler är sammankopplade med hjälp av en skyttel som

automatiskt transporterar axlar mellan dem. Där den typen av sammankopplingen inte finns läggs axlarna på pallar och förflyttas med truck. Antalet axlar på en pall är vanligtvis sex stycken, vilket också motsvarar ett Kanban. Men antalet axlar per pall varierar ibland och av utrymmesskäl förekommer det pallar med upp emot 20 axlar i vissa delar av produktionsflödet.

Varje produktionsflöde har en tydlig uppdelning i det som kallas hårda och mjuka sidan. Namnen syftar på om axlarna är härdade eller inte. Delningen utgörs av en produktionsbuffert som är placerad efter ändbearbetningen. Den fungerar som en frikoppling för planeringen och styrningen av produktionen på mjuka respektive hårda sidan.

Generellt kan sägas att mjuka sidan är mer kontinuerlig, med fler sammankopplade produktionssteg, än vad den hårda sidan har. På hårda sidan finns flera platser i flödet där axlar kan stanna upp i planerade och icke planerade buffertar.

4.2.2 PRODUKTIONSSTYRNING

Produktionen är förbrukningsstyrd och Kanban används som avropningsmetod. Inom produktionsflödet finns två Kanbanloopar. Den ena loopen börjar vid första operationen i bearbetningsflödet och slutar vid produktionsbufferten. Den andra tar vid efter slipning av ram och vev och slutar vid färdigvarulagret. Mellan dessa loopar finns ett glapp över slipningen av axlarna, vilket beror på att slipfunktionen producerar mot en visuell buffert, istället för att styras av Kanban.

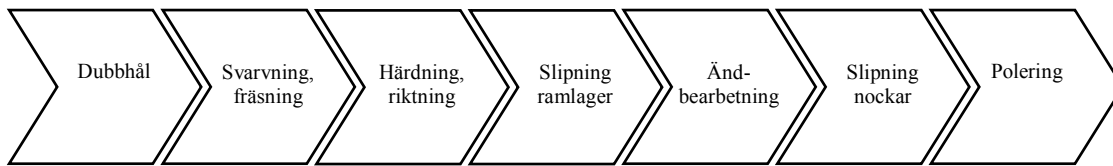
Organisationen på vevaxlar är till stor del en följd av bearbetningens upplägg. Mjuka och hårda sidan är uppdelade genom att en produktionsledare arbetar med ena sidan och en annan produktionsledare arbetar med den andra. Det finns också en tekniker för vardera sida. Vidare arbetar ett arbetslag på den mjuka sidan, med sin egen driftledare. På hårda sidan finns två arbetslag, med egna driftledare, som ansvarar för slipningen respektive poleringen.

4.3 KAMAXLAR

Kamaxlar tillverkas huvudsakligen fem typer. Dessa kallas D9, D12 HPI, D12 PDE, D16 V och D16 H. Till dessa axeltyper kommer ett antal varianter med betydligt lägre volymer. Axelltyperna skiljer sig åt i längd och i formen på nockarna. D9, som är en äldre typ, skiljer sig dessutom från de övriga typerna genom att ha en mindre diameter.

4.3.1 PRODUKTIONSÖVERSIKT

Bearbetningen av kamaxlar kan delas in i sju produktionssteg. Alla varianter går igenom samtliga produktionssteg och i samma ordning. Undantaget är D9 som inte genomgår produktionssteget ändbearbetning. Istället görs en extra fräsning av ett kilspår i produktionssteget svarvning och fräsning. I övrigt är operationsföljden densamma för de olika typerna, se Figur 4.2.



Figur 4.2: Produktionssteg för kamaxlar

1. *Svarvning av dubbhål*

I den första operationen bearbetas ändarna på det smidda godset så att det kan förses med dubbhål för de efterföljande operationerna. Här borrar även ett styrhål i en av ändarna så att nockarnas position på axeln är bestämd. Allt detta sker i en och samma maskin som delas av samtliga axeltyper. Efter bearbetning läggs axlarna i en buffert.

2. *Svarvning och fräsning*

Detta produktionssteg består av två parallella flöden med liknande resurser. De båda flödena består av en maskin som svarvar ramlagren och därefter en maskin som fräser nockarna. D9-axlarna förses även med ett kilspår i en separat maskin. Avslutningsvis tvättas axlarna. Flödena hanteras av varsin linjeportal som sköter hämtning och laddning för respektive maskin.

Genom detta steg går D9- och D16-axlarna i var sitt flöde. D12-axlarna, som har högst efterfrågan, kan bearbetas i båda flödena.

3. *Härdning och riktning*

Härdningen sker i en annan byggnad och axlarna måste transporteras dit med lastbil. Härdning sker genom att axlarna kolas in och sedan värms upp så att kolet tränger in i ytan.

Efter härdning transporteras axlarna ned till motortillverkningen igen för att riktas. De blir vanligtvis liggande i en buffert ett tag innan riktning. Efter den operationen placeras axlarna i buffert igen innan de förs in i produktionen på nytt för vidare bearbetning.

4. *Slipning av ramlager*

Slipningen av ramlagren sker i ett portalsystem som består av tre liknande maskiner och en portalrobot. De tre maskinerna fungerar som tre parallella flöden, vilket betyder att varje axel endast går igenom en av maskinerna.

5. *Ändbearbetning*

Inom samma portal som slipningen av ramlager finns en maskin som borrar och gängar hålen i ändarna på axeln. Hålen används för att fästa axeln och få den att gå runt i motorn. Detta steg i produktionen genomförs bara på D12- och D16-axlar. D9-axlarna har motsvarande operation när kilspår fräses i produktionssteg nr 2.

Efter ändbearbetningen läggs axlarna på två transportband, med plats för 20 stycken axlar vardera, in till nästa portal.

6. *Slipning av nockar*

Portalsystemet för nockslipning innehåller tre liknande slipar, som fungerar som parallella flöden. Efter nockslipning tvättas axlarna och slutligen kontrolleras axlarna och läggs på pallar. D9-axlarna poleras i en separat maskin efter slipningen.

7. *Polering*

Bearbetningen avslutas med polering av axlarna. Detta sker i en och samma maskin för alla axeltyper, utom för D9. Efter polering tvättas axeln och läggs på pallar för att slutligen avsynas innan transport till färdigvarulagret.

Produktionsflödet för kamaxlar består i stort av två kontinuerliga flöden som delas upp med härdning i annan byggnad. Därmed flyter produktionen kontinuerligt fram till att axlarna körs upp till härdning. När axlarna kommer tillbaka igen ligger de i buffert före och efter riktning, innan de går in i produktionsflödet igen, för att slutligen hamna i en buffert innan polering. Flödet innan härdning kallas för mjuka sidan och flödet efter härdning kallas för hårda sidan.

4.3.2 PRODUKTIONSSTYRNING

Bland annat på grund av den varierande efterfrågan och den stora variantfloran har det varit svårt att införa ett fungerande Kanbansystem för kamaxeltillverkningen. Produktionen styrdes fram till november 2003 av körplaner som bestämdes en gång i veckan. Därefter togs ett Kanbansystem i bruk med en Kanbanloop som omfattade mjuka sidan och härderiet. Planering för hårda delen i flödet görs kontinuerligt genom att inspektera vad som finns i färdigvarulagret.

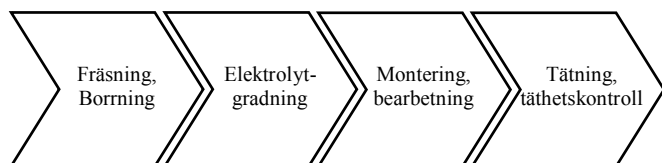
4.4 CYLINDERHUVUDEN

Cylinderhuvuden tillverkas i sju varianter, varav tre i stora volymer. Dessa tre heter D12 PDE, D12 HPI och D16. Skillnaden mellan de olika varianterna är framförallt utformningen på spridarhålet.

4.4.1 PRODUKTIONSÖVERSIKT

Bearbetningen av cylinderhuvud görs i en rak och helt automatisk produktionslina, där alla varianter går igenom hela produktionslinan men bearbetas inte av alla maskiner. Linan är uppbyggd av åtta helt inneslutna bearbetningsstationer som vardera innehåller ett tiotal maskiner. Maskinerna är placerade på båda sidor om en taktstång där cylinderhuvudena transporteras. Banan taktar fram med hastigheten av bearbetningslinans längsta cykeltid. Mellan varje bearbetningsstation finns buffertmöjligheter. Denna buffert består av ett rullband som rymmer ett litet antal cylinderhuvuden och i vissa fall ett extra buffertutrymme på upp till 120 platser.

Bearbetningen av cylinderhuvuden kan översiktligt delas in i fyra bearbetningssteg, se Figur 4.3.



Figur 4.3: Produktionssteg för cylinderhuvuden

1. *Fräsning och borrning*

En robot placerar cylinderhuvuden på banan som taktar in i den första inneslutna bearbetningsstationen. Där fräses alla utvändiga ytmått och ett indexeringshål borrar. Dessa indexeringshål fungerar sedan som referenspunkter i resten av bearbetningssystemet. När cylinderhuvudena taktar ut ur bearbetningssteget går de direkt in i nästa inneslutna steg, eller läggs på buffert om det är stopp längre fram i flödet.

I det efterföljande inneslutna bearbetningsrummet sker en grov uppborrning och brotschning av alla hål på cylinderhuvudet. Efter detta steg finns en buffertmöjlighet på 60 platser.

Nästa produktionssteg består av två inneslutna bearbetningsstationer, med en buffert på 60 platser mellan sig. Här sker mellan- och finbearbetning av bland annat bränslekanaler och oljehål. Dessutom görs slutmättet på spridarhålet.

2. *Elektrolytgradning*

När uppborrningen av cylinderhuvudet är färdigställd ska bränslekanalerna gradas. Efter gradning tvättas huvudena.

3. *Montering samt bearbetning av monterade detaljer*

I detta bearbetningssteg monteras sätesringar och styrningar i avgas- och inloppshålen, samt en hylsa i spridarhålet.

De monterade detaljerna ska sedan bearbetas. Denna bearbetning består bland annat av brotschning av de monterade styrningarna, till rätt diameter. Dessutom görs tunna så kallade rillerspår som oljefilm kan bildas på. Därefter tvättas huvudena återigen i samma maskin som i steg 4.

4. *Tätning och täthetskontroll*

Slutligen sker pluggning och nitning av borrhål samt ett test för att upptäcka eventuellt läckage. Stationen avslutas med en visuell kontroll som utförs manuellt.

4.4.2 PRODUKTIONSSTYRNING

Produktionen styrs med Kanban som går i en loop från första bearbetningsstationen fram till färdigvarulagret. Då denna produktionslina bearbetar sju varianter, och inga parallella resurser finns, betyder det att endast en variant kan bearbetas i taget. Några av maskinerna måste ställas om mellan de olika varianterna. Men hela linan bearbetar enligt FIFO-principen (First In First Out) och därför finns ingen risk att olika varianter går om varandra. Av den anledningen behöver linan inte tömmas innan en ny variant ska börja produceras. Maskinerna ställs om vartefter den nya varianten kommer fram längs linan. Generellt kan sägas att ställ mellan D12 PDE och D16 är korta, men till och från D12 HPI är ställen betydligt längre. Därmed eftersträvas en cykel där ställtider minimeras på så sätt att de långa ställen inte ska behöva förekomma särskilt ofta.

4.5 MOTORBLOCK D12

Motorblocken tillverkas i tre olika typer, D9, D12 och D16, där varje block har sin egen lina som är dedikerad till enbart den typen. D9- och D12-blocken har sex cylindrar i en rad medan D16-blocket har åtta cylindrar som är placerade fyra och fyra i en V-form. D12-blocket tillverkas endast i en variant och har ett separat flöde, tack vare det behöver linan aldrig ställas om för en annan typ.

4.5.1 PRODUKTIONSÖVERSIKT

Bearbetningen av D12-block sker i ett rakt flöde längs en lina som grovt kan delas in i tre olika delar. Linan är en rak, stel och helautomatiserad transferlina, där blocken förflyttas mellan de olika operationerna med transportband, hissar och andra typer av transportanordningar. Operationerna är balanserade så att de har ungefär lika lång bearbetningstid men givetvis så förekommer flaskhalsar. I Figur 4.4 visas de övergripande stegen som sker vid tillverkningen av ett motorblock.

Linans utformning gör att den är relativt känslig för störningar och avbrott, därför arbetas det väldigt hårt med uppföljning av störningar och stillestånd samt orsaken till dessa. Ett försök till att försöka minska känsligheten gjordes för ett par år sedan då en buffert placerades mellan steg 2 och 3. Den bufferten ska se till att den avslutande delen av flödet alltid har block att bearbeta och ge extra tid till att åtgärda mindre störningar tidigare i flödet.

Blocken transporteras i en rak följd och har inga alternativa vägar att gå. Enda möjligheten för blocken att gå om varandra är vid en buffert mellan steg 2 och 3. Om inga störningar förekommer passerar blocken förbi bufferten och påbörjas i steg 3. Därmed går de före blocken som för tillfället redan ligger i bufferten.



Figur 4.4: Produktionssteg för motorblock, D12

1. *Grovbearbetning*

I det första steget sker all grovbearbetning av blocket. I åtta olika operationer sker fräsning av blockets olika plan, borrning av ramlager- och kamaxelhål, borrning av oljehål samt grovborrning av cylinderlägena.

2. *Borrning och gängning*

Detta produktionssteg består av sex separata operationer. Framförallt borrar och gängas hål på alla sidor om blocket innan tvättning och torkning sker. Steget avslutas med att ramlageröverfallen monteras i en robotstation.

3. *Finbearbetning*

Sista steget är uppdelat i tio olika operationer. Först sker finfräsning av blockets olika plan samt hening av ramlagren. Vidare monteras kambussningar innan tvättning sker. Slutligen monteras pluggar innan blocket täthetstestas och slutkontrolleras.

4.5.2 PRODUKTIONSSTYRNING

Produktionen styrs idag genom att kontrollera antalet block som finns i färdigbufferten och hur länge de täcker efterfrågan. Antalet i färdigbufferten visas på en Kanbantavla som är markerad med nivåer. När antalet har nått upp till en viss nivå stannar man produktionen och tvärtom när förbrukningen har varit tillräckligt stor och nått samma nivå.

5 TEORETISK REFERENSRAM

I detta kapitel presenteras teorier och tankesätt som är direkt knutna till examensarbetet, i syfte att ge läsaren en bredare förståelse för ämnesområdet.

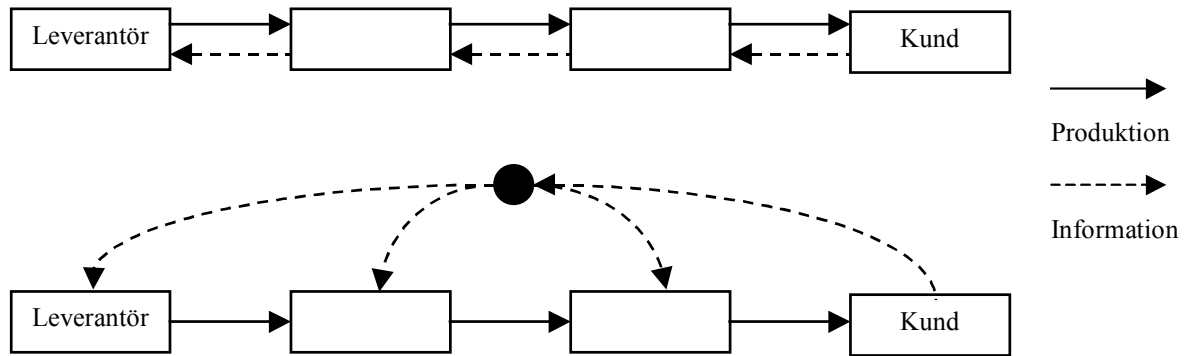
Eftersom Scania strävar efter att producera förbrukningsstyrt, och därmed i en pull-miljö, förklaras nedan pull- och push-begreppen och hur dessa skiljer sig åt. Vidare ges en kort beskrivning av JIT, Kanban och Conwip, då detta är teorier och arbetssätt tätt knutna till produktion i pull-miljö. Dessutom gör en presentation av OPT-filosofins tankesätt. Framförallt för att teorin på ett enkelt och överskådligt sätt radar upp hur flaskhalsar i produktionen bör behandlas. Planeringsmetoden cyklisk planering förklaras och slutligen görs en redogörelse av ledtid och dess beståndsdelar, samt olika sätt att reducera densamma.

5.1 PULL OCH PUSH

Produktionskontrollen i en verkstad kan generellt sett klassificeras i pull- eller push-system. I ett push-system bygger produktionen på en prognos, som utmynnar i en produktionsplan för alla delar i produktionskedjan. Planen ger order om att starta produktion längst bak i kedjan och när detta steg är avslutat skickas materialet vidare till nästa steg, som kan börja producera när materialet finns tillgängligt. På detta sätt trycks materialet framåt genom produktionsprocessen, för att slutligen nå slutkunden. Produktionsplanen baseras på när en order förväntas anlända till respektive steg, samt när detta steg förväntas ha avklarat alla föregående order. Planen läggs vanligtvis av central personal som är ansvarig för produktionsplaner för alla order och produktionssteg. Detta är ofta ett omfattande och komplicerat arbete som kan leda till långa köer i produktionen om planen inte håller hela vägen. Dessutom finns alltid en risk för överproduktion när order släpps mot prognos. (Nicholas, 1998)

I ett pull-system är produktionen aktiverad av ett behov längre fram i kedjan, vilket sker genom att produktion i ett produktionssteg startas när efterföljande steg indikerar att material har använts och skickats vidare i processen, se Figur 5.1. Produktion i varje steg kan därför bara ske när föregående steg är avslutat och batchen har skickats vidare. Genom att behovet av komponenter genereras i slutet av produktionsprocessen, och successivt vandrar bakåt i kedjan, kan det sägas att ordern ”dras” framåt.

I ett pull-system används inte detaljerade produktionsplaner, så som i ett push-system. Omedelbara beslut om när och hur många artiklar tas istället av operatörerna, med hjälp av ett enkelt signalsystem som visar när ett behov av material har uppstått. Detta fungerar på så sätt att en liten buffert är placerad mellan varje produktionssteg, varifrån material tas till efterföljande steg. När bufferten har sjunkit till en viss nivå går en signal till föregående produktionssteg om att producera upp till nivån igen. En stor fördel med pull-systemet är att det är enkelt och effektivt, och med relativt lite lager får systemet material att flöda igenom det för att möta efterfrågan. Däremot kan detta system inte fungera helt utan buffertar. Det skulle då betyda att ledtiden för varje artikel blir lika lång som alla operationssteg sammanslagna.



Figur 5.1: Produktion enligt pull- (överst) resp. push-principen (underst)

Nicholas (1998) anser att det finns ett antal förutsättningar som måste vara uppfyllda för att ett pull-system ska kunna fungera framgångsrikt. Dessa förutsättningar består framförallt av:

- *Decentraliserat ansvar för planering och styrning*
Förutsättningen för pull-produktion är bland annat att stora delar av planerings- och styrningsansvaret i produktionen ligger hos driftledare och operatörer.
- *Fokus på att producera endast det som efterfrågas*
Produktion får bara startas om det har signalerats ett behov längre fram i kedjan. Det är inte tillåtet att starta produktion endast av den anledningen att det finns ledig tid i maskinerna.
- *Hög kvalitet och förebyggande underhållsarbete*
Produktion med låga lagernivåer ställer höga krav på maskiners tillgänglighet och på att allt som skickas vidare till nästa produktionssteg håller önskvärd kvalitet.
- *Korta ställtider*
Små partistorlekar är nödvändigt för produktion med låga lagernivåer, och det i sin tur ställer krav på korta ställtider i maskiner.
- *Flödesorienterad layout*
Även separerade arbetsstationer och produktionsceller måste åtminstone ha en tänkt koppling till övriga produktionssteg för att ge en synkroniserad produktionsprocess. För ett jämt materialflöde genom processen måste alla produktionssteg ha ungefär samma kapacitet och möjlighet att producera efter den takt som efterfrågan bestämmer.
- *Jämna produktionsplaner och begränsad produktflora*
Ett pull-system kan generellt sett hantera variationer på $\pm 10\%$, större variationer måste utjämnas i förväg.

5.2 JIT-PRODUKTION

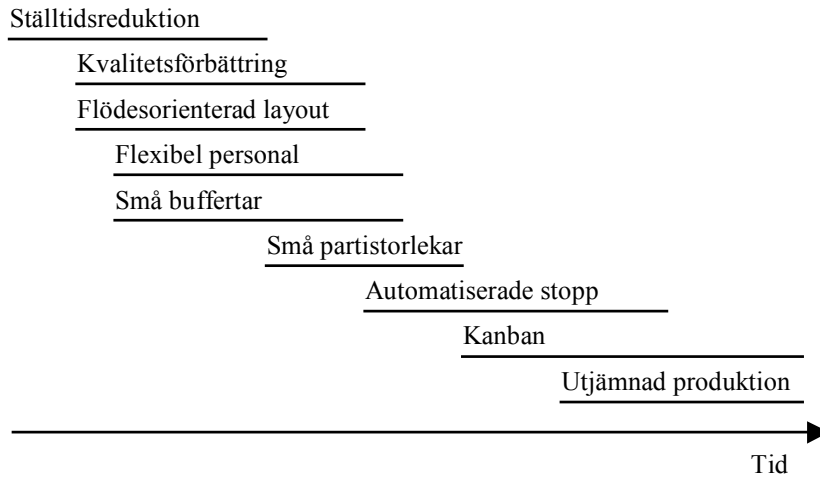
Just In Time, JIT, är en produktionsfilosofi med målet att producera rätt produkter i rätt mängd och just när de behövs, varken förr eller senare. Detta syftar till att producera med låga lagernivåer och få produkter i arbete, PIA, vilket ska medföra att brister och problem i produktionen synliggörs till skillnad från att döljas av lager. Tanken är att det är bättre att upptäcka och åtgärda fel och obalans i produktionen än att klara av problemen tillfälligt med säkerhetslager. Mycket produkter i arbete kan kännas tryggt och bekvämt, men är kostsamt genom att det binder material och kräver omfattande materialhantering och förrådshållning. Dessutom ökar tiden för återkoppling av information från kvalitetskontroller. (Olhager, 2000)

I stora drag handlar JIT om att reducera den tid en produkt inte tillförs något värde. För att kunna identifiera och minimera denna icke värdeadderande tid krävs en tydlighet och enkelhet i produktionen samt ett decentraliserat ansvar för förbättringsarbetet. Denna strävan kan enligt Slack *et al* (2001) sammanfattas i tre grundelement:

- *Eliminera allt slöseri*
Grunden i JIT är att alla aktiviteter som inte tillför produkten något värde ska bort. Värdeadderande aktiviteter är allt som tillför ett mervärde för kunden som denne vill betala för. Exempel på slöserier är kontroller, kö- och väntetid, transport mellan operationer osv. (se kapitel 5.8). Denna strävan bygger på idén att en kontinuerlig reduktion av slöserier i form av extrabuffertar, med tiden ska lära systemet att klara sig utan dem.
- *Engagerad personal*
Det är viktigt att arbetet med att identifiera och eliminera slöserier sker decentraliserat, framförallt genom den personal som arbetar i produktionen. Detta ställer krav på tydlighet i produktionen och på att alla känner ett gemensamt engagemang.
- *Ständiga förbättringar*
En betydande grundtanke bakom JIT är att ständigt eftersträva förbättring i produktionssystemet. Genom att hela tiden ifrågasätta och leta förbättringspotential blir systemet inte statiskt och ska på så sätt vara med och driva företagens utveckling framåt. Metoden bygger på att ständigt genomföra små och stegvisa förbättringar med målet att det ackumulerade resultatet av dessa ska leda till stora förtjänster.

Produktion i enlighet med JIT sker företrädesvis enligt pull-princip (Nicholas, 1998), och för detta behövs ett beordringssystem för produktion och transport som kan kontrollera lager och PIA-nivåer. För den funktionen utvecklades Kanban av den japanska biltillverkaren Toyota och är idag vida använt för realisering av JIT, se kapitel 5.3.

JIT-produktionen ställer krav på produktionsförutsättningarna i form av korta ledtider, små partistorlekar, korta ställtider, flexibel personal samt decentraliserat kvalitetsarbete. Figur 5.2 visar en implementeringsplan för JIT, som bland annat visar vad som krävs innan ett Kanbansystem kan införas.



Figur 5.2: Implementeringsplan för JIT (Olhager, 2000)

5.3 KANBAN

Kanban är ett informationssystem för produktion och materialhantering i syfte att kontrollera och reducera PIA-nivåer. Systemet kan användas både för produktionsbeordring och/eller transportbeordring av material och fungerar med hjälp av cirkulerade kort, eller så kallade Kanban, som är japanska för kort. Korten innehåller information om önskad artikel som ska transporteras eller produceras och vilken kvantitet som önskas. Varje kort hör sedan samman med en lastbärare för att fysiskt förflytta materialet i. Inget får transporteras eller produceras utan att det har blivit beordrat av ett Kanban.

Två olika sorters Kanban kan användas, transportkanban och produktionskanban. Transportkanban cirkulerar mellan en förbrukande arbetsstation och en lagerpunkt. Det är också möjligt att Kanban går mellan en förbrukande arbetsstation och en leverantör om även dessa är inkluderade i systemet. Produktionskanban används inom den producerande linan/enheten och förser arbetsstationen med information om partistorlek och operationsdata. Vanligast är att dessa två typer av Kanban används tillsammans, men det förekommer också att bara en av dessa typer används. Det är även möjligt att kombinera dessa två till ett sorts Kanban som utför både transport och produktionsbeordring. Med andra ord måste detta kort innehålla all nödvändig information för båda dessa aktiviteter.

En arbetsstation startar sin produktion då en produktionsbeordring inkommer i form av ett produktionskanban, samtidigt tas material från dess inbuffert. Därefter uppstår då ett behov i arbetsstationens inbuffert, vilket genererar en transportorder. Denna transportorder utgörs av ett Kanban och en lastbärare som beordrar transport från föregående arbetsstations utbuffert till efterföljande inbuffert. Detta kommer i sin tur

innebära att behov uppstår hos föregående arbetsstations utbuffert och en produktionsorder utgår från denna, osv.

Vid utformning av ett Kanbansystem utnyttjas produkternas produktstrukturer för att skapa enkla och tydliga flöden. Det beror på att materialflödet ska motsvaras av produkternas successiva färdigställande. (Olhager, 2000)

Antalet Kanban för en given artikel bestäms av följande samband:

$$y = \frac{DL(1 + \alpha)}{a}$$

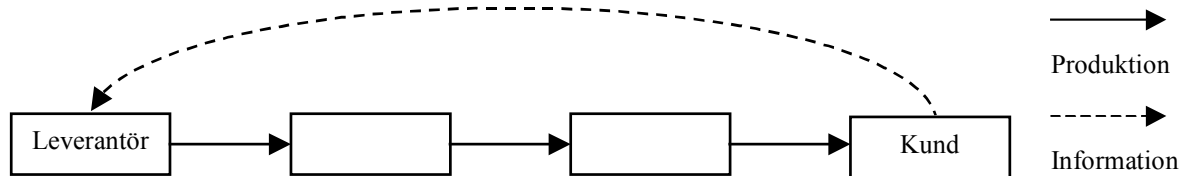
där y = antal Kanban
 D = efterfrågan per tidsenhet
 L = ledtid, inklusive inspektionstid av Kanban
 α = säkerhetsfaktor
 a = antal enheter av en artikel i en lastbärare

Kanban blir bara meningsfullt om produktionen är repetitiv med korta mellanrum i behovet, och för att Kanban ska förverkliga JIT-produktionens principer bör efterfrågan vara jämn och hög. Det är också nödvändigt att kunna förutsätta efterfrågan, då framförhållning behövs för att kunna utforma flöden och bestämma antalet Kanban som ska cirkulera. Det är också fördelaktigt om leveranser från leverantörer är korta, säkra och täta för att de fördelar med låga lagernivåer, som Kanban är tänkt att ge, ska bli möjliga. Dessutom är det viktigt att produkterna är relativt standardiserade för att Kanbanflödet inte ska bli för komplicerat, eftersom varje artikel ger upphov till ett eget Kanbanflöde.

5.4 CONWIP

I dynamiska miljöer, med varierande efterfrågan och processtider, blir det omöjligt att linjebalansera och synkronisera produktionen på det sätt som ett Kanbansystem kräver. En variant på Kanban, kallat Conwip (Constant work in progress), kan då med fördel användas, vilket har konstruerats för att klara mer dynamiska miljöer.

Precis som Kanban använder Conwip-systemet kort för att kontrollera PIA-nivån, men de tar en annan väg. Korten förs samman med en produktionsbatch i början av produktionslinan och följer sedan med batchen genom hela produktionsprocessen till sista stationen. Först därefter återförs kortet till början av processen för att återanvändas till en ny batch, se Figur 5.3. Ingen batch får påbörjas utan att det finns ett medföljande kort och på detta sätt kontrolleras den totala mängden PIA i hela processen. Däremot finns ingen kontroll av PIA-nivån för varje produktionsenhet på samma sätt som fås med Kanban (Framinan *et al* 2001). Genom detta kan det sägas att Conwip övergripande används i ett pull-system, men när produktionen av en batch har påbörjats kommer produktionen att ske i ett push-system.



Figur 5.3: Conwip-systemets utformning (fritt efter Hopp och Spearman, 1991)

I ett Kanbansystem används varje kort för att signalera produktion eller transport av en specifik artikel. I Conwip är produktionskortet tillägnade en viss produktionslina, men inte en viss artikel. Kortet tilldelas artiklarna i början av produktionsprocessen och tilldelningen baseras på en orderstock.

Produktions- eller lagerpersonal är ansvariga för kontrollen av orderstocken. I många fall genereras den av ett MPS-system, men den kan också bestå av verkliga kundorder. Personalen har möjlighet att arrangera om ordningen på orderstocken och/eller addera artiklar till den. Men under inga omständigheter får de starta produktion av artiklar innan ett kort finns tillgängligt, även om den första produktionsstationen står tom.

Ködisciplinen som gäller vid varje produktionsenhet inne i produktionsprocessen är vanligtvis "First come first served", FCFS, (Spearman *et al* 1990). Detta är praktiskt i ett relativt statiskt system, exempelvis vid produktion mot lager. Ska systemet klara en mer dynamisk miljö kan det vara lämpligt att använda andra ködiscipliner, exempelvis "Shortest process time", SPT, (Framinan *et al* 2000).

Syftet med Conwip är att få ett system som kan utnyttja de fördelar som ett pull-system innebär, gällande PIA-kontroll och tydliga flöden, men som samtidigt kan användas i många typer av miljöer. Kanban passar inte i alla produktionsmiljöer, exempelvis då produktmixen är stor. Då blir det framförallt svårt med utrymme för lastbärare till varje artikel, och även om det kan ordnas skulle PIA-nivåer bli onödigt höga. (Spearman *et al* 1990)

Det finns en teoretisk anledning att anta att Conwip ger lägre PIA-nivåer än ett Kanbansystem med samma produktion (Spearman och Zazanis, 1988, genom Spearman *et al* 1990). Det kan lättast inses vid betraktandet av ett system med en tydlig flaskhals. I ett Kanbansystem kommer det vanligtvis alltid att finnas PIA vid varje arbetsstation hela tiden. I ett Conwip-system kommer PIA att samlas vid flaskhalsen. På detta sätt utnyttjar Conwip-systemet flaskhalsen bättre och har därför en bättre genomströmning (Spearman *et al* 1990).

Vidare stödjer Conwip naturligt en av OPT-teorins regler, "balansera flödet, inte kapaciteten" (se kapitel 5.5). Detta sker genom att Conwip-systemet regleras av flaskhalsen i flödet. Utnyttjandet av denna resurs kommer att bestämma kapaciteten för hela flödet, medan andra resurser stundtals kommer att stå oanvända. Om efterfrågan på arbete för processen är tillräcklig kommer ett Conwip-system, med rätt antal kort, att upprätthålla exakt den PIA-nivå som behövs för att utnyttja flaskhalsen fullt ut. Börjar köer byggas upp före flaskhalsen kommer det inte att finnas nya kort

tillgängliga i slutet av processen för att släppa nya batcher. Om flaskhalsen istället bearbetar batcher snabbare, kommer det att finnas fler tillgängliga kort för att starta produktion oftare.

5.5 OPT

Optimized Production Technology, OPT, utvecklades i Israel under slutet av 70-talet med syftet att tjäna mer pengar åt tillverkande företag. Med finansiella mått kan detta representeras av nettovinst, avkastning på satsat kapital och kassaflöde. I en producerande verksamhet försöker man uppnå målet genom att fokusera på genomflödet, lager och tillverkningskostnader. (Brown *et al* 1996)

- *Genomflödet* avser takten som verksamheten kan sälja de färdiga produkterna och på så sätt få in pengar. Det är viktigt att skilja denna takt från tillverkningstakten som i sig bara genererar kostnader. Olika delkomponenter blir mycket värda först när de är sammansatta till en färdig produkt som kan säljas.
- *Lager* ur ett OPT-perspektiv anses vara råmaterial och komponenter samt icke ännu sålda färdiga produkter. Lager innefattar således inte värdeadderande aktiviteter och påslagskostnader. Detta för att det inte ska påverkas av störningar som kan uppstå vid bokföring och avskrivningar av lager.
- *Tillverkningskostnader* betecknas som kostnaden för att göra om lager till färdiga produkter som kan säljas. Det innefattar bl.a. direkta och indirekta löner, värme, belysning, lokaler o.s.v.

Genom att öka genomflödet, minska tillverkningskostnaderna samt minska lagren kommer nettovinsten, avkastningen på satsat kapital och kassaflödet att öka.

En produktionskedja kommer alltid att ha en eller flera resurser som bromsar flödet. Dessa kallas för kritiska. Är de dessutom fullbelagda kallas de flaskhalsar, i och med att de begränsar flödet i produktionskedjan. OPT innehåller ett antal olika principer för hur flaskhalsar bör hanteras. Olhager (2000) skriver att ett grundläggande antagande för OPT är att flaskhalsar begränsar produktionsflödet och att kortare genomloppstider och högre omsättningshastighet uppnås genom ett högre kapacitetsutnyttjande i just flaskhalsarna. Med andra ord eftersträvas så mycket produktiv tid som möjligt. Omställningar stjälar dyrbar tid och därför bör dessa undvikas genom att tillverka stora serier. I de resurser som inte är kritiska eftersträvas det motsatta eftersom de har extra kapacitet gentemot flaskhalsen och bör underordnas dess behov. Partistorleken kan med andra ord variera för de olika resurserna.

Browne *et al* (1996) tar upp tio regler för hur OPT fungerar. Man brukar kalla dessa för begränsningsteorin, Theory of constraints, TOC. Åtta av reglerna hanterar hur en ”optimal” planering/ordning kan uppnås, medan de övriga två avser att förhindra att traditionella mätsystem stör utförandet av denna planering.

1. *Utnyttjandegraden av en icke-flaskhals styrs ej av dess egen potential – utan av någon annan begränsning i systemet*
Icke-flaskhalsar ska planeras så att det passar flaskhalsen. På så sätt kontrolleras antalet produkter i arbete samtidigt som flödet till flaskhalsen säkras. En för hög utnyttjandegrad av en icke-flaskhals medför att onödiga lager byggs upp mellan de olika operationerna.
2. *Utnyttjande och aktivering av en resurs är inte samma sak*
Utnyttjande av en icke-flaskhals innebär att den stödjer flaskhalsen. Aktivering däremot syftar på produktion utöver vad flaskhalsen kan klara av och därmed kan onödigt lager byggas upp inom produktionen.
3. *En förlorad timme i en flaskhals är en förlorad timme för hela systemet*
Takten och hela produktionen bygger på att flaskhalsen utnyttjas optimalt. Att maximera produktionen innebär att utnyttja flaskhalsens kapacitet maximalt. Ställtid är icke värdeskapande tid och således strävas det efter att minska ställtiden i flaskhalsen för att istället få så mycket bearbetningstid som möjligt.
4. *En sparad timme i en icke-flaskhals är betydelselös*
Att spara tid i en icke-flaskhals kommer inte att påverka produktionstakten i och med att den styrs av flaskhalsen. P.g.a. att icke-flaskhalsen har en del ledig tid gentemot flaskhalsen så är inte sparad ställtid i en sådan resurs lika värdefull i och med att den då istället omvandlas till ännu mer ledig tid.
5. *Flaskhalsar styr både genomflöde och lager i systemet*
Flaskhalsens takt styr hela systemet och därmed är det av största vikt att den hålls sysselsatt. För att undvika störningar kan en buffert placeras framför flaskhalsen som säkerställer att det hela tiden finns arbete att utföra. Icke-flaskhalsar behöver ingen buffert tack vare att de har extra kapacitet jämfört med flaskhalsen.
6. *Försörjningsbatchen bör inte – och många gånger skall inte – vara lika med produktionsbatchen*
Produktionsbatchen i en flaskhals kan delas upp i mindre batcher som transporteras vidare till nästa operation innan hela batchen är klar. Metoden kallas för överlappning, se 5.7.2. Syftet med detta är att öka genomflödet samtidigt som lager och tillverkningskostnader hålls nere.
7. *En produktionsbatch skall variera i storlek längs dess väg genom produktionsprocessen och över tiden*
I flaskhalsen eftersträvas stora batcher för att uppnå så mycket produktiv tid som möjligt. I icke-flaskhalsar kan mindre batcher tillämpas och därmed få ner antalet produkter i arbete och ledtider. Detta resonemang kan kopplas samman med tänkandet att ställtid i en flaskhals är kostsamt p.g.a. den begränsade tiden. I en icke-flaskhals anses ställ däremot vara gratis tack vare den lediga tid som finns.

8. *Prioritet kan bara sättas genom analys av systemets samtidigt verkande begränsningar. Ledtiden är en funktion av planeringen*
Den faktiska ledtiden är inte konstant utan beror bl.a. på beläggningen av maskiner, partistorlekar och ställtider. Ledtiden för en viss order varierar mycket beroende på hur prioriteringen av order sker i flaskhalsen. Generering av en produktionsplan kan därför endast genomföras om hänsyn tas till alla begränsningar och möjligheter i systemet samtidigt.

9. *Balansera flödet – inte kapaciteten*
Kapaciteten styr flödet, men det betyder inte att alla maskiner ska ha samma kapacitet. Icke-flaskhalsar behöver inte utnyttjas maximalt. Flödet ska maximeras genom att anpassa produktionen efter kapaciteten i systemets flaskhals.

10. *Summan av lokala optimum är inte samma sak som globalt optimum*
Det gäller att se på systemet som en helhet och inte försöka mäta effektiviteten hos enstaka maskiner.

Olhager (2000) och Person och Virum (1999) är överens om att det är fördelaktigt om en flaskhals befinner sig tidigt i en produktionskedja. När produkterna har passerat flaskhalsen kommer de att "sugas" igenom de efterföljande operationerna tack vare den extra kapaciteten som de besitter. Olhager (2000) påpekar betydelsen av att ha en kvalitetskontroll före flaskhalsen så att denna inte bearbetar defekta produkter.

För att visualisera den nionde regeln refererar Wikner (2002) till boken "The Goal", skriven av Eliyahu Goldratt. Där jämför författaren tillverkningen med scouter på hajk. Scouterna har olika styrka och kapacitet men tvingas ändå att hålla ihop, ingen får passera någon annan. Avståndet mellan första och sista scouten motsvarar ledtiden och avståndet mellan individerna är det samma som lager. Tillverkningskostnaderna representeras av den energi som varje scout gör av med. Om den starkaste placeras först kommer avståndet hela tiden att öka oavsett var den svagaste placeras. Däremot kommer de övriga inte att ha några som helst problem att följa med om den svagaste placeras först eftersom de andra har extra kapacitet. Slutsatsen blir att genomflödet ökar om inget led i produktionslinan tillverkar mer än vad dess svagaste länk gör.

Om den svagaste länken av någon anledning inte kan placeras som önskas, utan befinner sig någonstans mitt i ledet, skulle en lösning kunna vara att den förste scouten styr takten med hjälp av en trumma, vilket då skulle motsvaras av en taktbaserad produktion. Ett annat alternativ är att fästa en lina mellan den långsamma scouten och den första scouten för att försäkra sig om att alla håller samma takt. För att undvika ryckighet i systemet bör linan hållas slak.

5.6 CYKLISK PLANERING

1960 lanserades denna metod vid Volvo av Sven Brutsner och Sune Eriksson. Likt OPT så utgår metoden från den begränsande resursen vid planeringen. Förutsättningen för att cyklisk planering ska användas är att efterfrågan är stabil, produktmixen är bestämd över en längre tid framöver samt att det finns en begränsande resurs. Den begränsade resursens kapacitet utgör en central roll vid cyklisk planering. Framförallt ska köbildningen vid den kritiska resursen kontrolleras. (Olhager, 2000)

Den här metoden tar hänsyn till att flera produkter konkurrerar om samma resurs. Beslutsvariabel är cykeltiden som i det vanligaste fallet av cyklisk planering är gemensam och därmed tillverkas varje produkt en gång per cykel. För att översätta det till orderkvantitetens storlek så motsvaras den av efterfrågan under cykeltiden.

Den totala kostnaden för omställning och lagerhållning ska minimeras samtidigt som kapaciteten ska räcka till.

$$\text{Minimera } C = \sum_{i=1}^n K_i \frac{1}{T} + H_i \frac{D_i T}{2} (1 - t_i D_i)$$

där T = Cykeltid, gemensam för alla produkter
 K_i = Uppsättningskostnad för produkt i
 H_i = Lagerhållningskostnad för produkt i
 D_i = Efterfrågan per tidsenhet av produkt i
 t_i = Operationstid för produkt i

Den gemensamma cykeltiden fås genom att derivera målfunktionen och därmed erhålls:

$$T^* = \sqrt{\frac{2 \sum K_i}{\sum H_i D_i (1 - t_i D_i)}}$$

Detta blir den ekonomiskt fördelaktigaste cykeltiden men det är inte säkert att kapaciteten räcker till för att kunna genomföra den. Därför måste en motsvarande cykeltid tas fram med hänsyn till kapaciteten. Alla ställ- och operationstider ska hinnas med under en cykel:

$$\sum_{i=1}^n (s_i + t_i D_i T) \leq T$$

där s_i = ställtid för produkt i

Sätts ekvationen till likhet fås uttrycket:

$$T_{\min} = \frac{\sum S_i}{1 - \sum t_i D_i}$$

Nu krävs ett val av cykeltid. Om den ekonomiskt fördelaktigaste cykeltiden är genomförbar med hänsyn till kapaciteten så väljs den.

$$T_{opt} = \max\{T^*, T_{\min}\}$$

Cyklisk planering, likt OPT, fokuserar på den begränsande resursens kapacitet och utnyttjandet av densamma. Cykeln ger upphov till ett jämnare materialflöde och att kortare köer kan uppnås, mycket tack vare de konstanta ankomstintervallerna. Detta leder i sin tur till att lagernivåer, genomloppstider och PIA hålls nere.

För att använda planeringsmetoden cyklisk planering är jämn efterfrågan en förutsättning och variationer är inte önskvärda. Om variationerna skulle vara tillräckligt stora krävs en omplanering. Dessutom krävs ytterligare planering för flödet innan och efter flaskhalsen. Behov av säkerhetslager måste beräknas enskilt efter att den cykliska planeringen är gjord.

Cyklisk planering passar bäst, som ovan nämnts, när efterfrågan är hög och jämn. Helst ska också produktmixen hållas intakt över en längre tid i och med att planeringen bygger på hur de olika produkterna belägger den begränsande resursen. (Olhager, 2000)

5.7 LEDTID

Ledtids betecknas allmänt av Persson och Virum (1998) som tiden från att ett behov har uppstått till dess att behovet är tillfredställt. Tidsbegreppet är dock olika i olika sammanhang och har därmed olika innebörd. Sett ur ett producerande företags perspektiv är tiden från det att ett behov har uppstått tills dess att produkten är producerad och klar för leverans intressantast. Olhager (2000) betecknar den som produktionsledtid och avser då tiden det tar för produkten genom de olika förädlingsstegen. Denna tid omfattar alltså tiden från uttaget i förrådslagret till leverans in till färdigvarulagret. Eventuella lager däremellan ingår därmed i produktionsledtiden. Vanligen betecknas produkterna inom denna ledtid för PIA.

Produktionsledtiden kan delas in i ett antal olika delar (Browne *et al* 1996 och Olhager, 1997):

- *Ställtid:*
Tiden det tar att ställa om en resurs från att tillverka en variant av produkt till en annan.
- *Operationstid:*
Tiden ett operationssteg tar i anspråk för att färdigställa produkten för nästa steg.

Denna tid kan även delas upp i ytterligare två delar, en tid för färdigställandet av en bit och en annan för färdigställandet av ett helt parti.

- *Transporttid:*
Den tid det tar att transportera en produkt till nästa steg.
- *Väntetid:*
Tiden då produkten väntar på att transporteras till nästa operation.
- *Kötid:*
Den tid som produkten får vänta innan den efterföljande operationen påbörjas.

Ett annat sätt att dela in ledtiden är att skilja mellan tid som är värdeadderande respektive icke värdeadderande (Christopher, 1998 och Anupindi *et al* 1999):

- *Värdeadderande:*
Tid som tillför produkten ett värde som kunden är bredd att betala för eller önskar.
- *Icke värdeadderande:*
Aktiviteter som måste utföras på grund av olika omständigheter men som inte tillför något värde betecknas som icke värdeadderande.

Detta är mycket nära förknippat med fokusering på slöseri i produktionen, se kapitel 5.8.

Vad som kan anses värdeadderande eller inte är inte alltid konstant. För ett tillverkande företag anses transporter vara icke värdeadderande tid i och med att kunden inte får något mervärde bara för att produkten transporteras runt i fabriken mellan olika operationer. För ett transportföretag däremot så är det i allra högsta grad värdeadderande tid i och med att deras värdeadderande bygger på att transportera kundens produkter från en plats till en annan.

I en jämförelse mellan de olika synsätten upptäcks ganska snart att operationstid och värdeadderande tid är likartade medan de övriga; ställtid, transporttid, väntetid och kötid, kan, för det producerande företaget, samlas under rubriken icke värdeadderande tid. Transporttid, väntetid och kötid bildar tillsammans ett s.k. glapp mellan operationer. Glappet kan ofta utgöra mer än 90 % av den totala produktionsledtiden och således finns här den största potentialen för ledtidsförbättringar. (Olhager, 2000)

5.7.1 LEDTIDSREDUKTION

Att reducera produktionsledtiden är önskvärt för alla företag. Oavsett vilken styrning eller produktionsupplägg som finns från början medför det en rad positiva effekter. Olhager (1996) ger exempel på ett antal punkter som är tillräckliga skäl för ett företag att fokusera på ledtid:

- Färre produkter i arbete
- Lägre lagernivåer
- Mindre kapitalbindning
- Enklare planering
- Snabbare återkoppling av information
- Flexiblare produktion närmare kunden

Ledtiden kan vara en bra värdemätare på ett företags process. Anupindi *et al* (1999) ger följande exempel:

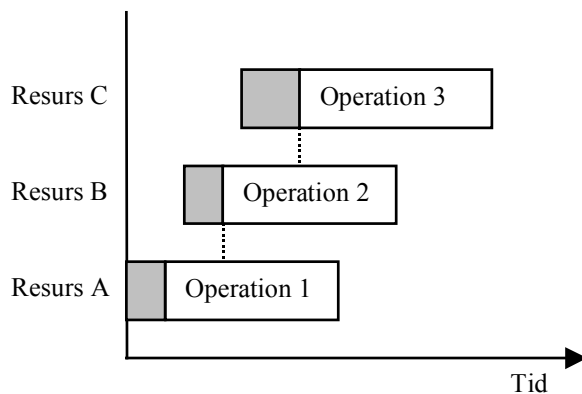
- Ledtiden påverkar i högsta grad hur snabbt ett företag kan reagera och leverera till kunden. Så länge som en produkt finns kvar inom företagets process är den otillgänglig för den tilltänkta kunden samtidigt som den inte skapar någon lönsamhet för tillverkaren. Kortare ledtider medför alltså att kunden snabbare får sin produkt och därmed kan minska sitt säkerhetslager. Även tillverkaren får ta del av det positiva med korta ledtider tack vare att betalningen för produkterna kommer in tidigare och därmed ökar lönsamheten.
- Korta ledtider inom tillverkning och leveransprocesser minskar antalet produkter i arbete, lager och tillhörande kostnader.
- På marknader som kräver korta produktlivscykler medför korta ledtider att tillverkningen kan senarelägga produktionen närmare försäljningstidpunkten. På så sätt erhålls extra tid för att kunna samla in viktig information om kundernas önskemål och krav, samt att kunna fasa ut de gamla produkterna på ett bättre sätt och slippa kostnader för skrotning och dylikt.
- Slutligen kan korta ledtider ses som ett mått på processer. Kontrollen av processernas effektivitet underlättas tack vare korta ledtider. En process som inte uppfyller kvalitetskraven kräver ett visst mått av omarbetningar eller extra kontroller och därmed ökar ledtiden. Korta ledtider leder istället till snabbare information om problem och därmed snabbare åtgärder för att eliminera dessa.

5.7.2 ÖVERLAPPNING OCH ORDERKLYVNING

Överlappning och orderklyvning är två tekniker som kan användas för att minska ledtiden för en enskild order. Dessa två tekniker är framförallt användbara vid batchtillverkning där planeringen sker tidsfasat. Om tillverkningen däremot sker taktbaserat är ledtiden starkt kopplad till de olika produktionsstegen, och därmed kan det vara svårt att minska ledtiden för enstaka order. Här är det istället viktigt att korta ledtider byggas in i produktions- och planeringssystemet. (Olhager, 2000)

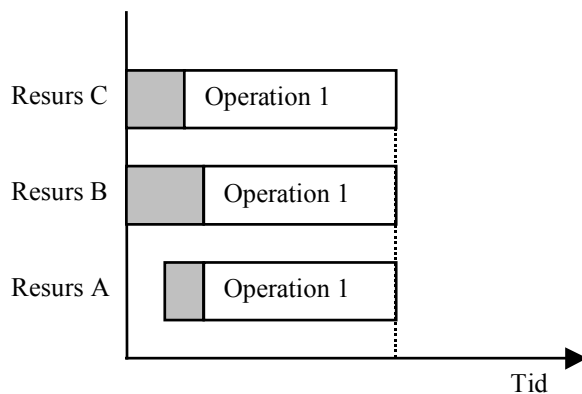
Överlappning, som illustreras i Figur 5.4, innebär att delkvantiteter av en batch transporteras till den efterföljande operationen innan hela batchen är klar i den nuvarande operationen. Extremfallet är då produkterna flyttas vidare i enstyck och på så sätt skapar ett mer kontinuerligt flöde. Arbets sättet leder till att ledtiden för batchen

som helhet reduceras. Ytterligare ledtid kan kapas om omställningarna är synkroniserade och är klara innan första biten ska bearbetas. Den här tekniken är främst användbar inom repetitiv produktion där produktionsstegen inte är sammanbundna men ändå inte allt för separerade med långa avstånd. Den stora nackdelen uppstår i och med att antalet transporter kan komma att öka avsevärt. Undantaget är om delenheten motsvarar en hel transportenhet. I det fallet kommer antalet transporter att vara konstant samtidigt som beläggningen av transportmedel kan komma att utjämnas och därmed minska väntetiden för batchen. Extremfallet, förflyttning i enstyck, passar sig bäst för taktad tillverkning (pull-miljö) där produktionsstegen är tätt sammankopplade och behovet av transportmedel inte är lika stort. (Olhager, 2000)



Figur 5.4: Överlappning

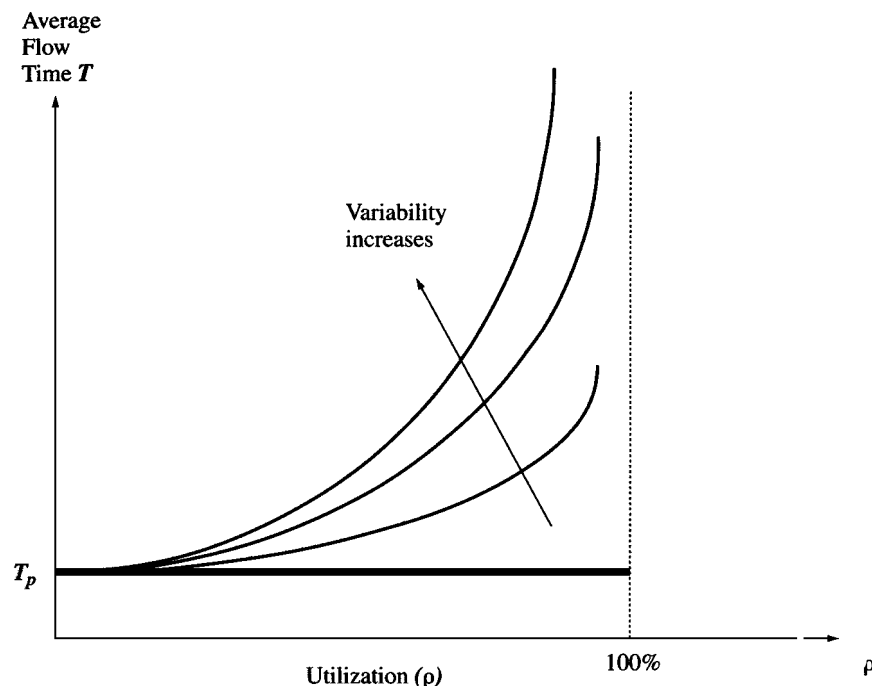
Orderklyvning handlar om att dela upp en batch i flera olika delar som kan bearbetas på olika resurser, se Figur 5.5. Tack vare att den totala operationstiden fördelas på parallella resurser så reduceras den totala ledtiden för batchen som helhet. Om resurserna arbetar olika snabbt gäller det att räkna ut den längsta ledtiden och planera de andra resursernas starttider så att de blir klara samtidigt som den långsammaste resursen eller att storleken på partierna varierar så att de ändå blir klara samtidigt. Det negativa med det här arbetssättet är att det krävs extra resursomställningar och flera uppsättningar med verktyg. Varje maskin måste ha sin uppsättning med verktyg p.g.a. att bearbetningen sker parallellt. (Olhager, 2000)



Figur 5.5: Orderklyvning

5.7.3 KÖ- OCH VÄNTETID

Anupindi *et al* (1999) redogör för två andra aspekter när det gäller att reducera ledtider. Det första är att variationer skapar köer och förseningar och därmed finns ett direkt samband med ledtider. Variationerna finns både i när ankomst av batcher sker och tiden det tar att bearbeta hela batchen. När stora variationer finns måste ett avvägande göras mellan utnyttjandegrad av maskiner och ledtider, se Figur 5.6. För att minska ledtiden kan antingen kapaciteten ökas genom att införskaffa fler resurser och på så sätt få bort variationerna i ankomst av material p.g.a. överbelagda maskiner. Det andra sättet är att minska variationerna i bearbetningen genom att standardisera processer och schemalägga på ett effektivt sätt. Förhållandet mellan utnyttjandegraden och kötiden illustreras i figuren nedan:



Figur 5.6: Kötiden som funktion av utnyttjandegrad och variabilitet (Anupindi *et al* 1999)

Som framgår av figuren kan kötiden reduceras antingen genom att minska utnyttjandegraden eller genom att minska variationerna.

Den andra aspekten för att minska ledtiden är att minska den teoretiska ledtiden som består av den tid det tar att producera en produkt utan några väntetider. Operationer som måste ske efter varandra i en följd bygger upp en väg som är kritisk. Operationer som ligger längs denna väg påverkar i högsta grad den totala ledtiden i och med att de beror på varandra och måste utföras i sekvens efter varandra. Blir en operation försenad gör det att alla de efterföljande operationerna också blir försenade. Den teoretiska ledtiden är alltså uppbyggd av de operationstider som befinner sig längs den kritiska vägen. Det gäller att minska arbetet längs den kritiska vägen, eller om det inte är möjligt, flytta ut arbete från densamma.

Att reducera arbete längs den kritiska vägen kan göras genom att:

1. *Arbeta smartare, eliminera icke värdeadderande moment*
Genom att bryta ner processer i små enskilda delar är det enklare att följa flödet längs en process och därmed även identifiera slöseri och vilka delar som inte behöver utföras alls.
2. *Arbeta snabbare, öka takten på varje operation*
Hastigheten med vilken en operation utförs kan förbättras på ett antal olika sätt. Om manuellt arbete sker gäller det att minimera onödiga rörelser och lägga upp arbetet på ett standardiserat och enkelt sätt. När det gäller maskiner handlar det främst om investeringar i snabbare utrustning och att samla resurserna på ett och samma ställe.
3. *Gör rätt från början, minimera antalet omarbetningar och repetition av arbete*
Att minska antalet omarbetningar och repetitivt arbete kan uppnås med hjälp av säkra processer. Exempel på det är statistisk kontroll av de tillverkade produkterna som används som hjälp för att förbättra processerna och även för att tidigt upptäcka problem. Utbildning av operatörer är då viktigt.
4. *Ändra mixen av produkter*
Produktmixen bestäms oftast av efterfrågan på markanden som därmed även påverkar processens ledtider om produkterna har varierande operationstider. Att försöka ändra produktmixen till fler produkter med kortare operationstider påverkar i högsta grad ledtiden för processen som helhet.

Den teoretiska ledtiden kan även reduceras genom att minska antalet moment längs den kritiska vägen och istället utföra dem parallellt, vilket gör att de inte påverkar ledtiden på samma sätt. Att utföra moment före eller efter den kritiska vägen är också ett tillämpligt sätt som reducerar ledtiden. Att tidigarelägga respektive senarelägga vissa moment gör att den kritiska vägen blir kortare och därmed enklare att planera och utföra.

5.7.4 STÄLLTIDER

Företag har traditionellt försökt att hålla nere antalet omställningar p.g.a. att de kostar pengar (tar tid och personal i anspråk) och samtidigt inte producerar något. Det har medfört att stora serier har tillverkats för att ställkostnaden ska bli mindre per tillverkad detalj. Inom tillverkning sägs en omställning sträcka sig från sista enheten i det avslutande partiet till dess att den första godkända enheten av nästa parti är tillverkad. Med andra ord ingår justeringar av maskinen till dess att full produktion kan ta vid. Omställningen omfattar både aktiviteter direkt kopplade till produktionsprocessen och administrativa aktiviteter. En omställning sker i följande kronologiska ordning (Olhager, 1997):

1. *Initiering* av omställning, genom utsläpp av en tillverkningsorder.
2. *Förberedelse* av nödvändig utrustning som verktyg, fixturer och NC-program samt material. Detta omfattar uttag av verktyg och material samt transport av detta till arbetsstationen.
3. *Uppsättning*, för bearbetning av ett nytt parti, d.v.s. positionering och fastsättning av verktyg och fixturer samt inställning av nya bearbetningsdata.
4. *Processjustering*, för att säkerställa god produktkvalitet, genom provtagning och inspektion.
5. *Bearbetning* av partiet (ingår ej i omställningen).
6. *Nedtagning* av verktyg och fixturer.
7. *Avslutning*, d.v.s. återlämning av verktyg och fixturer, rapportering av avslutad operation, inklusive ställ- och operationstid.

Traditionellt har efterfrågan ansetts vara något statisk och samtidigt betraktades ställtids och ställkostnad som fasta och svåra att påverka. På senare tid har det japanska tänkandet med förbrukningsstyrd produktion börjat ta över allt mer och fokus har riktats på att snabbt kunna följa med förändringar i efterfrågan. Som en följd av detta anser vissa att ledtider och partistorlekar påverkas av hur långa ställtiderna är. Korta ställtider har därför kommit fram som en metod för att få kortare ledtider och för att uppnå JIT-produktion. Att förenkla och förkorta omställningarna medför ett antal positiva effekter (Nicholas, 1998):

1. *Kvalitet*

Operatörer gör i regel färre misstag när de följer enklare procedurer. Med standardiserade omställningar kan en högre kvalitet uppnås samtidigt som extra kontroller och osäkerheter kan elimineras.

2. *Kostnader*

Om omställningstiden är kort finns det möjlighet att kunna producera i mindre partier och därigenom minska antalet produkter i arbete samt lagerhållningen av färdiga produkter. Enklare omställningar kräver inte lika mycket arbete och därmed blir det också billigare.

3. *Flexibilitet*

Med snabba omställningar finns det en större möjlighet att följa med en allt mer varierande efterfrågan på olika produkter.

4. *Utnyttjandegrad*

Om omställningarna är så pass enkla att vilken operatör som helst klarar av det kommer det innebära att operatörerna bättre utnyttjas, samtidigt som specialisterna kan ägna sig åt att förenkla andra omställningar.

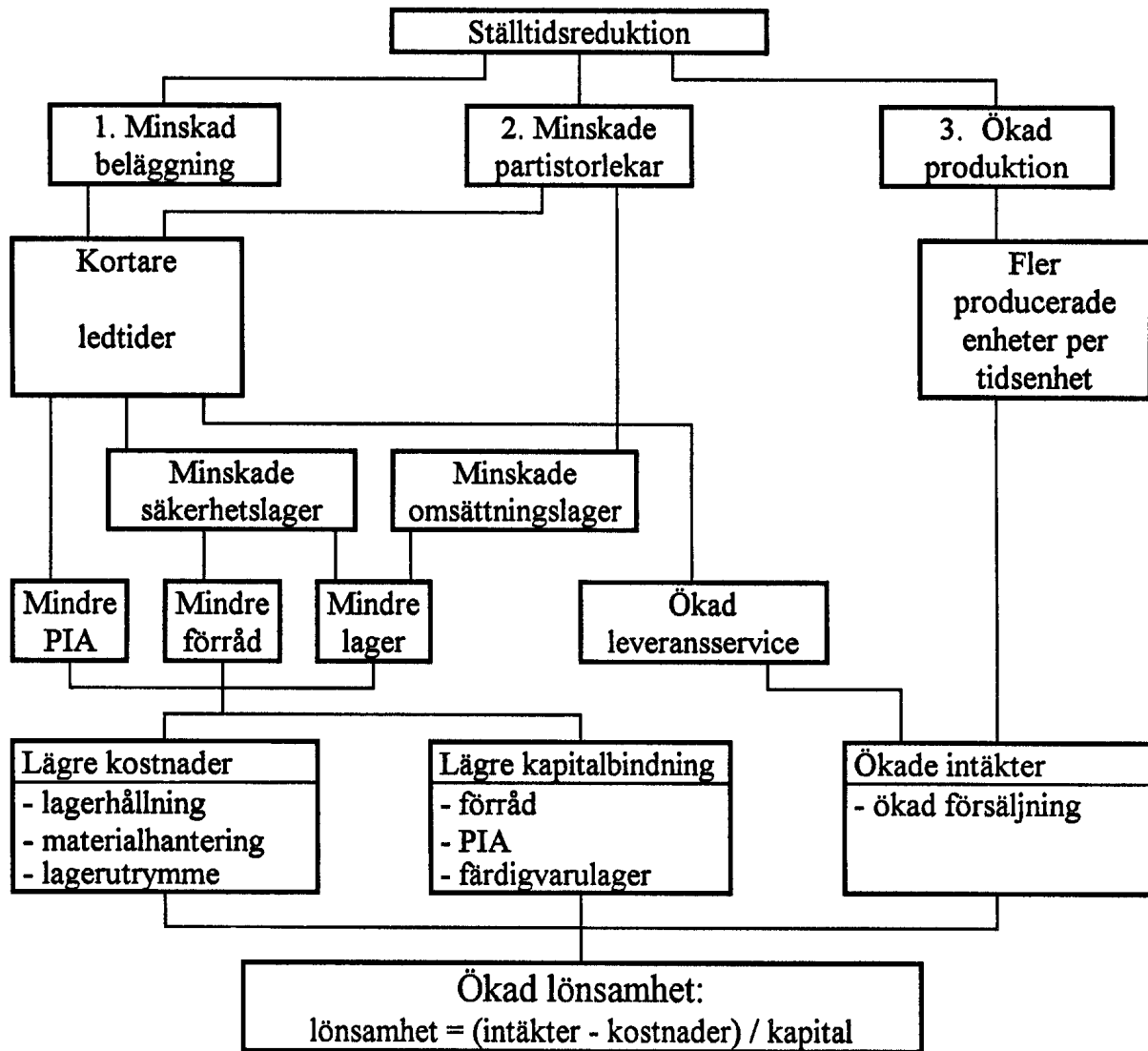
5. *Kapacitet och ledtid*

Kortare omställningar frigör mer tid till tillverkning och i förlängningen att kapaciteten höjs. Det kan vara ett alternativ till att jobba övertid och investeringar i utrustning. Om istället tiden utnyttjas till att ställa oftare kan tillverkningen ske i mindre partier och tack vare det kommer genomloppstiden och framförallt kötiden att minska.

6. *Processens variation*

Desto längre en process är och ju fler steg den innehåller desto mer kan den varieras. En enklare omställning innehåller förhoppningsvis färre moment och tar mindre tid och därmed minskar variationen. Ytterligheten vore att få bort omställningar helt och hållet och då eliminera hela dess osäkerhet på processen.

Olhager (1997) har kunnat ställtidsreduktion till lönsamhet genom att titta på hur den ökade kapacitetstillgängligheten kan utnyttjas och vilka effekter det kan medföra. De tre principiellt olika sätten att utnyttja den frigjorda kapaciteten är att (1) öka produktionen (genom att ta fler order), (2) minska beläggningsgraden (genom att inte göra något av tiden) eller (3) minska partistorlekarna (och därmed ställa om oftare). Varje sätt att använda tiden medför en rad olika effekter som åskådliggörs i Figur 5.7.



Figur 5.7: Effekter av att utnyttja ställtidsreduktion (Olhager, 1997)

För att åstadkomma kortare ställtider kan SMED-metoden, Single Minute Exchange of Die, tillämpas. Den utvecklades från första början på Toyotas stora pressmaskiner för att åstadkomma större flexibilitet. Trots det så är den tillämpbar på i stort sett vilken process eller tillverkande industri som helst. Första steget i metoden bygger på att ställtiden delas upp i inre respektive yttre ställtid. Inre ställtid är likställt med tiden då maskinen står stilla och inte kan producera. Därefter gäller det att göra om den inre ställtiden till yttre ställtid i så stor utsträckning som möjligt. Notera att fokus inte ligger på att minimera den totala ställtiden utan att den inre ställtiden ska minskas i största möjliga mån för att erhålla mer produktiv tid. Att sedan reducera den inre ställtiden kräver ofta olika investeringskrävande produktionslösningar, t.ex. standardiserade fixturer, verktyg och fästansordningar. (Nicholas, 1998)

5.8 SLÖSERI

Toyota Motor Company har bidragit med en ökad förståelse för hur slöseri påverkar olika verksamheter samt hur ständiga förbättringar kan ske med hjälp av eliminering av dessa. Företagets definition av slöseri är allt annat än ett minimum av material, utrustning, delar eller tid som är nödvändigt för att addera värde till produkten. Nicholas (1998) beskriver sju olika typer av slöseri:

1. Lager

Lager representerar föremål som väntar på att någonting ska ske med dem.

Tidsförluster utan värdeaddering medför ett slöseri eftersom det är kostnader förknippade med att ha produkter väntande, samt att tid förloras då det inte tillförs något värde under väntetiden. Kostnader för att hålla lager inkluderar kostnad för lokal, hantering, försäkring, eventuell inkurans men framförallt kostnaden i bundet kapital, då detta kapital istället hade kunnat investeras i något som gett avkastning.

Stora lager är också ett allvarligt problem i och med att de döljer slöseri och problem i tidigare led. Stora lager kallas ibland produktionsledning med en ”utifall-att-filosofi”. Med detta menas att lager finns som säkerhet för allt som kan gå fel. Toyota går så långt som att kalla lager för ”grunden till allt ont”. Denna starka formulering syftar inte bara på de kostnader som lager och lagerhållning innebär men också på att lager döljer fel i produktionen som istället borde lyftas fram och bli åtgärdade.

Följande anledningar kan finnas för att hålla lager:

- Säkerhet för fluktuationer i efterfrågan

En jämn och säker efterfrågan möjliggör mindre lager. Är efterfrågan ojämn och osäker är behovet av lager större för att kunna klara av försäljningen med rimliga ledtider. Är efterfrågan säker men samtidigt ojämn kan stora lager ändå vara nödvändigt då det är mycket fördelaktigt att kunna producera i en jämn takt även om försäljningen sker i ojämn takt.

- Säkerhet mot haverier i produktionen

Lager finns ofta för att säkerställa att produktionen kan fortgå om delar av utrustningen går sönder eller om förseningar uppstår. Här finns det en klar relation mellan hur stor tillförlitligheten till maskinparken är och hur stora buffertar som måste finnas. Planerade underhåll kan vara ett bidrag för att få ned lagernivåer i produktionen.

- Säkerhet mot kvalitetsbrister och kassationer

För att kunna ersätta brister i material och färdiga produkter finns extra material och produkter i lager, där behovet för dessa extraprodukter naturligtvis blir större ju osäkrare kvaliteten på produkterna är. Kostnader för en osäker kvalitet blir inte bara kassationer och ökade kvalitetskontroller utan också kostnader för de extra lager som måste hållas.

– *Stora batchstorlekar ger stora lager*

Mycket av lagerhållningen kommer från att produktion sker i stora batcher, vilket i sin tur beror på kostsamma och tidsslukande omställningar. Kunde omställningarna förenklas, och därmed ta kortare tid och kosta mindre i form av kvalitetsbrister och personalresurser, skulle batchstorlekarna kunna minskas och därmed också lagren.

2. *Överproduktion*

Att tillverka produkter som det inte finns någon efterfrågan på anses som ett slöseri. Ett företag kanske vill bygga lager av olika anledningar eller bara se till att maskiner och resurser utnyttjas maximalt. Om den förväntade efterfrågan inte infinner sig måste produkterna säljas till ett lägre pris eller kasseras om de är obrukbara. Överproduktion kan vara svårt att upptäcka i och med att alla är väldigt upptagna med att producera och därmed finns det ingen tid till att stanna upp och reflektera över om det verkligen behövs så här mycket.

3. *Väntetid*

Till skillnad från överproduktion är ofta väntetid lätt att identifiera som slöseri. Väntetid kan uppstå i ett antal olika former som t.ex. väntan på order, material, föremål från en tidigare process eller att en maskin ska komma igång efter ett haveri. En alltför stark inriktning mot att eliminera all väntetid kan resultera i att ett företag istället överproducerar och därmed byts ett slöseri mot ett i många fall värre slöseri. En fördel med att operatörer inte är fullt upptagna vid automatiska maskiner är att de kan använda väntetiden på att maskinen ska bli klar till att identifiera andra former av slöseri och på så sätt förbättra tillverkningen.

4. *Fel, omarbetningar och kassationer*

Felaktigheter i produkter är en stor källa till slöseri. För att kunden inte ska få en felaktig produkt krävs det ofta ett stort och kostsamt arbete att hitta felet och rätta till dem. Bara själva förväntan att fel uppstår gör att resurser och tid måste ägnas till att kontrollera. För de produkter som skrotas har en massa resurser slösats så som material och bearbetningskostnad. Felaktigheter i produkter stoppar upp tillverkningen och förlänger ledtiden för korrekta produkter. Vikten av att göra rätt från början är mycket tydlig i det här sammanhanget.

5. *Transporter*

I många organisationer måste föremål flyttas från en plats till en annan p.g.a. att operationsstegen inte är tätt sammankopplade. De huvudsakliga orsakerna till transporter beror på hur verkstadens layout är uppbyggd och i vilken sekvens operationerna sker. Eftersom inget värdeadderande arbete utförs på produkterna medan de transporteras betraktas transporter alltså som slöseri. Dels är det slöseri med den tid det tar att transportera produkter, men även utrustningen och personalen som används för att utföra den skulle kunna utnyttjas på ett effektivare och bättre sätt.

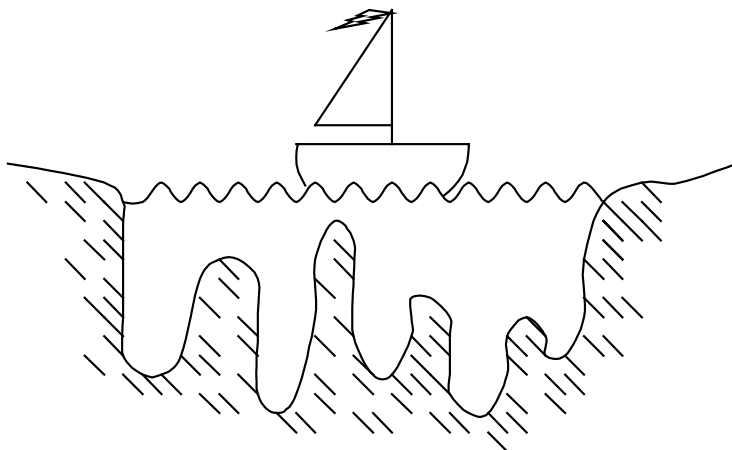
6. Rörelser och förflyttningar

Arbete betecknas som rörelser som tillför en produkt ett värde medan onödiga rörelser och förflyttningar kan ses som ett slöseri. Exempel på rörelser och förflyttningar som anses vara slöseri är att leta, välja ut, plocka upp, transportera, ladda, omplacera samt ladda ur. Alla är de rörelser som tar värdefull tid och inte tillför något värde.

7. Arbetsmoment

Arbetsmoment kan innehålla steg som både är ineffektiva och onödiga. Ett arbetsmoment som inte klarar av att göra en produkt godkänd inför nästa steg kräver ofta ett extra arbetsmoment som egentligen inte skulle behöva förekomma. Likaså kan den naturliga tyngdlagen utnyttjas för att minska ett arbetsmoment där en operatör måste manuellt hantera och flytta ett föremål. Som onödigt arbetsmoment kan även toleranser är överdrivet snäva gentemot vad som krävs. Det skapar ett slöseri genom att kraft läggs på att utföra ett arbetsmoment på ett mer krävande sätt än vad som efterfrågas.

Toyota Production System illustrerar kopplingen mellan lager, slöseri och problem med en sjö vars ojämna botten representerar olika problem, se Figur 5.8. För att kunna segla på den här sjön måste antingen botten vara jämnare (minska problemen) eller så måste vattennivån täcka alla ojämnheter. Vattennivån representeras av olika säkerhetsåtgärder, t.ex. lager, överkapacitet och extra planeringstid. I längden blir det kostsamt att vidta alltför mycket säkerhetsåtgärder samtidigt som tillverkningen inte blir effektivare eller mindre kostnadskrävande. Med andra ord eftersträvas alltid en sänkning av nivån för att finna problemen och eliminera dem för att sedan kunna sänka nivån ytterligare tills nästa problem dyker upp. Hög vattennivå gör det dels svårt att hitta problemen som finns, men medför även att personalen blir mindre uppmärksam på problem och hur de ska lösas.



Figur 5.8: Den japanska sjön

6 KARTLÄGGNING

I detta kapitel görs en kartläggning av varje produktionsflöde. Denna kartläggning visar hur flödet ser ut i avseendet operationssteg, förflyttning av material, buffertar och ställtider. Dessutom visar kartläggningen hur långa ledtiderna är idag samt hur stor del av ledtiden som är värdeadderande tid.

Kartläggningen av de fyra produktionsflödena redovisas genom att de produktionssteg som kort förklarats i nulägesbeskrivningen utförligare beskrivs med avseende på:

- maskiner
- förflyttning av material
- ställtider
- buffertar
- övrigt intressant ur ledtidssynpunkt.

Dessutom har datainsamling av operationstider och cykeltider gjorts vilka presenteras i Bilaga 1 – 3.

Kartläggningen består också av att varje enskild aktivitet för en detaljs väg genom produktionsflödet dokumenteras. Detta redovisas i en processkartläggning (Bilaga 4 – 9). Processkartläggningen delar in varje enskilt steg i värdeadderande eller icke värdeadderande tid samt i kategorierna: operation, transport, kontroll, lager och hantering. I denna processkartläggning redovisas även genomsnittliga ledtider.

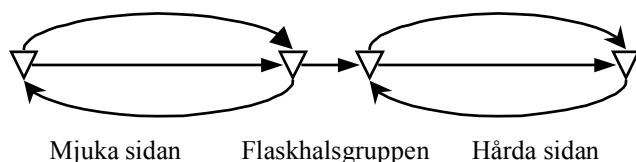
6.1 VEVAXLAR

Produktionsstyrningen av vevaxlar är uppdelat i tre delar med styrbuffertar mellan varje steg. De tre delarna kallas: mjuka sidan, flaskhalsgruppen och hårda sidan. Den första och sista delen styrs av Kanban. Mellan dessa Kanbanloopar ligger flaskhalsgruppen som styrs med visuell buffert, se Figur 6.1.

- *Mjuka sidan*
Innefattar de fyra första produktionssteg som beskrivs i nulägesbeskrivningen. Dessa är: svarvning och fräsning, oljehålsborrning och tvättning, härdning och anlöpning samt ändbearbetning. Produktionen styrs med Kanban och produktionsavsnittet avslutas i en styrbuffert som kallas produktionsbufferten.
- *Flaskhalsgruppen*
Nästa del innefattar endast slipning av ram och vev. Då detta steg är flaskhals i det totala flödet har dessa maskiner lyfts ut ur Kanbanlooparna och styrs mot en visuell buffert. Att bufferten är visuell betyder att påfyllningen av bufferten inte styrs med Kanban utan genom att bufferten ska fyllas upp till en maxnivå som inte får överskridas. Detta kontrolleras kontinuerligt med inspektioner.

- *Hårda sidan*

Består av de återstående två produktionsstegen: slipning av knapp och fläns samt polering, balansering och avsyning. Styrs med Kanban och produktionsavsnittet avslutas i färdigvarulagret.



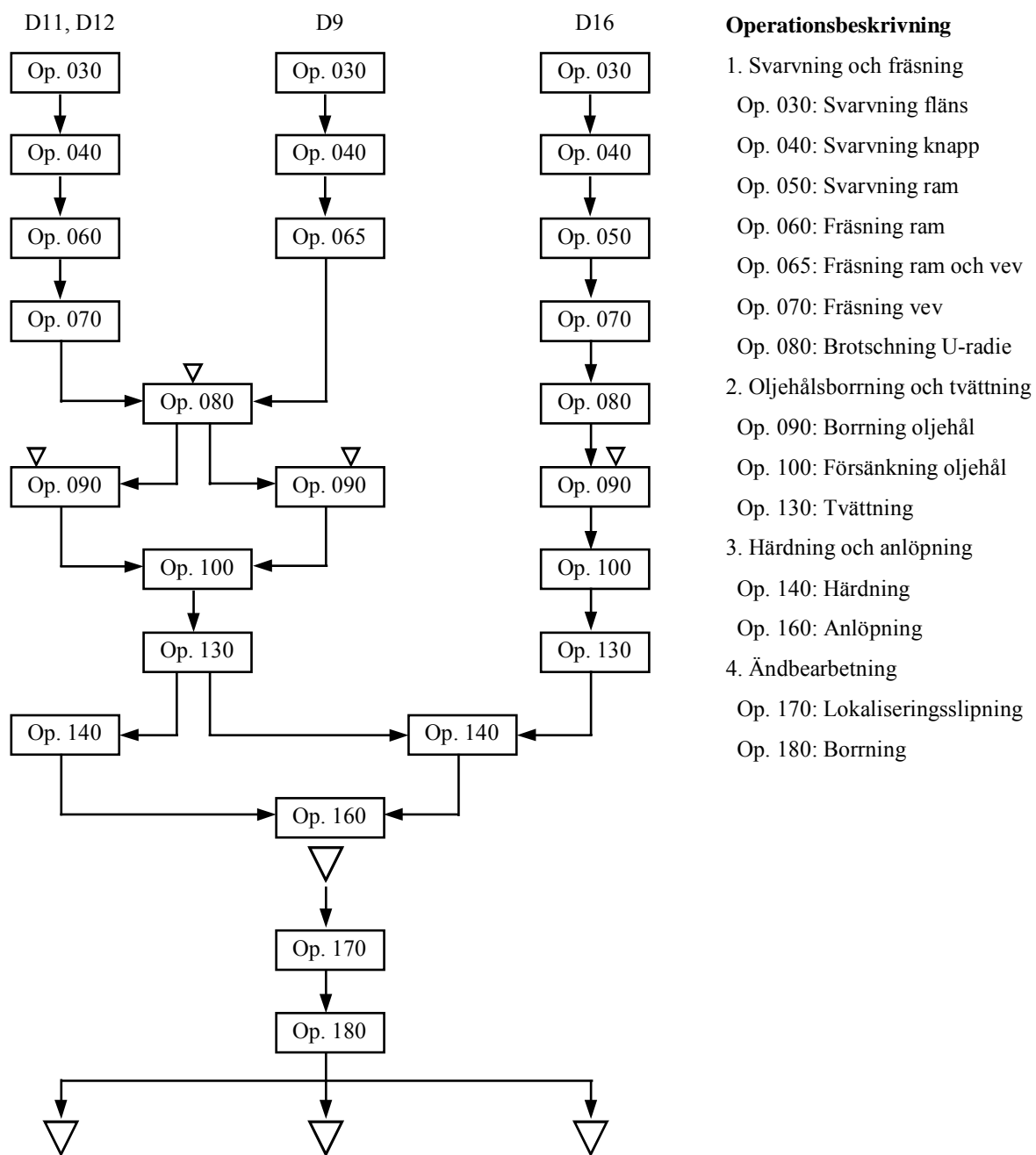
Figur 6.1: Produktionsstyrning av vevaxlar

Produktionen av vevaxlar sker i tre delvis separerade variantflöden:

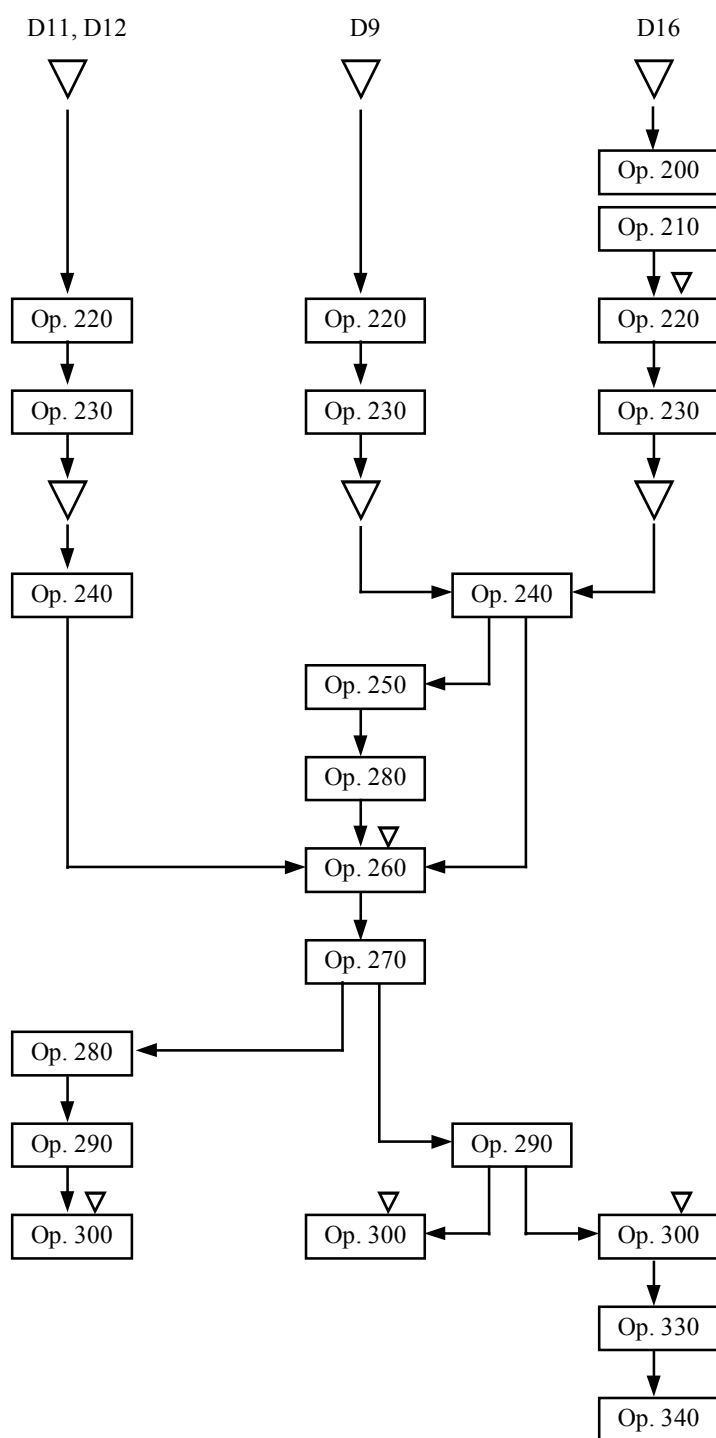
- D9-flödet
- D11/D12-flödet
- D16-flödet.

Varje flöde består till största del av maskiner dedikerade endast den axeltypen, men på några platser går variantflödena samman. Det beror på att det där endast finns en eller två resurser som delas mellan de olika varianterna, se Figur 6.2 och Figur 6.3. Hur dessa gemensamma maskiner påverkar flexibiliteten i produktionen beror på om det är nödvändigt att ställa om maskinerna mellan olika varianter eller inte. Generellt kan sägas att på mjuka sidan och i flaskhalsgruppen kräver de gemensamma maskinerna inget ställ, undantaget ändbearbetningen. Det gör att det är möjligt att låta de olika axeltyperna bearbetas efter önskad sekvens. Den hårda delen av flödet består av flera gemensamma maskiner som har relativt långa ställtider, vilket omöjliggör att samtliga axeltyper kan produceras i denna del samtidigt.

D11- och D12-axlar tillverkas i samma maskiner igenom hela flödet. Flera av maskinerna måste ställas om mellan D11- och D12-varianterna. Ställtiderna är olika, för vissa maskiner drygt två timmar och för andra bara ett programbyte på någon minut. Detta gör att dessa båda varianter inte kan produceras samtidigt.



Figur 6.2: Översikt produktionsflödet för vevaxlar, mjuka delen



Operationsbeskrivning

- 5. Slipning av ram och vev
 - Op. 200: Fräsning motviktsplan
 - Op. 210: Bormning lätthål
 - Op. 220: Slipning vev
 - Op. 230: Slipning ram
- 6. Slipning av knapp och fläns
 - Op. 240: Slipning knapp och fläns
 - Op. 250: Svarvning flänsplan
- 7. Polering, balansering, avsyning
 - Op. 260: Sprickkontroll
 - Op. 270: Gradning oljehål
 - Op. 280: Balansering
 - Op. 290: Polering
 - Op. 300: Slutkontroll
 - Op. 330: Motviktsmontering
 - Op. 340: Balansering

Figur 6.3: Översikt produktionsflödet för vevaxlar, flaskhalsgruppen och hårda sidan

Nedan ges en beskrivning av de sju produktionsstegen, som tidigare kort beskrivits i nulägesbeskrivningen. Detta görs för de tre flödena var för sig, då de på många sätt skiljer sig åt. Det finns dock delar i produktionsflödet som är mycket lika. På dessa ställen upprepas ändå beskrivning för varje variant, för att förenkla för läsaren att följa kartläggningen.

Genomsnittliga ledtider redovisas i processkartläggningen, Bilaga 4 - 6. En sammanfattning över dessa tider ges även i detta kapitel under rubriken genomsnittliga ledtider. För att kunna bestämma totala ledtider för en enskild axel genom produktionsflödet har en beräkning av genomsnittliga ledtider i produktionsbuffert och visuell buffert gjorts, se Bilaga 11. Dessa tider kan variera mycket och är därför bara ungefärliga.

Ledtidsmätningar har gjorts genom varje flöde. Detta har genomförts genom att skicka in märkta axlar som har fångats upp på de platser i produktionsflödet där manuell hantering sker. Ledtiderna redovisas under rubriken uppmätta ledtider.

6.1.1 PRODUKTIONSSTEGEN, D9

1. Svarvning och fräsning (operation 030 – 080)

Maskiner: Två svarvar, en ram- och vevfräs, en brotsch. Maskinerna står under två portaler.

Delade resurser/ställ: Brotschen delas med D11/D12. Ingen omställning.

Förflyttningar: Automatiskt, i enstyck.

Buffertar: 6-12 platser efter andra svarven samt ett fåtal platser i taket vid fräs och brotsch. 6-18 platser efter brotschen.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Andra portalen hinner inte alltid med att betjäna alla maskiner och förlänger därför ibland den totala cykeltiden för detta bearbetningssteg. Buffertplatser används endast då det uppstår ett stopp längre fram i flödet.

2. Oljehålsborrning och tvätt (operation 090 – 130)

Maskiner: En oljehålsborr, två robotar som försänker oljehål och en tvätt.

Delade resurser/ställ: Robotarna och tvätten delas med D11/D12. Inga omställningar.

Förflyttningar: Automatiskt och i enstyck. Delvis av portal, delvis av transportband.

Buffertar: På bandet innan och efter oljehålsborren, ca 18 platser om bandet fylls upp helt. 20 platser på bandet vid försänkning av oljehål. Fåtalet platser på portaltaket, 24 extraplatser på pallar (används vid tillfälliga stopp i flödet).

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Transportbanan där försänkning av oljehål sker rymmer 20 platser och taktar endast fram när den blir påfylld. Detta gör att banan hela tiden är full, vilket i sin tur förlänger ledtiden genom detta produktionssteg.

3. Härdning och anlöpning (operation 140 – 160)

Maskiner: En härdmaskin, en anlöpningsugn.

Delade resurser/ställ: Härdmaskinen delas med D16, anlöpningsugnen delas med samtliga axeltyper. Inga omställningar.

Förflyttningar: Automatiskt i enstyck, av portal alternativt transportband. Manuell hantering innan härdning då plugg slås i oljehålen. Efter anlöpning blåses pluggen ur manuellt, axlarna läggs på pallar om 6 stycken. Transporteras med truck till

närliggande lager.

Buffertar: På bandet in mot härdningen upp mot 10 axlar. Buffert med 80 platser innan pluggen blåses ur (delas med D11/D12-axlarna). Buffert med 180 platser efter att pluggen blåses ur (delas med samtliga axeltyper).

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Tiden i buffert efter anlöpning varierar efter hur nästa produktionssteg arbetar och hur det beläggs av de andra axeltyperna.

4. **Ändbearbetning** (operation 170 – 180)

Maskiner: Två maskiner, varav den sista bearbetar två axlar i taget. Står under portal.

Delade resurser/ställ: Båda maskinerna delas med samtliga axeltyper. Ställtid genom kvalitetssäkring, ca 30 minuter eller mer beroende på beläggning i mätrummet.

Förflyttningar: Truck från bufferten efter anlöpning. Automatiska enstycksförflyttningar mellan maskinerna. Truck till produktionsbuffert.

Buffertar: Kö på mellan 12-24 axlar bildas då portalen laddas med två till fyra pallar i taget. Plats för 28 pallar i produktionsbufferten.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Ledtiden för en enskild axel genom portalen är ca 30 minuter. När den fylls med fyra pallar, som inte flyttas vidare förrän de alla är klara, blir ledtiden drygt 2 timmar.

5. **Slipning av ram och vev** (operation 220 – 230)

Maskiner: Två slipar, varav första slipen är flaskhals i flödet. Står under en portal.

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Truck från produktionsbufferten. Förflyttningar mellan maskiner automatiskt, i enstyck. Truck till visuell buffert.

Buffertar: Kö på upp till 12 axlar bildas i portalen i och med att den laddas med upp till två pallar. Visuell buffert på 12 pallar, 60 axlar.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Då detta produktionssteg är en flaskhals finns en buffert efter portalen för att sliparna skall kunna arbeta kontinuerligt. Att nästa steg inte hinner arbeta bort bufferten beror på att det är en delad resurs som kräver omställning.

6. **Slipning av knapp och fläns** (operation 240)

Maskiner: En slip och en plansvarv

Delade resurser/ställ: Slipen delas med D16. Varierande ställtid, 1–3 timmar eller eventuellt mer.

Förflyttningar: Truck från visuell buffert. Automatiskt i enstyck till och från maskin. Truck från slip till plansvarv. Manuell hantering i plansvarv. Truck till buffert.

Buffertar: Kö på 11 axlar då slipen laddas med två pallar. Buffert innan planslip med flytande storlek. Buffert innan nästa produktionssteg med plats för fem pallar, överskrids ibland, delas mellan samtliga axeltyper.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Då plansvarvning endast sker dagtid kan det bildas en buffert på några pallar om axlarna bearbetas kväll och natt i operationen före. Efter plansvarvning läggs axlarna på pallar om upp till 20 av utrymmesskäl.

7. Polering, balansering och avsyning (operation 250 – 300)

Maskiner: Två balanseringsmaskiner, varav en automatisk och en manuell, en polermaskin, två robotar som polerar oljehålen.

Delade resurser/ställ: Samtliga, utom den manuella balanseringsmaskinen.

Robotarna delas med samtliga axeltyper, ingen omställning. Polermaskinen delas med D16, ställtid ca 1 timme. Balanseringsmaskinen delas med D11/12, ställtid ca 1 timme.

Förflyttningar: Truck från buffert till sprickkontroll. Manuell hantering vid sprickkontroll. Transportbana in till portal. Automatisk, i enstyck, mellan maskiner i portal. Truck från portal till slutkontroll och vidare till färdigvarulager. Om balanseringen görs manuellt sker transporten, av axlarna till och från maskinen, med truck.

Buffertar: Två pallar, med 12 till 20 axlar, innan sprickkontroll. Flytande buffert innan slutkontroll. Om balanseringen utförs manuellt bildas en buffert på några pallar (lite flytande).

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Många flytande buffertar och möjligheter för axlar att stanna upp gör att ledtiden genom detta produktionssteg kan bli mycket varierande. Att balanseringen inte alltid görs i den automatiska maskinen beror på att detta skulle stanna upp flödet för D11/D12 axlarna, som vanligtvis balanseras där.

6.1.2 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER, D9

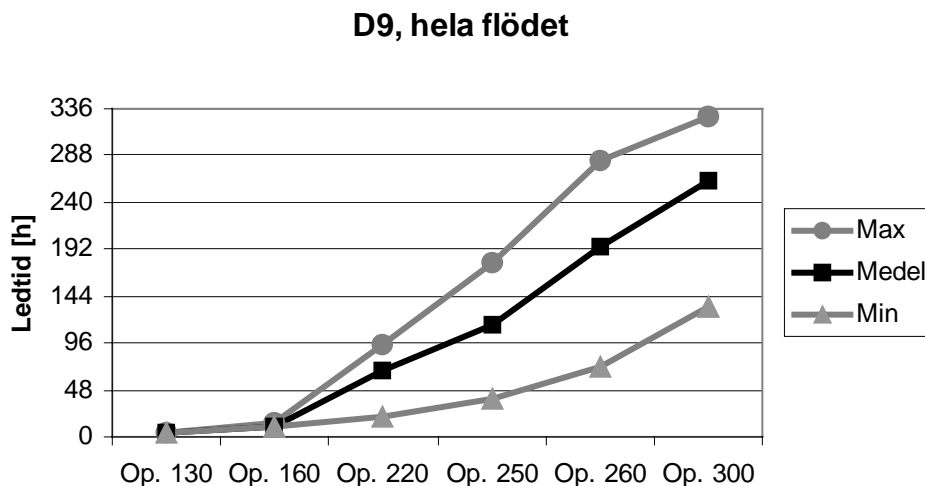
Genomsnittliga ledtider genom produktionsflödet presenteras i processkartläggningen, Bilaga 4. I Tabell 6.1 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur de lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg.

Tabell 6.1: Ledtider och operationstider för vevaxel D9

Produktionssteg	Ackumulerad ca tid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Ackumulerad operationstid [h:min]
1. Svarvning och fräsning	01:00	00:18
2. Oljehålsborrning och tvättning	03:00	00:36
3. Härdning och anlöpning	18:00	06:51
4. Ändbearbetning	20:00	06:58
<i>Produktionsbuffert</i>	78:00	06:58
5. Slipning av ram och vev	84:00	07:31
<i>Visuell buffert</i>	116:00	07:31
6. Slipning av knapp och fläns	121:00	07:37
7. Polering, balansering och avsyn.	133:00	07:48

6.1.3 UPPMÄTTA LEDTIDER, D9

Ledtidsmätningen för D9-axlarna gav ledtider på mellan 5,5 och 13,5 dagar genom hela produktionsflödet, se Figur 6.4. Den stora spridningen skedde framförallt i produktionsbufferten och blev sedan större i den visuella bufferten. Större avbrott i produktionen har subtraherats från mätningen.



Figur 6.4: Uppmätta ledtider för märkta axlar, vevaxel D9

6.1.4 PRODUKTIONSSTEGEN, D11/D12

1. Svarvning och fräsning (operation 030 – 080)

Maskiner: Två svarvar, en ramfräs, en vevfräs samt en brotsch. Maskinerna står under två portaler.

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: Brotschen delas med D9-flödet. Ingen omställning.

Ställ mellan D11 och D12: Svarvar, ramfräs: ställtid ca 15 minuter. Vevfräs, brotsch: ställtid 30-45 minuter. Dessutom måste systemet tömmas på den tidigare varianten.

Förflyttningar: Automatiskt, i enstyck.

Buffertar: 6-12 platser efter andra svarven. Ett fåtal platser vid fräsen och brotschen. 6-18 platser efter brotschen (används mycket sällan).

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Andra portalen hinner inte alltid med att betjäna alla maskiner och förlänger därför ibland den totala cykeltiden för detta bearbetningssteg

2. Oljehålsborrning och tvätt (operation 090 – 130)

Maskiner: En oljehålsborr, två robotar som försänker oljehålen och en tvätt.

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: Robotarna och tvätten delas med D9-flödet. Inga omställningar.

Ställ mellan D11 och D12: Oljehålsborren, ställtid 60-90 minuter. Robotarna, ställtid ca 2 minuter, endast byte av program.

Förflyttningar: Automatiskt och i enstyck. Delvis av portal, delvis på transportband.

Buffertar: Upp till 12 platser innan oljehålsborrning. 6 platser vid maskin. Upp till 24 extraplatser (används sällan).

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Transportbanan där försänkning av oljehål sker rymmer 20 platser och taktar endast fram när den blir påfylld. Detta gör att banan hela tiden är full, vilket i sin tur förlänger ledtiden genom detta produktionssteg.

3. **Härdning och anlöpning** (operation 140 – 160)

Maskiner: En härdmaskin och en anlöpningsugn.

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: Anlöpningsugnen delas av samtliga axeltyper. Ingen omställning.

Förflyttningar: Automatiskt, i enstyck, av portal alternativt transportband. Manuell hantering innan härdning då träplugg slås i oljehålen. Efter anlöpning blåses pluggen ur manuellt, axlarna läggs på pallar om 6 stycken. Transporteras med truck till lager intill.

Buffertar: På bandet in mot härdningen upp mot 10 axlar. Buffert på 80 platser innan pluggen blåses ur (delas med D9-flödet). Buffert på 180 platser efter att pluggen blåses ur (delas mellan samtliga axeltyper.)

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Tiden i buffert efter anlöpning varierar beroende på hur nästa produktionssteg arbetar och hur det beläggs av de andra axeltyperna.

4. **Ändbearbetning** (operation 170 – 180)

Maskiner: Två maskiner, varav den sista bearbetar två axlar i taget. Står under portal.

Delade resurser/ställ: Båda maskinerna delas med samtliga axeltyper. Ställ genom kvalitetssäkring, ca 30 minuter eller mer beroende på beläggning i mätrummet.

Ställ mellan D11 och D12: Samma som för ställ till andra axeltyper.

Förflyttningar: Truck från bufferten efter anlöpning. Automatiska enstycksförflyttningar mellan maskinerna. Truck till produktionsbufferten.

Buffertar: Kö på mellan 12 till 24 axlar bildas då portalen laddas med två till fyra pallar i taget. Plats för 36 pallar D11-axlar och 56 pallar D12-axlar i produktionsbufferten.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Ledtiden för en enskild axel genom portalen är ca 30 minuter. När den fylls med fyra pallar, som inte flyttas vidare förrän de alla är klara, blir ledtiden drygt 2 timmar.

5. **Slipning av ram och vev** (operation 220 – 230)

Maskiner: fyra slipar, två vevslipar och två ramslipar, vilka tillsammans utgör en parallell resurs.

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: -

Ställ mellan D11 och D12: Ställtider ca 2 timmar. Måste göras trots parallell resurs ty kapaciteten ej tillräcklig för D12 annars.

Förflyttningar: Truck från produktionsbuffert. Förflyttningar mellan maskiner

automatiskt, i enstyck. Truck till visuell buffert.

Buffertar: Kö på upp till 18 axlar bildas i portalen i och med att den laddas med upp till tre pallar. Visuell buffert med begränsningen: max 60 st D11-axlar och max 120 st D12-axlar.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Då detta produktionssteg är en flaskhals finns en buffert efter portalen för att sliparna skall kunna arbeta kontinuerligt. Att nästa steg inte hinner arbeta bort bufferten beror på att maskiner i resterande del i produktionsflödet måste ställas om mellan D11 och D12.

6. **Slipning av knapp och fläns** (operation 240)

Maskiner: En slip

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: -

Ställ mellan D11 och D12: -

Förflyttningar: Truck från visuell buffert. Automatiskt i enstyck till och från maskin. Truck till buffert.

Buffertar: Kö på 11 axlar då slipen laddas med två pallar. Buffert innan planslip med flytande storlek. Buffert innan nästa produktionssteg med plats för fem pallar, överskrids ibland, delas mellan samtliga axeltyper.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

7. **Polering, balansering och avsyning** (operation 260 – 300)

Maskiner: Två balanseringsmaskiner, en poleringsmaskin, två robotar som polerar oljehål. Maskinerna står under en gemensam portal.

Delade resurser/ställ till D9 eller D16: Robotarna delas med samtliga axeltyper. Inga omställningar. Av balanseringsmaskinerna delas den ena med D9-flödet, andra med D16-flödet. Ställtid ca 1 timme.

Ställ mellan D11 och D12: Robotarna, balanseringsmaskinerna, ställtid ca 2 minuter (endast byte av program). Poleringsmaskinen, ställtid ca 30 minuter.

Förflyttningar: Truck från buffert till sprickkontroll. Manuell hantering vid sprickkontroll. Transportbana in till portal. Automatisk förflyttning, i enstyck, mellan maskinerna under portalen. Truck från portalen till slutkontrollen och vidare till färdigvarulagret.

Buffertar: Två pallar (6-16 axlar per pall) i samband med sprickkontroll. Flytande buffert mellan polerportalerna och avsyningen, pallar om 12 axlar.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Många flytande buffertar och möjligheter för axlar att stanna upp gör att ledtiden genom detta produktionssteg kan bli mycket varierande.

6.1.5 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER, D11/D12

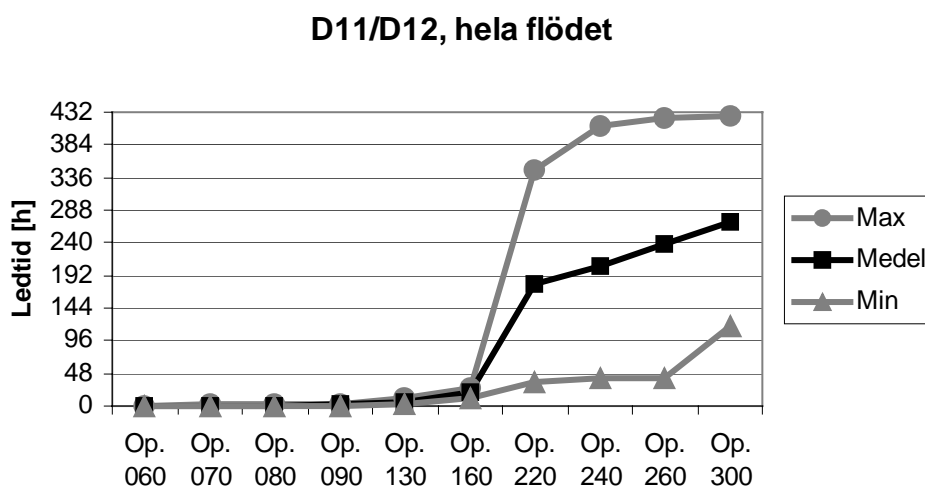
Genomsnittliga ledtider genom produktionsflödet presenteras i processkartläggningen, Bilaga 5. I Tabell 6.2 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur de lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg.

Tabell 6.2: Ledtider och operationstider för vevaxel D11/D12

Produktionssteg	Akkumulerad ca tid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Akkumulerad operationstid [h:min]
1. Svarvning och fräsning	01:00	00:19
2. Oljehålsborrning och tvättning	03:00	00:41
3. Härdning och anlöpning	18:00	06:58
4. Ändbearbetning	20:00	07:08
<i>Produktionsbuffert</i>	71:00	07:08
5. Slipning av ram och vev	77:00	07:41
<i>Visuell buffert</i>	102:00	07:41
6. Slipning av knapp och fläns	106:00	07:48
7. Polering, balansering och avsyn.	112:00	08:01

6.1.6 UPPMÄTTA LEDTIDER, D11/D12

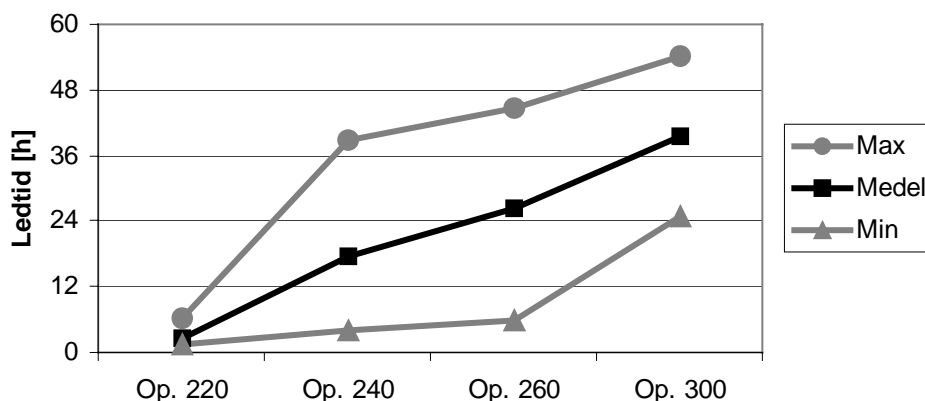
Ledtidsmätningen för D11/D12-axlarna gav ledtider på mellan 5 och 18 dagar genom hela produktionsflödet, se Figur 6.5. Den stora spridningen skedde framförallt i produktionsbufferten och då det blev mycket stora variationer genomfördes en andra ledtidsmätning för endast flaskhalsgruppen och den hårda sidan. Större avbrott i produktionen har subtraherats från mätningen.



Figur 6.5: Uppmätta ledtider för märkta axlar, vevaxel D11/D12

Den andra mätningen visade på ledtider mellan 2 och 4,5 dygn genom flaskhalsgruppen och hårda sidan, se Figur 6.6. Spridningen var betydligt mindre vilket antagligen beror på att tiden i produktionsbufferten ej finns med.

D11/D12, flaskhalsgruppen och hårda sidan



Figur 6.6: Kompletterande mätning för vevaxel D11/D12

6.1.7 PRODUKTIONSSTEGEN, D16

1. Svarvning och fräsning (operation 030 – 080)

Maskiner: Tre svarvar och en fräs. En av svarvarna utför två arbetsmoment, grovsvarvning och sedan finsvarvning. Maskinerna står i två robotceller.

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Automatiska enstycksförflyttningar som utförs av roboten i varje cell. Mellan cellerna förflyttas axlarna i en skyttel.

Buffertar: En kylbuffert på 6 axlar där varje axel ligger i 30 minuter.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

2. Oljehålsborrning och tvätt (operation 090 – 130)

Maskiner: En oljehålsborr, en tvätt och en robot som försänker oljehålen.

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Automatiska, i enstyck. Med truck på pall från sista operationen i detta steg.

Buffertar: Upp till 12 axlar, på pall till nästa produktionssteg.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

3. Härdning och anlöpning (operation 140 – 160)

Maskiner: En härdmaskin, en anlöpningsugn.

Delade resurser/ställ: Härdmaskinen delas med D9-flödet. Anlöpningsugnen delas med samtliga axeltyper. Inga omställningar.

Förflyttningar: Automatiskt i enstyck, av portal alternativt transportband. Manuell hantering innan härdning då träplugg slås i oljehålen. Efter anlöpning blåses pluggen ur manuellt, axlarna läggs på pallar om 6 stycken. Transporteras med truck till lager intill.

Buffertar: På bandet in mot härdningen upp till 10 axlar. Buffert på 18 platser innan pluggen blåses ur. Buffert på 180 platser efter att pluggen blåses ur, delas mellan samtliga axeltyper.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Tiden i buffert efter anlöpning varierar beroende på hur nästa produktionssteg arbetar och hur det beläggs av de andra axeltyperna.

4. **Ändbearbetning** (operation 170 – 180)

Maskiner: Två maskiner, varav den sista bearbetar två axlar i taget. Står under portal.

Delade resurser/ställ: Båda maskinerna delas med samtliga axeltyper. Ställ genom kvalitetssäkring. Ca 30 minuter eller mer beroende på beläggningen i mättrummet.

Förflyttningar: Truck från bufferten efter anlöpning. Automatiska enstycksförflyttningar mellan maskinerna. Truck till produktionsbufferten.

Buffertar: Kö på mellan 12 till 24 axlar bildas då portalen laddas med 2-4 pallar i taget. Plats för 28 pallar i produktionsbufferten.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Ledtiden för en enskild axel genom portalen är ca 30 minuter. När den fylls med fyra pallar, som inte flyttas vidare förrän de alla är klara, blir ledtiden drygt två timmar.

5. **Slipning av ram och vev** (operation 220 – 230)

Maskiner: En fräs för motviktsplan, en lätthålsborr, en vevslip och en ramslip.

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Truck till de första två maskinerna. Manuell förflyttning mellan maskinerna. Truck till och mellan sliparna.

Buffertar: Kö på 18 axlar vid de första två maskinerna, kö på 18 vid båda sliparna samt buffert innan sliparna på 36 axlar. Visuellt buffert efter sliparna på 72 axlar.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

6. **Slipning av knapp och fläns** (operation 240)

Maskiner: En slip

Delade resurser/ställ: Delad slip med D9, varierande ställtid 1-3 timmar.

Förflyttningar: Två pallar hämtas med truck från buffert och placeras vid slipen. Förflyttning in till maskin sker automatiskt med robot. Efter knapp- och flänsslip förflyttas axlarna på pallar med truck till buffert.

Buffertar: Kö på 11 axlar då maskinen laddas med två pallar. Buffert innan nästa produktionssteg med plats för fem pallar, delas med övriga typer.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

7. **Polering, balansering och avsyning** (operation 260 – 340)

Maskiner: En poleringsmaskin, två robotar som polerar oljehålen, en monteringsstation för motvikter och en balanseringsmaskin. Poleringsmaskinen är placerad under en portal.

Delade resurser/ställ: Robotarna delas med samtliga axeltyper, inga omställningar. Poleringsmaskinen delas med D9-axlar, ställtid ca 1 timme. Balanseringsmaskinen delas med D11/D12, ställtid ca 1 timme

Förflyttningar: Truck från buffert till sprickkontroll. Manuell hantering vid sprickkontroll. Transportbana in till portal. Automatiskt, i enstyck, mellan maskiner i portal. Truck från portal till slutkontroll, vidare till montering av

motvikter och balansering och slutligen till färdigvarulager. Manuell förflyttning mellan montering av motvikter och balansering.

Buffertar: Två pallar i samband med sprickkontroll. Flytande buffert mellan polerportalen, slutkontrollen och balanseringen, på pallar om 20 axlar.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Många flytande buffertar och möjligheter för axlar att stanna upp gör att ledtiden genom detta produktionssteg kan bli mycket varierande.

6.1.8 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER, D16

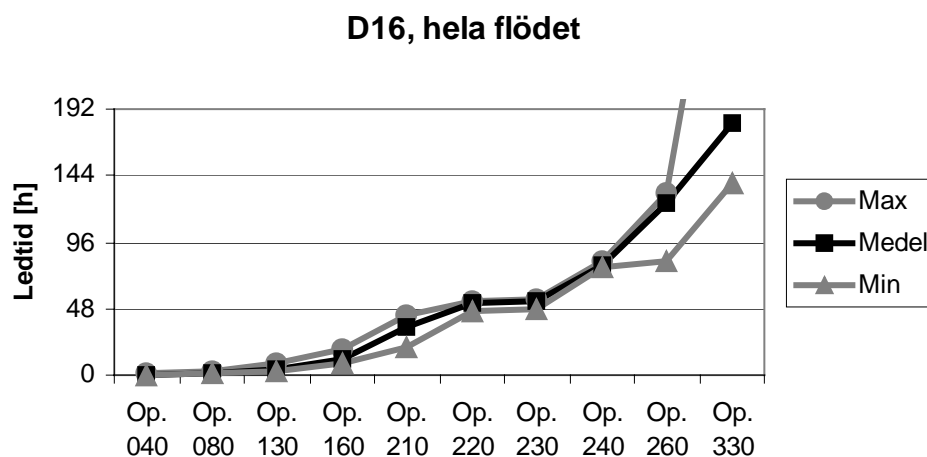
Genomsnittliga ledtider genom produktionsflödet presenteras i processkartläggningen, Bilaga 6. I Tabell 6.3 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg.

Tabell 6.3: Ledtider och operationstider för vevaxel D16

Produktionssteg	Akkumulerad ca. tid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Akkumulerad operationstid [h:min]
1. Svarvning och fräsning	01:00	00:24
2. Oljehålsborrning och tvättning	03:00	00:55
3. Härdning och anlöpning	18:00	07:10
4. Ändbearbetning	20:00	07:20
<i>Produktionsbuffert</i>	73:00	07:20
5. Slipning av ram och vev	90:00	07:58
<i>Visuell buffert</i>	121:00	07:58
6. Slipning av knapp och fläns	125:00	08:04
7. Polering, balansering och avsyn.	136:00	08:27

6.1.9 UPPMÄTTA LEDTIDER, D16

Ledtidsmätningen för D16-axlarna gav ledtider på mellan 5,5 och upp emot 15 dygn genom hela produktionsflödet, se Figur 6.7. Spridningen på dessa axlar är mycket liten genom hela flödet förutom i slutet, innan motviktsmonteringen. Detta kan anses lite underligt eftersom det inte finns någon naturlig uppsamlingsplats för axlarna där. Antagligen är förklaringen ett mätfel där en axel har rapporterats in fel. Större avbrott i produktionen har subtraherats från mätningen.

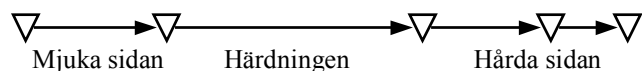


Figur 6.7: Uppmätta ledtider för märkta axlar, vevaxel D16

6.2 KAMAXLAR

Kamaxlar finns i tre huvudtyper D9, D12 och D16. Vidare finns D12 och D16 i flera varianter, av vilka följande produceras i stora volymer: D12 HPI, D12 PDE, D16 H och D16 V.

Produktionen har fram hösten 2003 styrts med körplaner som görs en gång i veckan. Genom att kontrollera antalet axlar i buffertar mot planerade efterfrågan gjordes en plan på hur länge efterfrågan täcks av de axlas som finns, eller strax kommer att finnas i färdigvarulagret. För att beräkna antalet axlar i produktionssystemet kontrollerades tre lagerpunkter; lager vid härdning, lager efter riktning samt färdigvarulagret. Dessutom kontrollerades vad som för tillfället produceras på mjuka respektive hårda sidan, se Figur 6.8. Utefter denna information görs en veckas produktionsplan för mjuka sidan som vanligtvis innehåller fyra till sex produktionsbatcher tillsammans med en prioriteringsordning. Hårda sidan producerar inte efter en körplan, där görs istället kontinuerliga kontroller mot färdigvarulagret och planerad efterfrågan för att bestämma vilka axelsorter som ska produceras.

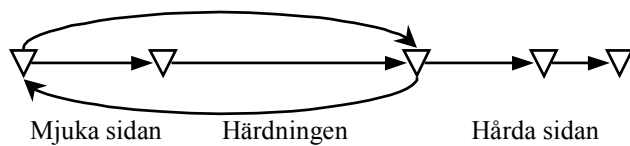


Figur 6.8: Produktionsstyrning av kamaxlar, fram till november 2003

Härderiet härdar axlarna i samma sekvens som de får dem, men det är möjligt att lägga om den sekvensen genom att låta några axlar gå prioriterat genom härdningen. Det händer också att härderiet blir ombedda att köra mindre och mer blandade batcher än vad som har skickats upp. Detta för att hårda sidan skall få tillgång till flera olika varianter av axlar fortare.

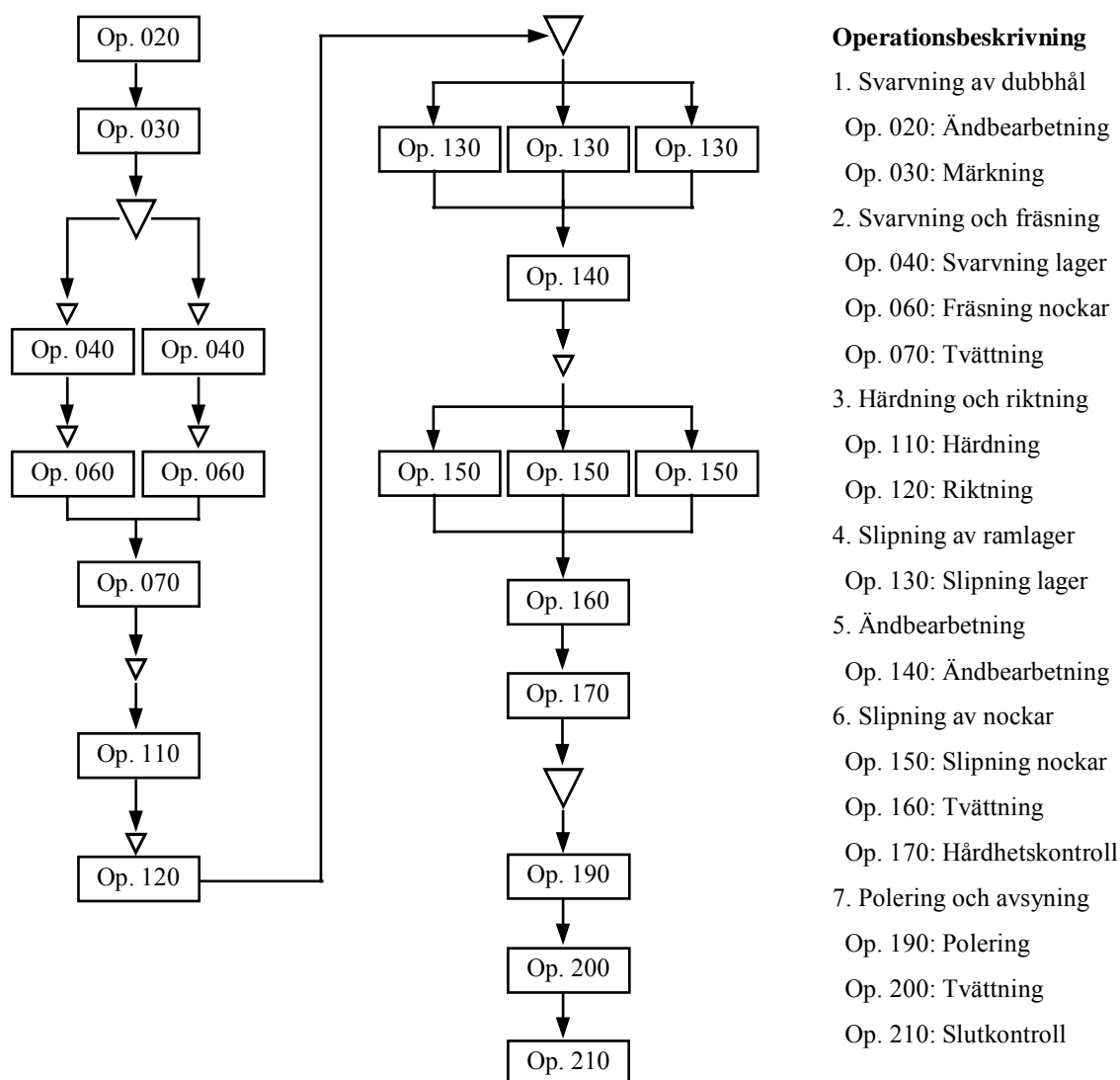
Den varierande efterfrågan har gjort det svårt att införa ett fungerande Kanbansystem för kamaxeltillverkningen. Kanban har förekommit men bara som en signal på vad som saknas i färdigvarulagret. När kunden tar en pall kommer kortet upp på en tavla vid kamaxelavdelningen. Denna information fungerar i praktiken bara som en spegling av vad som finns i färdigvarulagret för att förenkla när körplaner görs för mjuka sidan och för att lättare kunna bestämma vad som bör produceras på hårda sidan.

Under november 2003, mitt under detta examensarbets genomförande, började dock ett mer omfattande Kanbansystem att tas i bruk. En Kanbanloop infördes som börjar på mjuka sidan och slutar i buffert innan hårda sidan, se Figur 6.9. Genom härderiet går batcherna i samma sekvens som de produceras på mjuka sidan. Dock finns det fortfarande en möjlighet att lägga om planeringen för härderiet om det skulle vara nödvändigt att få fram axlar till hårda sidan i en annan sekvens.



Figur 6.9: Ny produktionsstyrning kamaxlar

Produktionen sker mestadels i maskiner som matas automatiskt med portalrobotar. Flödet varierar från att bestå av en maskin för alla varianter av axlar till upp till tre parallella maskiner. Alla maskiner, utom ändbearbetningsmaskinen, kräver en omställning innan en annan variant kan bearbetas i den. Figur 6.10 visar en översiktlig bild över produktionsflödet för kamaxlar.



Figur 6.10: Översikt produktionsflödet kamaxlar

6.2.1 PRODUKTIONSSTEGEN

1. Svarvning av dubbhål (operation 020 – 030)

Maskiner: En svarv.

Delade resurser/ställ: 60 minuter mellan olika axeltyper. 15 minuter mellan olika varianter av D12 och D16.

Förflyttningar: Automatiska i enstyck.

Buffertar: 3 x 200 platser.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Bufferten används alltid för att kunna använda svarven maximalt. Svarven bearbetar en batch och lägger på buffert. Under tiden dessa axlar går vidare i flödet bearbetar svarven en ny batch.

2. Svarvning och fräsning (operation 040 – 070)

Maskiner: Två parallella flöden, med en ramsvarv och en nockfräs i varje flöde, samt en gemensam tvätt. I det ena flödet står också en kilfräs som endast bearbetar

D9-axlar. D12 och D16 bearbetas i det ena flödet och D12 och D9 i det andra.
Delade resurser/ställ: Samtliga maskiner utom kilfräsen. Ställtider för båda ramsvarvarna samt den nockfräs som bearbetar D16 och D12 är ca 15 minuter. Ställtid för nockfräsen för D9 och D12 är ca 45 minuter. Ingen omställning för tvätten.

Förflyttningar: Automatiska förflyttningar i enstyck t.o.m. tvätt. Efter tvätt läggs axlarna på pallar om 25 för D12 och D16, och 32 för D9. Trucktransport till buffert.

Buffertar: 5-10 platser mellan samtliga maskiner. Axlarna samlas i pall efter tvätt på 25 stycken, av D12 och D16 och 32 stycken av D9

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Buffert innan transport till härdning kan byggas upp om bufferten i härdningen är full. Detta sker framförallt innan helg. Buffert på 10 platser innan nockfräs används ofta eftersom det är bra om den kan arbeta utan stopp för att få upp rätt arbetstemperatur.

3. Härdning och riktning (operation 110 – 120)

Maskiner: Härderiet, riktpress.

Delade resurser/ställ: Omställning i riktpressen. 50 minuter mellan D9 och D12, D16. 35 minuter mellan D12 och D16 H. 10 minuter mellan D16 H och D16 V.

Förflyttningar: Trucktransport till och från härdning. Antal axlar per pall innan härdning: 25 stycken för D12, D16 och 32 stycken för D9. Antal axlar per pall efter härdning: 21 och 14 stycken för D12, D16 och 32 stycken för D9.

Buffertar: 20 pallplatser uppe i härdning. 30 pallplatser innan riktning. 96 pallplatser efter riktning.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Pallar kan gå om varandra om planeringen görs om. Detta gör att ledtider är mycket svåra att bestämma.

4. Slipning av ramlager (operation 130)

Maskiner: Tre ramslipar

Delade resurser/ställ: Två av sliparna är delade resurser. Den tredje används endast till D9 och har låg kapacitet. Slip 1 delas mellan D9, D12 och D16 H. 80 minuter ställtid mellan D9 och D12. 60 minuter mellan D12 och D16 H. Slip 2 delas mellan D12, D16 H och D16 V. 90 minuter ställtid mellan D9 och D12. 40 minuter mellan D12 och D16 H, 30 minuter mellan D16 H och D16 V.

Förflyttningar: Pallar hämtas med truck från lager efter riktning. Automatiska enstycksförflyttningar till och från slipmaskinen.

Buffertar: 20 platser på rullband innan bearbetning. 5 platser vid varje maskin.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt:

5. Ändbearbetning (operation 140)

Maskiner: En ändbearbetningsmaskin.

Delade resurser/ställ: Delad resurs för D12 och D16. Ingen omställning.

Förflyttningar: Automatiska enstycksförflyttningar. Efter bearbetning läggs axlarna på transportband.

Buffertar: 5 platser vid maskin. 20 platser på transportbana.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Klarar att bearbeta varannan D12 varannan D16 utan omställning eller kontroll. D9 genomgår inte detta bearbetningssteg.

6. Slipning av nockar, tvätt, kontroll samt polering för D9 (operation 150 – 170)

Maskiner: Tre nockslipar, en kontrollstation, en tvätt samt en poleringsmaskin för D9

Delade resurser/ställ: Alla sliparna är delade resurser.

Slip 1 och 2, delas av alla varianter, men slip 2 bearbetar mestadels D9. 85 minuter ställtid mellan D12 och D9, samt mellan D9 och D16. 60 minuter mellan D12 och D16. Slip 3 delas av D12 och D16.

40 minuter ställtid mellan D12 och D16, 20 minuter mellan D16 H och D16 V.

Även den automatiska kontrollen och tvätten är delade resurser. Kräver inga omställningar. För D9 utförs även polering i detta produktionssteg.

Förflyttningar: Automatiska enstycksförflyttningar.

Buffertar: 5 platser vid varje slip. 35 axlar per pall efter kontroll av D12 och D16. 32 axlar per pall av D9.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt:

7. Polering och avsyning (operation 190 – 210)

Maskiner: En polermaskin och en tvätt.

Delade resurser/ställ: Både poleringsmaskinen och tvätten är delade resurser, men endast den första måste ställas om. D9 går ej genom dessa maskiner. Ställtid för polermaskinen är 40 minuter mellan D12 och D16, 20 minuter mellan varianterna på D12 och D16.

Förflyttningar: Trucktransport mellan lager före och efter poleringen. Automatiska enstycksförflyttningar mellan polering och tvätt.

Buffertar: Buffert innan polering med varierande antal pallplatser.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Bearbetningen styrs till viss del av Kanbantavlan som visar läget i färdigvarulagret, men operatörerna kan i övrigt själva välja i vilken ordning de ska bearbeta axlarna, då ställtiden är sekvensberoende.

6.2.2 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER

Genomsnittliga ledtider genom produktionsflödet presenteras i processkartläggningen, Bilaga 7. I Tabell 6.4 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur de lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg.

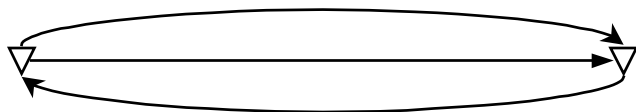
För att bestämma totala ledtider för en enskild axel genom produktionsflödet har en uppskattning av genomsnittliga genomloppstider i de större buffertarna gjorts. Dessa tiden kan variera mycket och är därför bara ungefärliga.

Tabell 6.4: Ledtider och operationstider för kamaxlar

Produktionssteg	Ackumulerad ca tid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Ackumulerad operationstid [h:min]
1. Svarvning av dubbhål	00:20	00:02
2. Svarvning och fräsning	19:40	00:34
3. Härdning och riktning	101:00	19:36
<i>Produktionsbuffert</i>	150:00	19:36
4. Slipning av ramlager	154:00	19:53
5. Ändbearbetning	154:00	19:56
6. Slipning av nockar	159:00	20:23
7. Polering och avsyning	178:00	20:37

6.3 CYLINDERHUVUDEN

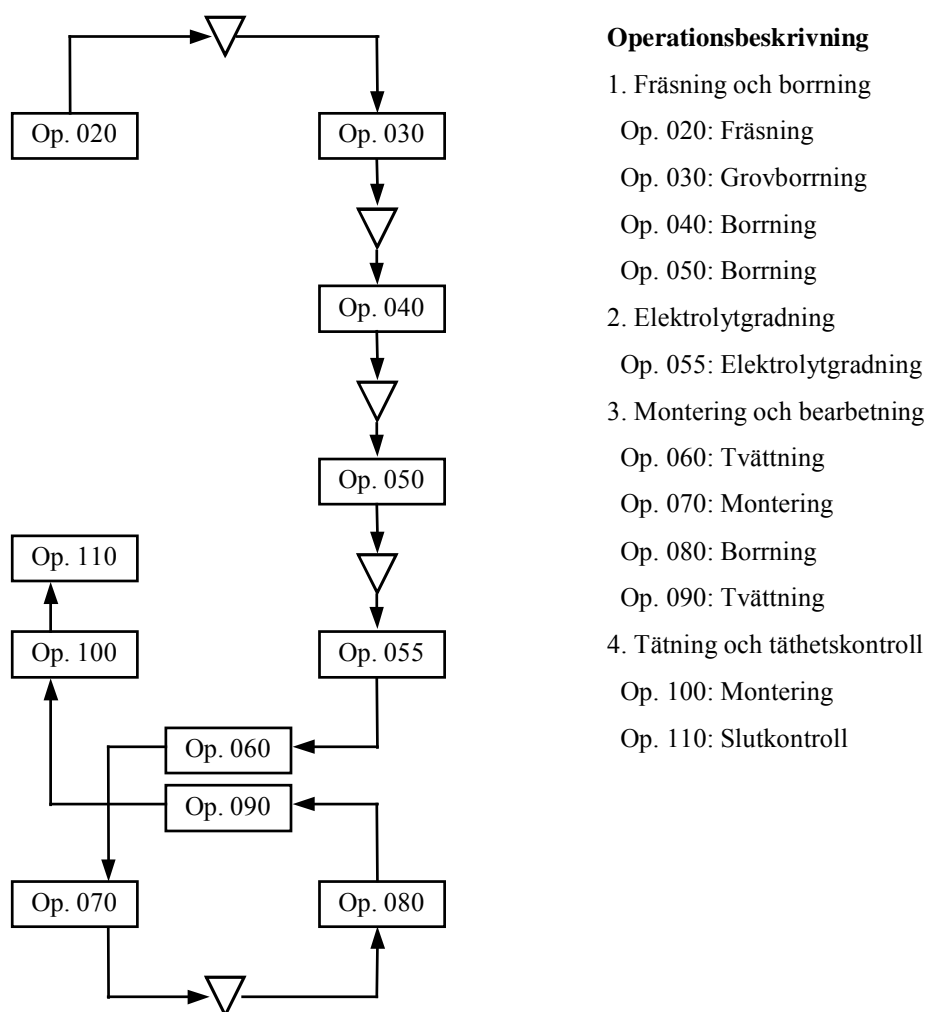
Produktionen av cylinderhuvuden styrs med Kanban, som går i en loop från första operationen till färdigvarulagret. Inom loopen gäller FIFO fullt ut. Det finns ingen möjlighet att lägga om sekvensen av typer som bearbetas inom denna linan, som består rakt igenom av endast ett flöde. Endast en variant i taget kan produceras i linan.



Figur 6.11: Produktionsstyrning av bearbetningsflödet för cylinderhuvuden

Bearbetning görs av maskiner som är placerade på båda sidor kring en taktstång. Maskinerna kring en taktstång utgör ett bearbetningssteg. I varje bearbetningssteg finns samtidigt flera cylinderhuvuden som bearbetas av olika maskiner vartefter de taktar framåt. Mellan dessa bearbetningssteg finns buffertplatser som fylls upp om något stopp sker längre fram i linan.

Figur 6.12 visar en övergripande bild av bearbetningslinan, där består varje operation av ett flertal maskiner inneslutna kring en taktstång.



Figur 6.12: Översikt produktionsflödet cylinderhuvuden

Kartläggning av cylinderhuvuden har begränsats till att studera varianten D12 PDE. Flödet är det samma för alla varianter och skillnaden endast består i att olika varianter kan ha olika antal bearbetningssteg och bearbetningstid. Detta påverkar dock inte ledtiden på något betydande sätt, då produktionslinan oavsett variant taktar fram med samma hastighet.

6.3.1 PRODUKTIONSSTEGEN

1. Fräsning och borrning (operation 020 – 050)

Maskiner: Fyra inneslutna bearbetningsstationer, med 5–10 bearbetningsplatser på varje station

Ställ: ca 10 minuter mellan D12 PDE och D16. Ca 50 minuter till och från D12 HPI.

Förflyttningar: Automatisk förflyttning från pall. Automatiska på bana mellan bearbetningsstationerna, taktstång inom stationerna.

Buffertar: 120 platser mellan första och andra bearbetningsstation, 60 platser mellan andra och tredje, 60 platser mellan tredje och fjärde.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

2. **Elektrolytgradning** (operation 055)

Maskiner: En gradningsmaskin.

Ställ: -

Förflyttningar: Automatiska

Buffertar: 60 platser innan gradning.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt:

3. **Montering och bearbetning av monterade detaljer** (operation 060 – 090)

Maskiner: Två bearbetningsstationer med tre respektive fyra bearbetningsplatser, samt en tvätt.

Ställ: Ca 12 minuter till och från D12 HPI

Förflyttningar: Automatiska på bana mellan bearbetningsstationerna, taktstång inom stationerna.

Buffertar: 55 platser mellan bearbetningsstationerna.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt:-

4. **Tätning och täthetskontroll** (Operation 100 – 110)

Maskiner: En bearbetningsstation.

Ställ: Ca 3 minuter till och från D12 HPI

Förflyttningar: Automatiska på bana till bearbetningsstationerna, taktstång inom stationen.

Buffertar: -

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: -

6.3.2 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER

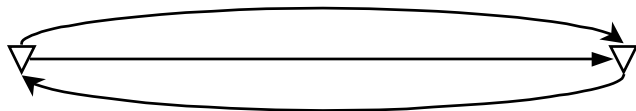
Genomsnittliga ledtider genom produktionslinan presenteras i processkartläggningen, Bilaga 8. I Tabell 6.5 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg. Då det finns tydliga begränsningar i hur mycket buffert som kan bildas i bearbetningslinan, och eftersom den taktar fram, är det möjligt att ange en minsta resp. längsta genomloppstid.

Tabell 6.5: Ledtider och operationstider för cylinderhuvuden

Produktionssteg	Ackumulerad mintid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Ack. maxtid [h:min]	Ackumulerad operationstid [h:min]
1. Fräsning och borr.	02:00	07:00	00:24
2. Elektrolytgradning	02:20	08:00	00:25
3. Montering, bearb.	03:00	10:00	00:38
4. Tätning, kontroll	03:40	11:15	00:47

6.4 MOTORBLOCK D12

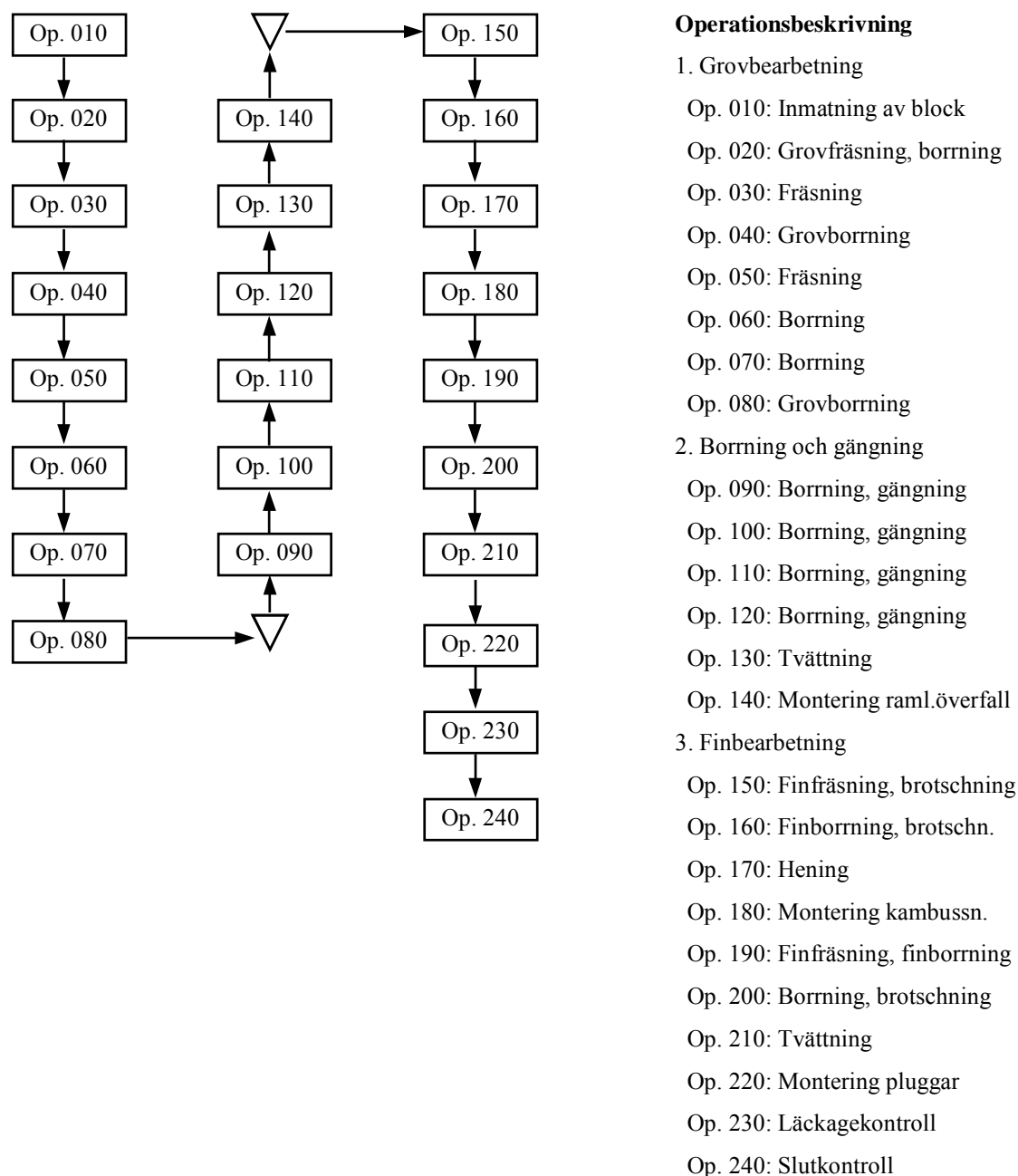
Produktionen av motorblock styrs till största delen av nivån i färdigvarulagret. Mellan linan och färdigvarulagret går det en Kanbanloop som ger signal om när det är dags att antingen börja producera eller att stanna upp och vänta på att ett behov finns. Till både D11- och D12-motorerna används ett gemensamt block som endast finns i en variant.



Figur 6.13: Produktionsstyrning av bearbetningen av motorblock

Tillverkningen sker i en helautomatisk transferlina med balanserade operationer. Balanseringen av tillverkningslinan har gjort att den är uppdelad i många olika operationer. Mellan varje operation finns det möjlighet att ha ett fåtal block. Det gör att antalet operationer är i viss mån kopplat till ledtiden.

De tre produktionsstegen innehåller ett flertal olika fleroperationsmaskiner som aldrig behöver ställas om. Det enda som behöver beaktas är att verktygsbyten kontrolleras efter utförandet. Buffertar förekommer endast som små buffertar in till varje operation, med undantaget för en större buffert mellan steg 2 och 3. Dessa små buffertar varierar i storleken 2 till 7 block.



Figur 6.14: Översikt produktionsflödet motorblock

6.4.1 PRODUKTIONSSTEGEN

1. Grovbearbetning (operation 010 – 080)

Maskiner: Åtta fleroperationsmaskiner

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Automatiska i enstyck eller på transportbana.

Buffertar: 2-7 block mellan varje maskin fungerar som en liten buffert

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Innan andra steget är transportbanan lite längre och kan innehålla upp till 15 block.

2. **Borrning och gängning** (operation 090 – 140)

Maskiner: Fyra fleroperationsmaskiner, en tvätt och en robotstation

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Automatiska i enstyck eller på transportbana

Buffertar: Små buffertar mellan varje operation. Steget avslutas med en säkerhetsbuffert med plats för 26 st block.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt: Första maskinen anses vara flaskhalsen för systemet.

3. **Finbearbetning** (operation 150 – 240)

Maskiner: Fem fleroperationsmaskiner, en tvätt, två kontrollstationer och två monteringsstationer.

Delade resurser/ställ: -

Förflyttningar: Automatiska i enstyck eller på transportbana.

Buffertar: Små buffertar mellan varje operation.

Övrigt intressant ur ledtidssynpunkt:

6.4.2 GENOMSNITTLIGA LEDTIDER

Genomsnittliga ledtider genom produktionslinan presenteras i processkartläggningen, Bilaga 9. I Tabell 6.6 ges en sammanfattning av dessa genomsnittliga ledtider genom att visa hur lång den ackumulerade ledtiden är efter avslutat produktionssteg.

Tabell 6.6: Ledtider och operationstider för motorblock

Produktionssteg	Akkumulerad ca tid vid avslutat produktionssteg [h:min]	Akkumulerad operationstid [h:min]
1. Grovbearbetning	05:20	00:39
2. Borrning och gängning	10:20	01:19
3. Finbearbetning	16:10	01:59

7 ANALYS

I detta kapitel genomförs en analys av de i kartläggningen framtagna ledtiderna. Detta görs framförallt genom att ställa andelen värdeadderande tid mot ledtiden för att visa var icke värdeadderande ledtid uppstår.

7.1 TRE SÄTT ATT REDUCERA LEDTID

Reduktion av ledtider i en produktionslina kan delas upp i tre mål; att minska ledtiden mellan styrbuffertar, att öka lageromsättningshastigheten i styrbuffertar och slutligen att minska tiden mellan produktion av olika varianter, att öka flexibiliteten.

- *Minska ledtider mellan styrbuffertar*
I ett Kanbansystem, eller vid produktion mot visuell buffert, ska varje styrbuffert innehålla nödvändigt material för att försörja efterföljande produktionssteg, med andra ord nästa kund. Med reducering av ledtiden kan avses att minska den tid det tar att fylla på efterföljande buffert i systemet. Genom att förkorta ledtiden till efterföljande kund minskar PIA i produktionslinan mellan buffertar. Dessutom blir vanligtvis följderna att en kortare ledtid betyder en säkrare ledtid vilket ger förutsättningar att i förlängningen minska säkerhetslager i buffertar.
- *Ta bort styrbuffertar eller öka lageromsättningshastighet*
Ledtiden för den enskilda artikeln är också den tid artikeln ligger i styrbuffert, även om de då finns till efterföljande kunds förfogande. Genom att minska buffertar, och därmed öka lageromsättningshastigheten, frigörs bundet kapital och lageryta.
- *Frekventare påfyllning till färdigvarulagret*
Med ledtid kan också avses hur flexibel produktionen är i att få fram olika varianter, och hur snabbt efterföljande kund kan försörjas med just den variant som efterfrågas. Detta kan anses vara den allra viktigaste formen av ledtidreducering då det möjliggör mindre buffertar genom jämnare materialförbrukning samtidigt som planeringen underlättas.

Genom att arbeta med ledtidsreduktion utifrån dessa tre mål ges förutsättningar att uppnå samtliga av de positiva effekter som omnämns i kapitel 5.7.1.

7.2 ANALYSENS UPPDELNING

Analys av ledtider och identifiering av slöserier görs genom att ledtider för en enskild artikel ställs mot hur stor värdeadderande tid som har utförts på artikeln. Detta visualiseras i diagram som bygger på tider i processkartläggningen, Bilaga 4–9. På detta sätt identifieras slöserier som visas i diagrammen i form av kö- och väntetider. De framträder som vågräta streck i och med att det är ledtid där den värdeadderande tiden är noll. För att analysera om det är möjligt att uppnå de tre ovanstående beskrivna sätten att reducera ledtid delas analysen upp i följande delar:

- *Ledtidsanalys mellan styrbuffertar*

Kö och väntetider mellan styrbuffertarna granskas och ifrågasätts. Vevaxelflödet är uppdelat i tre delar med två styrbuffertar som kallas produktionsbuffert och visuell buffert. På samma sätt är ledtidsanalys mellan styrbuffertar upplagd.

Kamaxelflödet har endast en styrbuffert inom flödet. Den finns innan hårda sidan och benämns riktad buffert. Men flödet är i praktiken uppdelat i tre delar genom att det bildas en buffert innan härdningen. Därför delas ledtidsanalysen upp i tre delar: mjuka sidan, härdningen och hårda sidan. Cylinderhuvuden och motorblock har endast färdigvarulagret som styrbuffert och därför analyseras hela flödet samtidigt.

- *Ledtidsanalys över hela produktionsflödet*

Under denna del kommer både styrbuffertars placering och lageromsättningshastighet samt produktionsflödets förmåga att få fram olika varianter frekventare till färdigvarulagret att analyseras.

7.3 VEVAXLAR

Ledtider mellan styrbuffertar kommer att analyseras med uppdelningen mjuka sidan, flaskhalsgruppen och hårda sidan. Sedan analyseras ledtider för hela produktionsflödet och även styrbuffertarnas placering och lageromsättningshastighet.

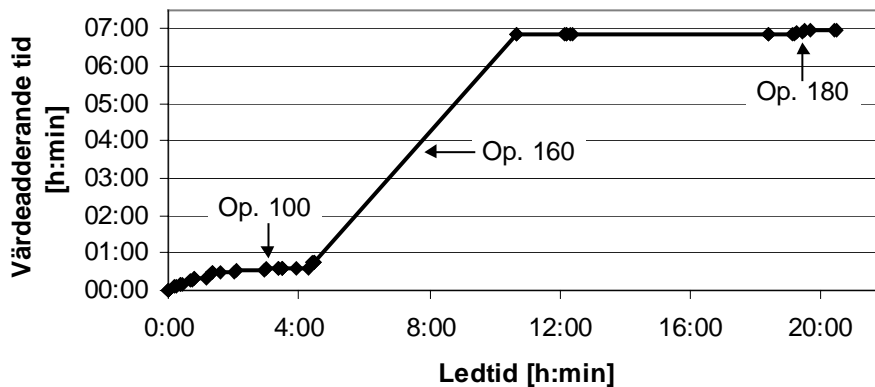
7.3.1 LEDTIDSANALYS MJUKA SIDAN

Mjuka sidan av produktionsflödet har i allmänhet enstycksförflyttningar och få platser där material kan samlas. Det gör att kötider mellan maskiner är korta och därmed blir andelen värdeadderande tid hög.

LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Diagrammen i Figur 7.1 - Figur 7.3 visar ledtiden relativt värdeadderande tid från första operation i flödet fram till produktionsbufferten.

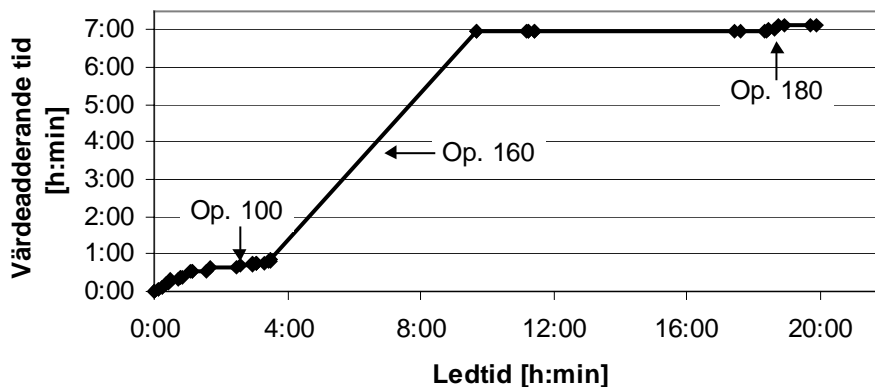
D9-flödet, mjuka sidan



Figur 7.1: Leditider relativt värdeadderande tid, D9 mjuka sidan

Leditiden fram till produktionsbufferten för D9 axlarna är ca 20 timmar. Av den tiden har axeln bearbetats i 6 timmar och 59 minuter, vilket motsvarar 35 % av tiden. Tydligt är att ledtiden fram till efter anlöpning består till största delen av värdeadderande tid. Det är först efter anlöpning det uppstår längre väntetider, vilket beror på att en buffert byggs upp innan ändbearbetning. Det bör påpekas att väntetid i denna buffert kan variera mycket och hur lång den är beror på hur ändbearbetningen arbetar. Även vid försänkning av oljehål uppstår väntetider, dock betydligt kortare.

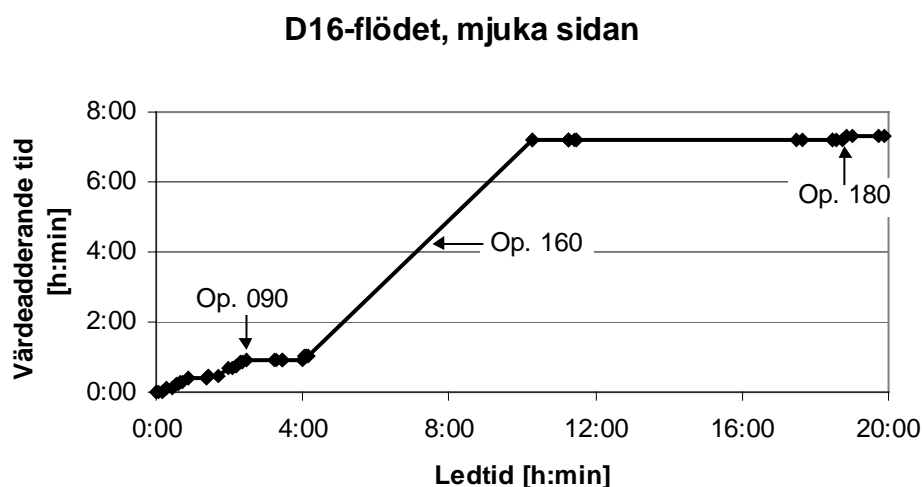
D11/D12-flödet, mjuka sidan



Figur 7.2: Leditider relativt värdeadderande tid, D11/12 mjuka sidan

Leditiden fram till produktionsbufferten för D11- och D12- axlarna är, så som för D9 axlarna, ca 20 timmar. Av den tiden har axeln bearbetats i 7 timmar och 8 minuter, vilket motsvarar 36 % av tiden. D11/D12-flödet har ett liknande diagram över ledtider som D9-flödet, och även här är det först efter anlöpning som det uppstår stora

väntetider. Väntetiden vid försänkning av oljehål är exakt densamma som för D9 axlarna, vilket beror på att de bearbetas i samma resurser.



Figur 7.3: Leditider relativt värdeadderande tid, D16 mjuka sidan

D16 flödet har en lite annorlunda fördelning av ledtider och värdeadderande tid innan anlöpning. Det beror på att bearbetningen sker i ett separat flöde skilt från D9 och D11/12. Leditiden fram till produktionsbuffert är ca 20 timmar. Av den tiden har axeln bearbetats i 7 timmar och 20 minuter, vilket motsvarar 37 % av tiden. De tre vågräta linjerna innan anlöpning kommer från kylbuffert, väntan efter oljehålsborrning samt väntan på pall innan pluggning. Väntetider efter oljehålsborrning beror på att D16 transporteras på pallar från robotcellerna att härdas i samma maskin som D9-axlarna. Den långa väntetiden efter anlöpning kommer från samma buffert som för D11/D12- och D9-axlarna.

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Orsaker till kö- och väntetider är i vissa fall samma för de tre variantflödena. Därför sammanfattas här orsaker till kö- och väntetider för samtliga flöden:

BUFFERT EFTER SVARVARNA I D9- OCH D11/D12-FLÖDET

Efter svarvoperationen finns en buffertmöjlighet på 18 platser. Denna ledtid syns inte i ledtidsgrafen ovan då de endast används om det uppstår ett stopp längre fram i flödet. När de fylls upp förlänger de ledtiden med ca 2 timmar. Då mjuka sidans flaskhals är placerad efter denna buffert kan det finnas anledning att ha den kvar om framförvarande maskiner ska stannas en stund för justering eller liknande. Det är däremot inte praktiskt att använda den ibland bara för att det finns överkapacitet i svarvarna.

Det händer också att axlarna som hamnar i denna buffert passeras av axlar som kommer direkt ifrån föregående svarv. Detta görs för att cykeltiden ska bli kortare för

dessa maskingrupper. Då de inte på något sätt utgör en flaskhals finns det ingen anledning att frånga FIFO, och därför bör axlar som eventuellt ligger i buffert gå före dem som kommer från maskinerna.

KYLBUFFERT D16

Det finns en kylbuffert för D16-axlarna som har som funktion att återställa axelns mått efter upphettningen vid grovsvarvning innan den skall finsvarvas. Detta moment har tidigare funnits även för de andra axeltyperna men tagits bort för att det inte längre är nödvändigt. Efter samtal med beredare finns det inte längre någon anledning att utföra detta för D16 heller. Bufferten förlänger ledtiden med 30 minuter och bör således tas bort.

BUFFERT INNAN OLJEHÅLSBORRNING, D16-FLÖDET

Vid oljehålsborren i D16-flödet står två pallar som omväxlande är buffert in och buffert ut från oljehålsborren. Eftersom oljehålsborren är flaskhals på mjuka sidan är det befogat med en buffert före maskinen men som den är konstruerad nu varierar den mellan noll och tolv axlar. Det innebär att flaskhalsen kan vara utan material vid enstaka tillfällen. Så som cellen är konstruerad frångås FIFO p.g.a. att roboten plockar inkommande axlar före dem som redan ligger i buffert.

FÖRSÄNKNING AV OLJEHÅL, D9- OCH D11/D12-FLÖDET

Axlarna placeras på en bana där försänkning av oljehålen sker av robotar. Banan rymmer 20 axlar, och endast två i taget bearbetas. Genomloppstiden för en axel är ca 2 timmar, varav bearbetningstiden är ca 8 minuter.

Denna bana är konstruerad att endast takta vidare om den hela tiden fylls på med nya axlar, vilket gör att ledtiden genom detta steg är kopplat till om ett stopp uppstår tidigare i flödet. Flaskhalsen för mjuka sidan är, för både D9- och D11/D12-flödet, placerad innan försänkning av oljehål. Detta borde ge möjligheten till ett ”sug” av PIA efter flaskhalsen, som skulle minska väntetider. Dock uppstår inte detta sug eftersom axlarna inte kan transporteras vidare förbi denna station om ett stopp uppstått tidigare i flödet.

BUFFERTAR KRING ÄNDBEARBETNINGEN, SAMTLIGA FLÖDEN

I samband med ändbearbetningen uppstår ett flertal buffertar:

- buffert innan urblåsning av plugg
- buffert innan transport in till ändbearbetning
- buffert på grund av att ändbearbetningen laddas med två till fyra pallar åt gången.

Buffert innan urblåsning av plugg uppkommer av att det inte finns en operatör tillgänglig att kontinuerligt blåsa ur plugg. Även om pluggen blåstes ur kontinuerligt

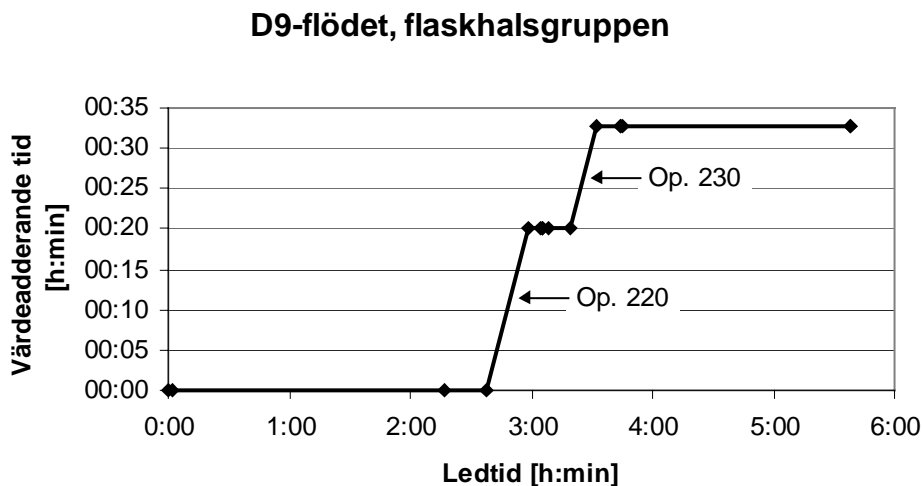
skulle det inte korta ledtiden då axlarna istället hamnar i nästa buffert. Den nästkommande bufferten uppstår därför att samtliga tre flöden går samman till ett i ändbearbetningen, som har en ställtid på ca 30 minuter. Det enda sättet att helt undkomma denna buffert är genom reducering av ställtiden för ändbearbetningen. Den sista kötiden som uppstår på grund av att ändbearbetningen laddas med upp till fyra pallar är svår att undgå så länge materialet förflyttas manuellt.

7.3.2 LEDTIDSANALYS FLASKHALSGRUPPEN

Den kritiska resursen i samtliga flöden är vevslipningen, men det är endast för D11- och D12- axlarna som denna resurs är en verklig flaskhals. Denna operation har frikopplats från Kanbanlooparna genom att låta vev- och ramsliparna producera mot en visuell buffert.

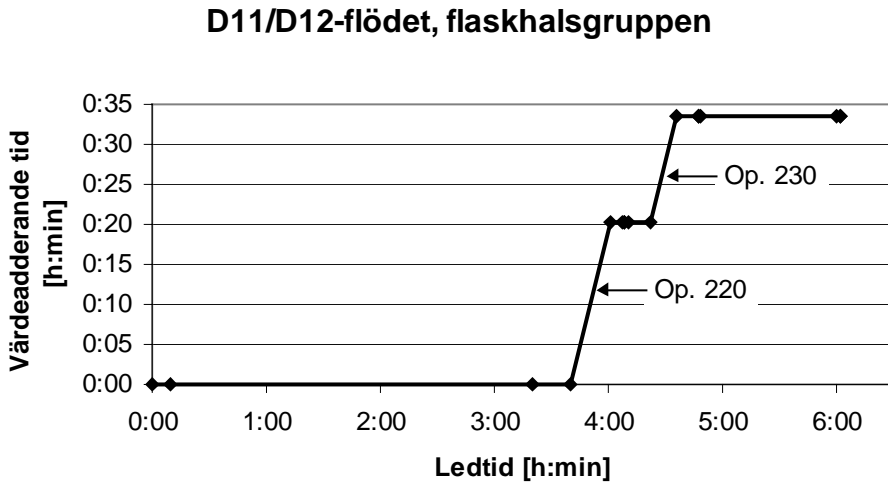
LEDTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Diagrammen i Figur 7.4 - Figur 7.6 visar ledtiden relativt värdeadderande tid från produktionsbufferten fram till visuell buffert.



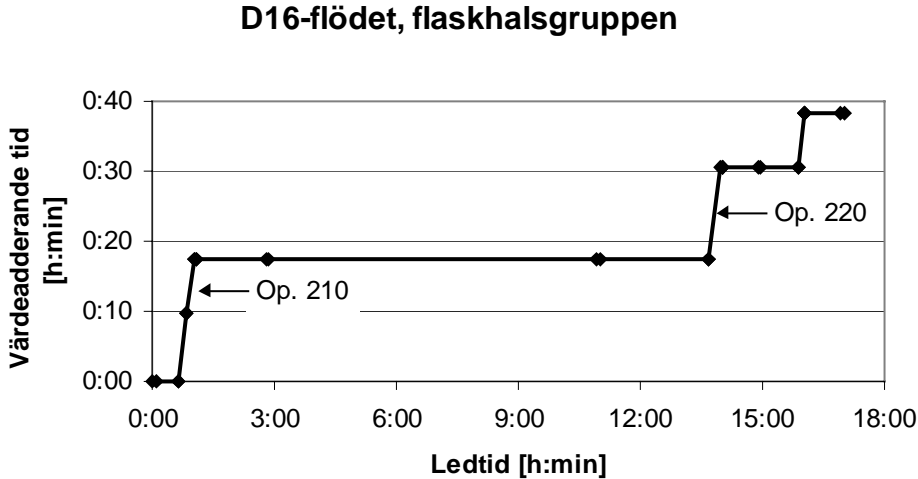
Figur 7.4: Ledtider relativt värdeadderande tid, D9 flaskhalsgruppen

Leditiden för D9-axlarna i flaskhalsdelen är ca 5,5 timmar varav bearbetningstiden är 32 minuter, vilket motsvarar ca 10 % av ledtiden. Den största väntetiden är när axeln ligger på pall och väntar i buffert in till ram- och vevslipning och buffert ut från ram- och vevslipning. Detta kommer av att axlarna hämtas från produktionsbuffert på pallar, en eller två pallar åt gången. I och med det uppstår en väntetid på ca 2 timmar före och efter bearbetning.



Figur 7.5: Leditider relativt värdeadderande tid, D11/D12 flaskhalsgruppen

Leditiden för D11/D12-axlarna i flaskhalsdelen är ca 6 timmar varav bearbetningstiden är 33 minuter, vilket motsvarar ca 9 % av ledtiden. Att grafen är mycket lik den för D9-flödet beror på att operationerna är i stort sett identiska. Leditiden är något längre för D11/D12-axlarna än för D9-axlarna då D11/D12-axlarna ofta flyttas från produktionsbuffert i partier om tre till fyra pallar i taget.



Figur 7.6: Leditider relativt värdeadderande tid, D16 flaskhalsgruppen

Diagrammet över ledtiden för D16-flödet ser annorlunda ut än det för D9 och D11/D12. Det beror på att detta produktionssteg genomförs med fyra operationer istället för två. Leditiden från produktionsbuffert till visuell buffert är ca 17 timmar varav bearbetningstiden är 38 minuter, vilket motsvarar ca 4 % av ledtiden.

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Sammanfattningsvis har följande orsaker till kö- och väntetider i samtliga flöden observerats:

FÖRE OCH EFTER RAM- OCH VEVSLIPNING, D9 OCH D11/D12-FLÖDET

Förflyttning av axlarna på pallar ger väntetider före och efter operationer. Väntetiden är svårt att undvika så länge transport av material inte görs automatisk. Den skulle teoretiskt sett kunna minskas genom att endast en pall i taget hämtas från produktionsbuffert, och på så sätt skickas endast ett Kanban i taget tillbaka och tillåter en ny pall att gå in i produktionsflödet. I praktiken skulle detta inte ge någon förändring då Kanbankorten inte flyttas så ofta att det skulle spela någon roll. Även om de skulle flyttas tillräckligt ofta startas inte produktion av att endast ett eller två kort är fria.

VÄNTETIDER FÖRE OCH EFTER SAMTLIGA OPERATIONER, D16-FLÖDET

Uppkommer på grund av transport på pallar, men är extra långa då vissa pallar rymmer 18 axlar. Orsaken är platsbrist i buffert mellan lätthålsborrning och vevslipning, samt att antalet transporter blir färre mellan operationerna. Ledtiden kan minskas genom att endast tillåta 6 axlar per pall och samtidigt inte fler pallar, men kortare väntetider än så är inte möjligt då materialet transporteras manuellt.

BUFFERT MELLAN LÄTTHÅLSBORRNING OCH VEVSLIPNING, D16-FLÖDET

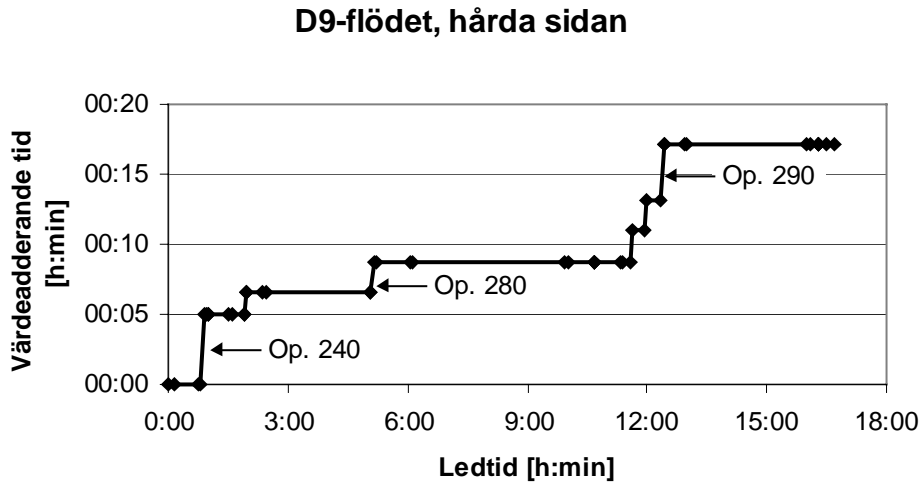
Det finns en buffert på ca 36 axlar mellan lätthålsborrning och vevslipning. Den finns där för att dessa operationer inte arbetar samtidigt. Under detta examensarbets utförande har denna buffert förändrats till att ingå i produktionsbufferten, genom att Kanbankorten sitter kvar tills pallen flyttas in till vevslipning. På detta sätt har denna extrabuffert nu införts i Kanbanloopen.

7.3.3 LEDTIDSANALYS HÅRDA SIDAN

Hårda sidan har ungefär lika långa ledtider som mjuka sidan. Men andelen värdeadderande tid är betydligt lägre. Orsaken till detta är framförallt att denna sida har många frikopplade steg där axlarna förflyttas på pallar och där det finns möjlighet att bygga buffertar mellan operationerna.

LEDTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

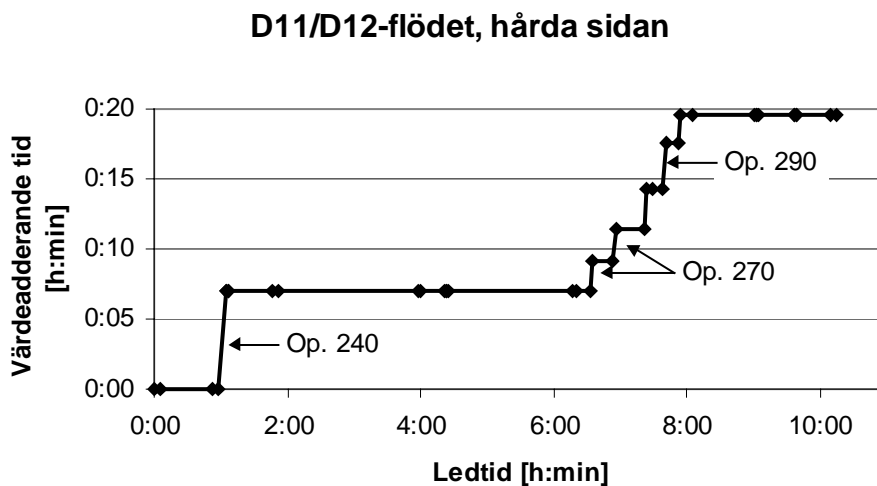
Diagrammen i Figur 7.7 - Figur 7.9 visar ledtiden relativt värdeadderande tid från uttag ur visuell buffert fram till färdigvarulagret.



Figur 7.7: Ledtider relativt värdeadderande tid, D9 hårda sidan

Ledtiden för D9-flödet från visuell buffert till färdigvarulagret är ca 17 timmar varav bearbetningstiden är 17 minuter, vilket motsvarar ca 2 % av ledtiden. Den mesta kö- och väntetiden uppkommer av att axlarna ligger på pallar mellan operationerna. Det förekommer också pallar med om upp till 20 axlar vilket förlänger ledtiden ytterligare.

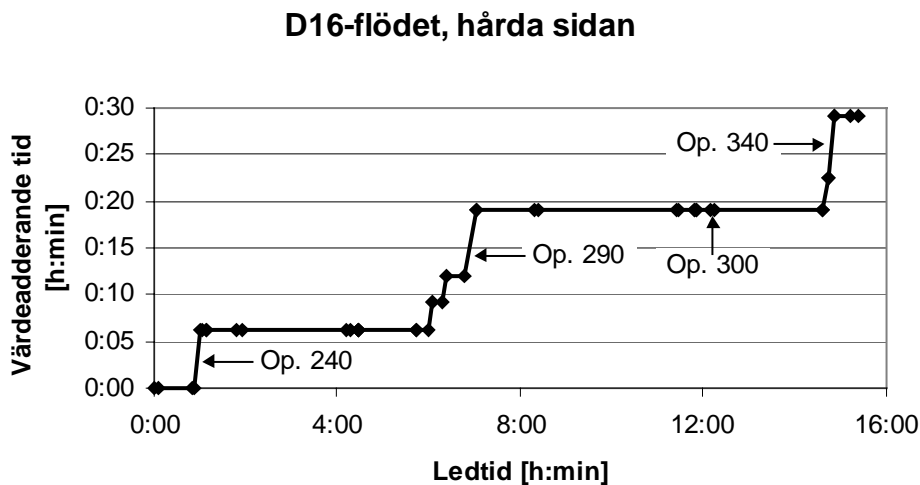
D9-axlarna kan balanseras antingen utanför polerportalen eller i en delad resurs i polerportalen. Diagrammet ovan visar ledtiden när axlarna poleras i den fristående maskinen, vilket ger längre ledtider eftersom ytterligare en operation utförs med förflyttning av axlarna på pallar.



Figur 7.8: Ledtider relativt värdeadderande tid, D11/D12 hårda sidan

Ledtiden för D11/D12-flödet genom hårda sidan är ca 10 timmar varav bearbetningstiden är 19 minuter, vilket motsvarar ca 3 % av ledtiden. Precis som för D9-flödet

uppkommer den mesta väntetiden på grund av att axlarna ligger på pallar mellan operationerna.



Figur 7.9: Ledtider relativt värdeadderande tid, D16 hårda sidan

Ledtiden för D16-flödet genom hårda sidan är ca 15 timmar varav bearbetningstiden är 30 minuter, vilket motsvarar ca 3 % av ledtiden. Speciellt för D16-flödet är att en extra operation utförs efter avsyning, vilket förlänger ledtiderna med några timmar. Den långa ledtiden efter avsyning beror framförallt på att axlarna hanteras på pallar med 20 stycken per pall.

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Sammanfattningsvis har följande orsaker till kö- och väntetider i samtliga flöden observerats:

VÄNTETIDER VID KNAPP- OCH FLÄNSSLIPNING, SAMTLIGA FLÖDEN

Två pallar åt gången ställs in i robotcellen för knapp- och flänsslipning. Detta gör att ledtiderna för en axel blir upp mot 2 timmar, varav bearbetningstiden är ca 6 minuter. Anledningen till att två pallar ställs in på samma gång är att antalet stopp av hanteringsroboten blir mindre då cellen öppnas endast för varannan pall. Genom att flytta vidare den bearbetade pallen så snart den är färdig kan hälften av väntetiden undvikas.

BUFFERT EFTER KNAPP OCH FLÄNSSLIP, SAMTLIGA FLÖDEN

Det finns en buffert efter knapp- och flänssliparna som rymmer fem pallar. Denna uppkommer genom att poleringen inte hinner ta allt som kommer ut från knapp- och flänssliparna. Denna buffert förlänger ledtiden på några timmar beroende på hur många axlar av varje sort som står i bufferten. Skulle pallar från knapp- och flänssliparna flyttas direkt till sprickkontroll, och endast produceras i den takt som

polerportalen hinner med, skulle ledtiden för den enskilda axeln förkortas med några timmar.

BUFFERT EFTER SPRICKKONTROLL, SAMTLIGA FLÖDEN

Det bildas alltid en buffert efter sprickkontrollen innan axlarna läggs på transportbandet in till polerportalen. Detta kan vara en buffert på upp mot 20 axlar vilket då förlänger ledtiden med någon timme. Detta kommer av att det är enklare för operatören att kontrollera ett flertal axlar i taget och lägga dem på en pall i väntan på plats på transportbandet. Men då transportbandet måste fyllas på med tre axlar i taget, vilket kräver arbete av operatören, skulle skillnaden i arbetsinsats inte vara så stor om endast tre axlar sprickkontrolleras åt gången och väntar på pall.

TRANSPORTBANAN IN TILL POLERPORTALEN

Denna bana är konstruerad att takta fram endast om den blir påfylld kontinuerligt. Banan rymmer 16 axlar varav två axlar bearbetas är gången. Bearbetningen tar ca 6 minuter och genomloppstiden för denna bana är mellan 45 minuter och 1 timme.

SVARVNING AV FLÄNSPLAN, D9-FLÖDET

Svarvning av flänsplan sker endast dagtid. Om operationen innan, knapp- och flänsslipning, bearbetar kväll och natt byggs buffertar upp innan svarvning av flänsplan. Bufferten skulle undvikas genom att operationerna alltid arbetar samtidigt. Efter svarvning av flänsplan läggs axlarna på pallar om 16 av utrymmesskäl. Detta gör att väntetiderna innan och efter bearbetning ökar med drygt det dubbla mot om de skulle hanteras på pallar om 6 axlar.

BALANSERING I DEN FRISTÅENDE MASKINEN, D9-FLÖDET

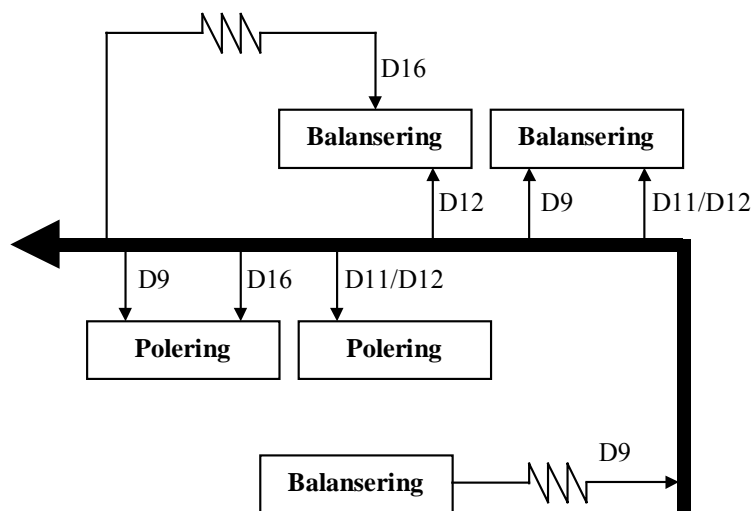
När balansering av D9 görs i den fristående maskinen förlängs ledtiderna avsevärt jämfört med om det görs i den maskin som står under portalen. Anledningen till detta är att det betyder ytterligare ett produktionssteg där axlar flyttas på pallar, men också för att dessa pallar rymmer 16 axlar och för att det ofta samlas ett flertal pallar runt denna operation. Anledningarna till att denna maskin används och inte den inne i portalen är flera och beskrivs nedan under punkten polerportalen.

POLERPORTALEN, SAMTLIGA FLÖDEN

Polerportalen är utformad på ett sätt som är komplicerat och försvårar en flexibel bearbetning av de fyra axeltyperna. Portalen innehåller två balanseringsmaskiner och två polermaskiner. Polermaskinerna är uppdelade genom att den ena polerar D11 och D12 och den andra D9 och D16. Detta fungerar bra, men det är lite mer komplicerat med balanseringsmaskinerna. Den ena balanserar D11, D12 och D9 och den andra D16 och D12.

Från föregående operationer kommer två typer av axlar i taget: D11 eller D12 och D9 eller D16, vilket beror på att knapp- och flänsslipning sker i två maskiner. I polerportalen kan D11/D12 bearbetas samtidigt som D16, men det blir komplicerat om D9 ska balanseras i portalen. I så fall måste balanseringsmaskinen för D16 ställas om till D12 samtidigt som balanseringsmaskinen för D12 ställs om till D9. Då är det också nödvändigt att det inte finns några D16 axlar kvar som ska balanseras, vilket kan vara fallet eftersom de balanseras flera timmar efter att de gått igenom polerportalen, fast manuellt från utsidan.

Vidare är antalet maskiner i portalen för många för att portalroboten ska hinna med vilket resulterar i att roboten ibland förlänger cykeltiden i maskinerna. Figur 7.10 nedan illustrerar flödet i polerportalen.



Figur 7.10: Komplicerat flöde i polerportalen

KYLBUFFERT EFTER POLERING, SAMTLIGA FLÖDEN

Efter polering måste samtliga axlar svalna innan de går vidare till avsyning. Detta tar ca 2 timmar och därför måste axlarna bli stående efter polerportalen. Axlarna samlas på pallar med 12 till 20 axlar. Det tar mellan 1 och 2 timmar att fylla pallen innan kyltiden kan påbörjas. Kyltiden blir därför längre än 2 timmar för den genomsnittliga axeln vilket skulle undvikas om de hanterades en och en.

MOTVIKTSMONTERING, D16-FLÖDET

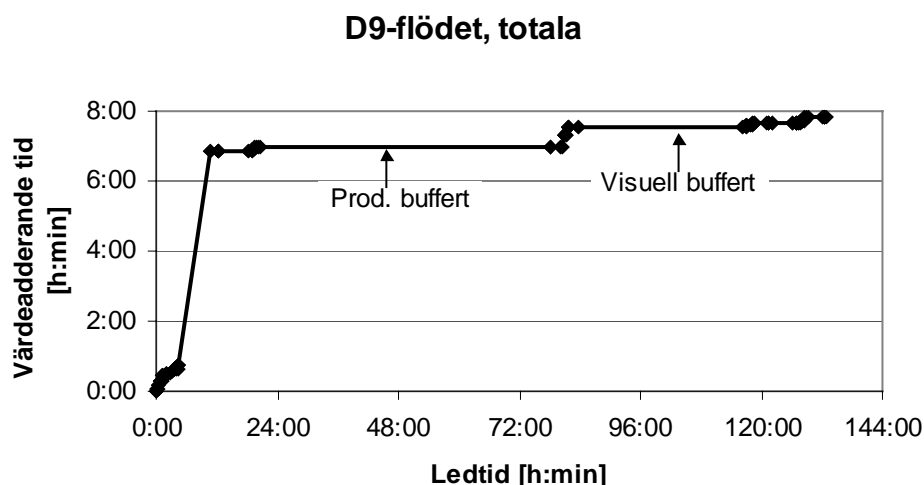
Innan motviktsmontering ligger axlarna på pallar om 20 stycken. Detta gör att det bildas en kö som tar ca 2 timmar för genomsnittsaxeln. Axlarna ligger extra många per pall av utrymmesskäl och för att antalet transporter blir färre.

7.3.4 LEDTIDSANALYS HELA PRODUKTIONSFLÖDET

Genom att studera ledtiden genom hela produktionsflödet är det tydligt att det är i styrbuffertarna den mesta av ledtiden för en enskild artikel uppstår. Därför förs här ett resonemang om dessa buffertar är nödvändiga och om dess lageromsättning kan ökas.

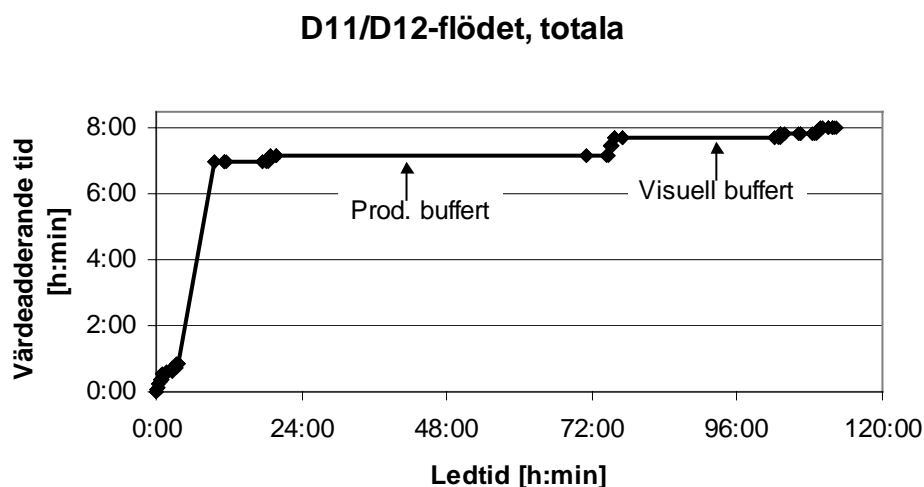
LEDTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Diagrammen i Figur 7.11 - Figur 7.13 visar ledtiden relativt värdeadderande tid för hela produktionsflödet.



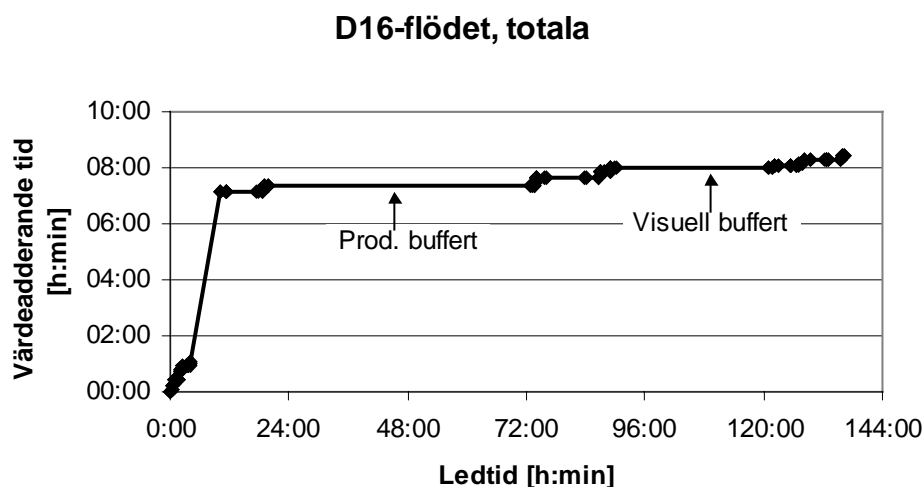
Figur 7.11: Ledtider relativt värdeadderande tid, D9 hela flödet

Den totala ledtiden för D9-axlarna är ca 133 timmar. Av den tiden är 7 timmar och 48 minuter bearbetning, vilket motsvarar 6 % av tiden.



Figur 7.12: Ledtider relativt värdeadderande tid, D11/D12 hela flödet

Totala ledtiden för D12 axlarna är ca 112 timmar. D11 har något längre total ledtid då antalet Kanban är fler för D11 än D12 i förhållande till efterfrågan. Bearbetningstiden är 8 timmar och 1 minut, vilket motsvarar 7 % av ledtiden.



Figur 7.13: Ledtider relativt värdeadderande tid, D16 hela flödet

Totala ledtiden för D16 axlarna är ca 136 timmar. Av den tiden bearbetas axeln i 8 timmar och 27 minuter, vilket är 6 % av ledtiden.

STYRBUFFERTARNAS FUNKTION OCH PLACERING

Styrbuffertarna är placerade före och efter flaskhalsen, vevslipning. Produktionsbufferten före flaskhalsgruppen är bra placerad då det är nödvändigt att vevsliparna alltid har rätt material att bearbeta. Placeringen har även stöd av OPT-regel nummer 3 och 5, kapitel 5.5.

Den visuella bufferten efter flaskhalsgruppen fyller funktionen att den ska kunna arbeta hela tiden även om efterföljande operationer inte hinner med. Anledningen till det är att sliparna bearbetar alla varianter samtidigt, i fyra parallella flöden. Efterföljande operation består av endast två parallella resurser som måste ställas om mellan de olika varianterna. Därför bildas en buffert även efter flaskhalsen vars storlek beror på hur flexibelt efterföljande operationer arbetar. Alltså är även denna styrbuffert nödvändig så länge maskinerna efter flaskhalsgruppen måste ställa om.

LAGEROMSÄTTNINGSHASTIGHETEN I STYRBUFFERTAR

Produktionsbufferten rymmer lika många axlar som det finns Kanban. Det är meningen att samma antal axlar som utgör den röda nivån Kanban alltid ska finnas i bufferten, helst även motsvarande den gula nivån. Grön nivå motsvarar antalet Kanban som vanligtvis utgör en produktionsbatch. För att öka lageromsättningshastigheten i produktionsbufferten måste någon eller samtliga av dessa nivåer minskas. För att inte minska säkerheten återstår att sänka grön nivå, vilket betyder att färre Kanban åt

gången produceras. Motsvarande resonemang gäller för sista Kanbanloopen, in mot färdigvarulagret.

TEORETISK MÖJLIG FLEXIBILITET

För att kunna beräkna hur stor flexibilitet som är möjligt i produktionsflödet beräknas minsta möjliga batchstorlek kapaciteten räcker för. Till detta används cyklisk planering, se kapitel 5.6. I beräkningen tas hänsyn till kapacitet, ställtider och efterfrågan. Det är i detta fall intressant hur ofta det är praktiskt möjligt att ställa om maskinerna och därför används formeln för tekniks cykeltid. (För beräkningar se Bilaga 10)

Teoretisk minsta batchstorlekar beräknas för den begränsande resursen i respektive del av flödet. På mjuka sidan är ändbearbetningen begränsande för D9- och D16-axlarna eftersom den har en ställtid genom kvalitetskontroll. För D11- och D12-axlarna är det istället vevfräsen som är begränsande. I flaskhalsgruppen är vevsliparna begränsande för samtliga varianter och på hårda sidan är knapp- och flänsslipning begränsande resurs för samtliga varianter.

Vevfräsen, vilken är begränsande för D11/D12-axlarn på mjuka sidan, står under andra portalen och portalroboten har många maskiner att hantera. Det finns en möjlighet för operatören att ställa in roboten på att prioritera D11/D12-axlar före D9-axlar, eller tvärt om. På detta sätt prioriterar portalen det ena eller det andra artikelflödet. Men då endast vevfräsen är begränsande maskin, och inte övriga maskiner som portalen hanterar, vore det bättre om portalen var programmerad att alltid prioritera denna maskin. Detta skulle kunna göra mycket för kapaciteten i detta produktionssteg, vilket starkt påverkar minsta teoretiska batchstorlek på mjuka sidan.

Tabell 7.1: Teoretiskt minsta möjliga antal Kanban per batch

	D9		D11		D12		D16	
	Idag	Möjligt	Idag	Möjligt	Idag	Möjligt	Idag	Möjligt
Mjuka sidan	14	4	17	8	27	23	14	4
Flaskhalsen	12	1*	14 - 20	11**	20 - 30	-**	12	1*
Hårda sidan	14	7	17	1	27	1	14	7

* Egna flöden utan omställningar

** Två resurser varav den ena enbart bearbetar D12 kontinuerligt och den andra ställs om mellan typerna

Tabell 7.1 redovisar de teoretisk minsta möjlig batchstorlekarna för varje del av flödet. För flaskhalsgruppen är beräkningen dock inte helt relevant. För D9- och D16-axlarna är det teoretiskt sett möjligt att i flaskhalsgruppen producera ett Kanban i taget. Det beror på att maskinerna inte ställs om. Däremot är det antagligen inte praktiskt genomförbart eftersom det därmed alltid måste finnas en person vid maskinen redo att producera om ett behov uppstår. Även D11 och D12 har en lite speciell situation i flaskhalsgruppen eftersom en av vevsliparna bearbetar D12 hela tiden och ställs inte om. Den andra maskinen ställa om mellan D11 och D12 och skulle teoretiskt sett kunna ställas om med frekvensen 11 Kanban av D11 och 9 Kanban av D12.

PRAKTISKT MÖJLIG FLEXIBILITET

Enligt ovanstående tabell finns det möjlighet att producera med större flexibilitet än vad som görs idag. Den möjligheten är varierande stor i olika delar av flödet. Därför ställs frågan om det finns något att tjäna på att producera med olika batchstorlekar i olika delar av flödet. OPT-regel nummer 5 och 7, kapitel 5.5, används för att belysa denna fråga:

- *Flaskhalsar styr både genomflöde och lager i systemet*
Det måste finnas tillräckliga lager före flaskhalsarna för att alltid kunna bearbeta rätt material. Detta gäller framförallt för D11- och D12-flödet där vevsliparna måste ha tillräckligt stora produktionsbuffertar för de batcher de bearbetar. Eftersom det inte finns så stora möjligheter att producera D11 och D12 mer flexibelt än idag är det heller inte möjligt att minska produktionsbufferten alltför mycket. D9 och D16 flödet kan däremot produceras mer flexibelt i flaskhalsen eftersom dessa maskiner inte ställs om.
- *En produktionsbatch skall variera i storlek längs dess väg genom produktionsprocessen och över tiden*
Denna regel syftar till att batcher i flaskhalsar ska vara större än i icke flaskhalsar. I detta fall betyder det att försörjningen av material till, och avhämtning från, flaskhalsen sker i batcher mindre än produktionsbatchen för flaskhalsen. På detta sätt skulle lagret fyllas på respektive tömmas två eller flera gånger under produktionen av en batch i flaskhalsen.

För D11- och D12-flödet är det möjligt att producera mindre batcher på hårda sidan än på mjuka och i flaskhalsgruppen. Därmed är det möjligt att tömma bufferten efter flaskhalsgruppen med mindre batcher än vad flaskhalsgruppen producerar. Men att fylla bufferten innan flaskhalsgruppen med mindre batcher av vad flaskhalsgruppen producerar är inte möjligt vilket framförallt beror på att den producerar även på helger. Därför är det nödvändigt att det finns en buffert som är tillräcklig för att försörja flaskhalsarna under helgen

För D9- och D16-flödet är det möjligt att producera mindre batcher på mjuka sidan än på den hårda. Det skulle därmed betyda att produktionsbufferten fylls på flera gånger under produktion av en batch i flaskhalsen. Detta är dock inte praktiskt möjligt då reaktionen inte är tillräckligt snabb samt att ledtiden är för lång för att hinna fylla på bufferten i tid. Därför är det inte möjligt att producera mindre batcher på mjuka sidan än i flaskhalsen och hårda sidan för D9- och D16 flödet. Detta är dock en metod som skulle vara möjligt vid kortare ledtid till buffert samt snabbare återföring av Kanban.

Det inte flaskhalsen som begränsar batchstorlekarna för D9 och D16. Det är slipning av knapp och fläns på hårda sidan på grund av dess ställtid. Denna operation måste bearbeta minst sju Kanban i taget av en variant, och beroende på att flaskhalsen har långsammare operationstid måste det finnas en buffert innan knapp- och flänsslipen som täcker produktion av en batch. Det är egentligen inte nödvändigt att det finns

exakt en hel batch i buffert då flaskhalsen hinner bearbeta några axlar under tiden batchen påbörjas i knapp- och flänsslipen.

Ytterligare en aspekt som måste läggas till detta resonemang är att det måste finnas ett slack i planeringen för att ge utrymme till förbrukningsstyrd produktion. Därför är det rimligt att dessa teoretiskt minsta batchstorlekar ökas till praktiskt rimliga storlekar, men att dessa beräknade storlekar utgör ett riktvärde.

Vad avser minskning av genomloppstider i buffertar kommer dessa inte att minska med en lika stor procentuell andel som reduceringen av storleken på batcherna. Det beror på att det finns en betydande andel säkerhetslager i varje buffert. Tabell 7.2 redovisar slutsatserna av ovanstående resonemang med praktiskt möjliga batchstorlekar (gröna Kanban) och motsvarande minskning av genomloppstid i bufferten. För beräkning av nya genomloppstider se Bilaga 11.

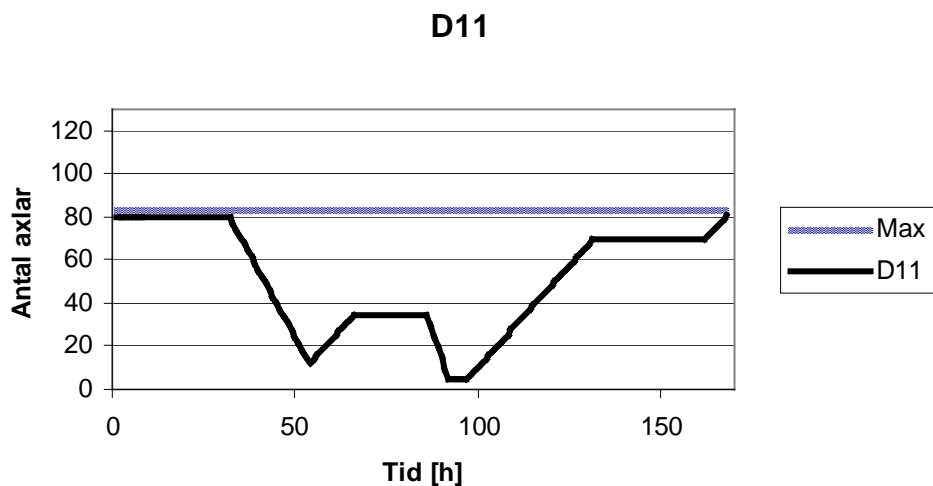
Tabell 7.2: Praktiskt möjliga batchstorlekar samt reducerade genomloppstider i styrbuffertar

	D9		D11		D12		D16	
	Kanban	Ny GLT	Kanban	Ny GLT	Kanban	Ny GLT	Kanban	Ny GLT
Mjuka sidan	9		12		27		9	
Prod. buff		- 13 %		- 10 %		± 0 %		- 13 %
Flaskhalsen	9		12		27		9	
Vis. buff		- 25 %		± 0 %		± 0 %		- 25 %
Hårda sidan	9		1-3*		3-9*		9	

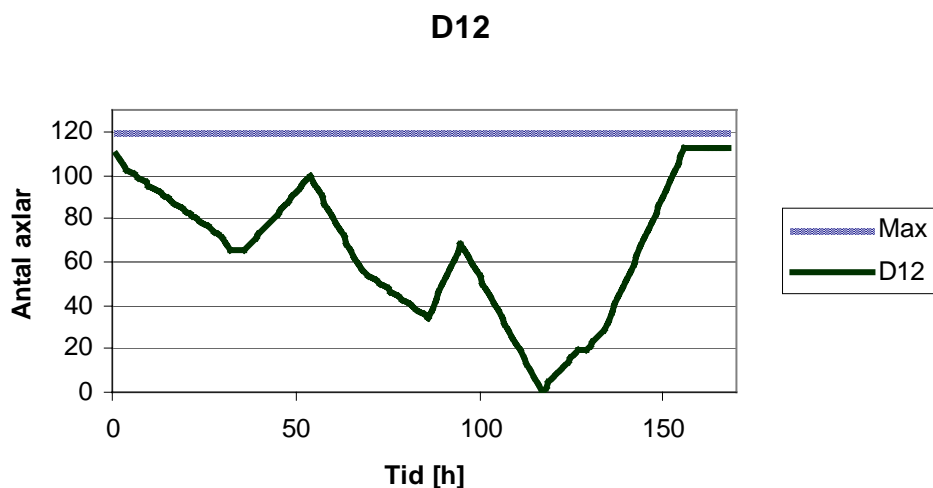
*) Kapacitet finns för det lägre antalet, men kräver stor arbetsinsats av operatörerna.

SIMULERING AV LAGERNIVÅER, VISUELL BUFFERT D11 OCH D12

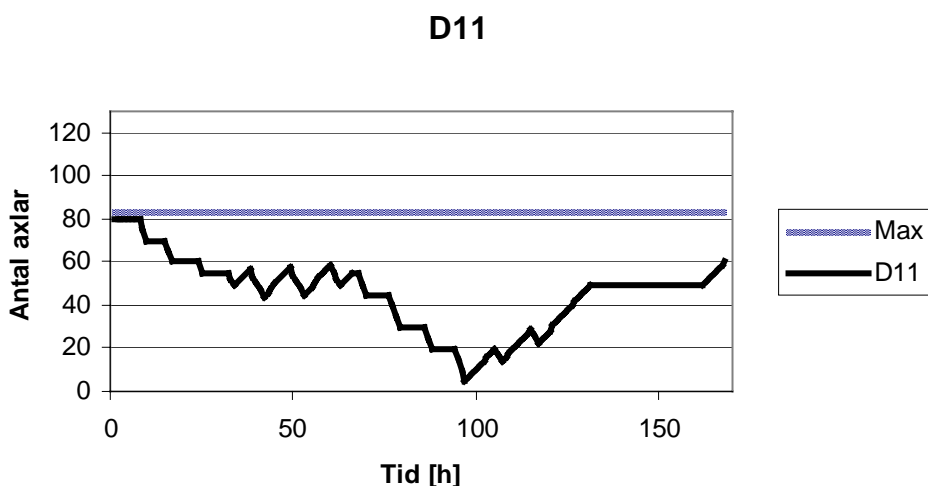
För D11- och D12-flödet förändras inte lageromsättningshastigheten nämnvärt i den visuella bufferten genom att hårda sidan producerar mer flexibelt. Det beror på att den ojämna kapaciteten i flödet gör att flaskhalsen för D11- och D12-axlarna även producerar på helger. Därmed byggs det upp den visuella bufferten upp under helgen och arbetas sedan bort under veckan. Nedanstående ”simulering” visar hur lagernivåer i visuell buffert förändras under en vecka med dagens batchstorlekar eller de mer flexibla batchstorlekar som föreslagits ovan.



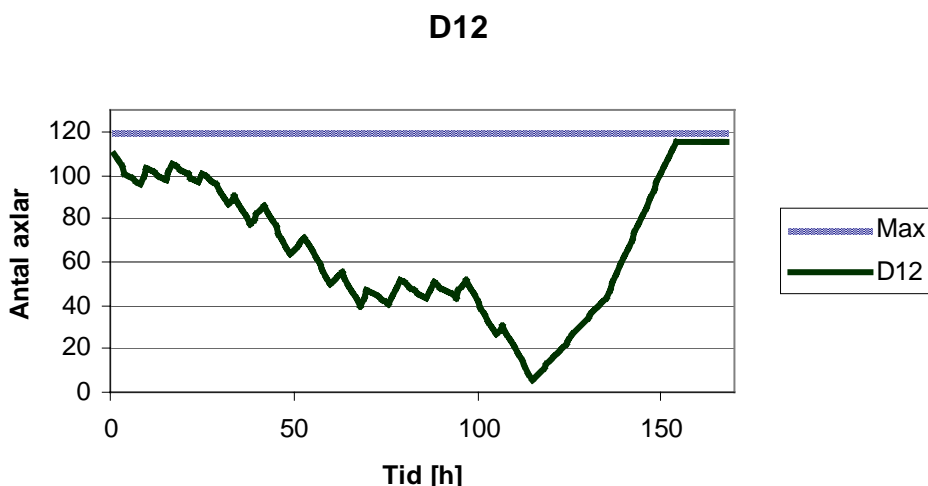
Figur 7.14: Lagernivåer i visuell buffert för D11, dagens batchstorlekar



Figur 7.15: Lagernivåer i visuell buffert för D12, dagens batchstorlekar



Figur 7.16: Lagernivåer i visuell buffert för D11, flexibel produktion



Figur 7.17: Lagernivåer i visuell buffert för D12, flexibel produktion

Enligt Figur 7.14 - Figur 7.17, som visar lagerutvecklingen under en vecka, kommer medellagernivån, och därmed genomloppstiden, inte att minska särskilt mycket genom att efterföljande produktionssteg producerar mer flexibelt. Däremot skulle bufferten kunna hållas nära noll om den inte skulle byggas upp under helgerna.

FREKVENTARE PÅFYLLNAD TILL FÄRDIGVARULAGRET

Trots att de reducerade batchstorlekarna av D11- och D12-axlarna enligt ovan inte betyder kortare genomloppstid igenom produktionsflödet, finns en annan viktig anledning att producera enligt de små batcherna. Det är att färdigvarulagret skulle fyllas på mer kontinuerligt. Genom detta finns möjligheten att minska genomloppstiden i färdigvarulagret på samma sätt som i resonemanget ovan angående produktionsbufferten.

En annan anledning till frekventare påfyllnad är att det i förlängningen skulle kunna resultera i att säkerhetslager kan minskas. Det resonemanget bygger på att säkerhetslager finns för att täcka upp osäkerhet i efterfrågan och osäkerhet i leveranstid. Då leveranser sker frekventare och därmed ger en kortare leveranstid följer teoretiskt även en minskad osäkerhet i leveranstiden. Därmed skulle minskade partistorlekar kunna ge en fortsatt reducerad ledtid genom att även säkerhetslager i förlängningen kan minskas.

ÄNDRADE FÖRUTSÄTTNINGAR I FRAMTIDEN

Skulle förutsättningarna förändras i produktionen genom att nya maskiner köps in eller att ställtider reduceras, är det troligt att en förflyttning av produktionslinans flaskhals sker. Om så är fallet kan ovanstående resonemang och beräkning av teoretiska batchstorlekar användas på samma sätt i den nya situationen. Genom att identifiera den begränsande resursen avseende ställtider och cykeltid görs en ny cyklisk planering för att ge nya riktvärden på antalet Kanban som bör användas för att ledtider skall hållas nere.

För exempelvis D11- och D12-flödet skulle tillräckliga investeringar i flaskhalsgruppen göra att flaskhalsen flyttas till vevfräsen på mjuka sidan. Vevfräsen är i början av produktionsflödet och vore den flödets flaskhals skulle förutsättningar för styrning av material vara bättre. Behovet av buffertar i efterföljande del av flödet skulle antagligen minska drastiskt.

7.4 KAMAXLAR

Ledtiden i bearbetningsflödet för kamaxlar är ca 180 timmar. Mycket av tiden uppstår i tre större buffertar som delar upp flödet i tre delar, mjuka sidan, härdningen och hårda sidan, där sekvensen för produktionsordningen kan läggas om i varje del. Det är endast bufferten innan hårda sidan som är en styrbuffert genom att Kanbanloopen över mjuka sidan och härdningen slutar i den.

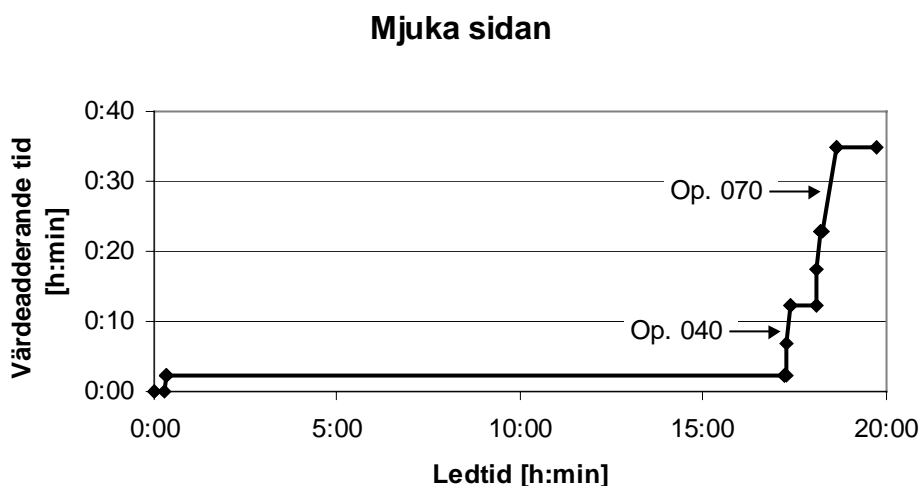
Nedan analyseras ledtider i mjuka sidan, härdningen och hårda sidan var för sig. Sedan analyseras ledtider i hela produktionsflödet och även styrbuffertens placering och lageromsättningshastighet.

7.4.1 LEDTIDSANALYS MJUKA SIDAN

Mjuka sidan börjar med en ensam maskin som ske förse det resterande flödet som är delat i två. Denna lösning genererar en buffert efter första maskinen som ger den längsta väntetiden för mjuka sidan. Resterande del av mjuka sidan består av mycket lite kö- och väntetid.

LETTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Lettiden genom mjuka sidan i flödet, från första operation till och med att axlarna är redo att transporteras upp till härdning, är ca 20 timmar. Av den tiden är ca 30 minuter värdeadderande tid, vilket motsvarar ca 3 % av lettiden. Diagrammet i Figur 7.18 visar lettiden relativt värdeadderande tid för mjuka sidan.



Figur 7.18: Lettider relativt värdeadderande tid, mjuka sidan

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Följande orsaker till kö- och väntetider har iakttagits:

AXLARNAS PLACERAS I EN BUFFERT DIREKT EFTER FÖRSTA OPERATION

Den första maskinen i flödet är en ensam resurs som ska förse efterföljande flöde som är delat i två. Då maskinen arbetar ca dubbelt så fort som efterföljande maskiner hinner denna maskin försörja båda dessa flöden. Den har däremot en ställtid på ca 1 timme, vilket gör att maskinen måste bearbeta en hel batch innan den ställs om för att bearbeta nästa variant. På grund av detta byggs det alltid upp en buffert mellan första och andra operation.

Bufferten består av tre torn som rymmer ca 200 axlar vardera. Det är inte möjligt att blanda olika typer av axlar i samma torn eftersom roboten inte kan hålla reda på det. Däremot är det möjligt att ha olika typer i de olika tornen. När produktionslinan byggdes var tanken att två torn skulle innehålla de två sorter som bearbetas i nästkommande två flöden. Det återstående tornet skulle samtidigt fyllas på av den första maskinen. I dagsläget är vissa batchstorlekarna större än 200 axlar vilket gör att det inte är möjligt att använda tornen på detta sätt. Istället måste mer än ett torn fyllas upp av en variant, vilket försvårar flödet och stoppar upp den första maskinen.

Eftersom många batchstorlekar är upp emot 350 axlar ger denna buffert en ledtid förlängning på ca 17 timmar i medel. För att få ned denna tid måste ställtiden för maskinen reduceras.

BUFFERT MELLAN RAMSVARVNING OCH NOCKFRÄSNING

Denna väntetid kommer av att det finns en buffert med ca 10 axlar mellan dessa maskiner. Den behövs där för att tillse att maskinen efter kan arbeta kontinuerligt och på så sätt kunna hålla en jämnare arbetstemperatur.

VÄNTETID EFTER TVÄTT

Denna tid kommer av att axlarna läggs på pallar om 25 eller 32 stycken, vilket ger väntetider på ca 1 timme i snitt. Axlarna måste placeras på pallar eftersom de ska transporteras till härderiet som ligger i annan byggnad.

7.4.2 LEDTIDSANALYS HÄRDNINGEN

Tiden från att axlarna går upp till härderiet och kommer ner igen till motortillverkningen varierar under veckan men tar i genomsnitt ca 50 timmar. Av den tiden går ca 15 timmar till själva härdprocessen. Den långa ledtiden kommer framförallt av att det är nödvändigt med en buffert innan härdningen. Detta beror på att härderiet arbetar långsammare än resten av produktionsflödet och måste således även härda på helger. På grund av det bildas det under hela veckan en buffert i härderiet som förhoppningsvis bearbetas under helgen.

Att härdningen är placerad i en annan byggnad ger även vissa planeringsmässiga problem då det kan vara svårt att veta vad och hur mycket som finns i bufferten innan härdning. Detta har på senaste tiden försökts lösas genom att införa ett inrapporteringsystem där operatörer på härderiet rapporterar in lagersaldo för högvolymsvarianterna dagligen.

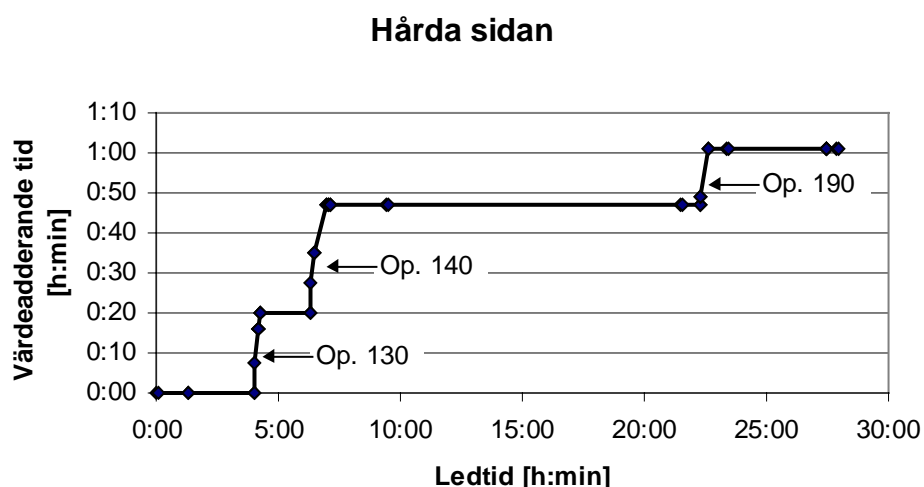
Härderiet härdar i satser om 35 axlar (32 för D9-axlarna). Ställtider är försumbara och därför kan de producera flexibelt vad avser produktmix. Härdning sker i den ordning som axlarna skickas upp, men det är möjligt att lägga om den sekvensen om behovet finns. Den knappa kapaciteten i härderiet gör att det är nödvändigt att härda i satser om 35 axlar och inte mindre. Axlarna körs på pallar in till härderiet och dessa innehåller färre än 35 axlar. Detta beror på att annars skulle pallarnas tillåtna maxvikt överskridas. Därför lastas axlarna istället i satser om 25, härdas i satser om 35 och körs tillbaka till motortillverkningen i satser om 21 och 14 stycken. Genom att lastbärarna ändrar storlek genom Kanbanloopen minskar möjligheten till den tydlighet och enkelhet i materialflödet som ett Kanbansystem syftar till.

7.4.3 LEDTIDSANALYS HÅRDA SIDAN

Genom hårda sidan ske förflyttning av material automatiskt och i enstyck fram till buffert innan polering. Därför är kö- och väntetider korta fram till denna buffert. Poleringen består av en ensam maskin som ska bearbeta material från flera flödet. Det ger upphov till en buffert då maskinen måste ställas om mellan de olika typerna.

LEDTIDER RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Ledtiden är ca 28 timmar varav den värdeskapande tiden är ca 1 timme, vilket motsvarar 4 % av tiden. Diagrammet i Figur 7.19 visar ledtiden relativt värdeadderande tid för hårda sidan.



Figur 7.19: Ledtider relativt värdeadderande tid, hårda sidan

Alla förflyttningar sker automatiskt i enstyck fram till innan polering. Att det ändå blir vissa väntetider beror på att det samlas flera axlar mellan maskinerna. De längsta väntetiderna uppkommer an anslutning till poleringen vilket beror på att axlarna transporteras dit på pallar och hamnar i en buffert.

Maskinerna på hårda sidan, undantaget poleringen, arbetar med relativt lika hastighet. Dock är det slipning av ramlager, vilket görs i de första maskinerna, som vanligtvis är flödets flaskhals. I den delen av flödet förflyttas axlarna av en portal som inte alltid hinner med. Den har ett styrsystem som gör att den inte kan prioritera maskiner på önskat sätt. Genom detta blir cykeltiden för maskinerna ibland längre än de skulle behöva vara, vilket är olyckligt för flaskhalsmaskiner där varje extra sekund har betydelse för produktionsflödet som helhet.

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Följande orsaker till kö- och väntetider har iakttagits:

TRANSPORTBAND

Axlarna ligger på transportband in till första maskinen. De lastas upp på transportbandet från pallar och således är denna tid egentligen densamma som axlarna annars skulle ligga i pall och vänta på att gå in i produktionen. Denna tid kan med andra ord endast reduceras genom att minska pallstorlekarna.

KÖ PÅ TRANSPORTBAND MELLAN ÄNDBEARBETNING OCH SLIPNING AV NOCKAR

Det finns ett transportband mellan dessa två maskiner som också är länken mellan den första och andra portalen. Maskinerna genom denna del av flödet arbetar i relativt jämn takt vilket medför att bufferten fylls upp ibland om något stopp uppstår längre fram. Det finns plats för 2x20 axlar vilket förlänger ledtiden med ca 2 timmar. Dock kan denna buffert vara befogad då det är nödvändigt att ramsliparna innan kan arbeta kontinuerligt eftersom de är flaskhalsar.

VÄNTETID EFTER TVÄTT

Axlarna lastas 35 stycken på palletter. Detta genererar väntetider på drygt 2 timmar för medelaxeln. Tiden reduceras genom att minska antalet axlar på palletterna, men är bara meningsfullt om de olika axeltyperna poleras mer varierat. Med andra ord genom att få ett jämnare flöde av material genom poleringen.

BUFFERT INNAN POLERING

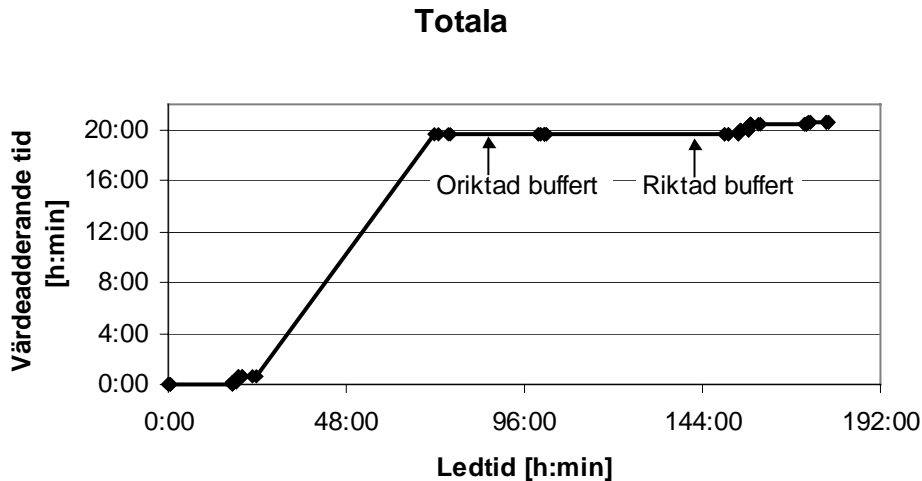
Innan polering bildas en buffert på ca fyra till fem pallar. Det beror på att polermaskinen har en ställtid på ungefär 1 timme. Det finns gott om kapacitet att ställa denna maskin oftare men då omställningen är mycket arbetskrävande väntar operatören med att ställa om tills det finns tillräckligt med material för att bearbeta nästa variant i drygt ett skift.

7.4.4 LEDTIDSANALYS HELA PRODUKTIONSFLÖDET

Totala ledtiden i bearbetningslinan för kamaxlar var under tiden för kartläggning ca 180 timmar varav den värdeadderande tiden är ca 20,5 timmar, vilket motsvarar 12 % av tiden. Ledtiden har under detta examensarbets genomförande troligen förändrats lite med avseende på genomloppstider i riktad buffert, vilket beror på att ett Kanbansystem har startats upp. Kanbanloopen löper från första operation till och med innan riktning. Genom denna förändring producerar nu hela flödet i en pull-miljö.

LEDTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Diagrammet i Figur 7.20 visar ledtiden relativt värdeadderande tid för hela produktionsflödet.



Figur 7.20: Ledtider relativt värdeadderande tid, hela produktionsflödet

Det är tydligt att en stor del av ledtiden är liggtime i buffert innan och efter riktning. Det är dessutom troligt att dessa liggtime har ökat i och med att Kanbansystemet har införts, då det betyder att det alltid ska finnas en viss mängd axlar i buffert. En ytterligare stor del av ledtiden kommer också från härdningen, både från själva härdprocessen men även från den buffert som bildas i och med den ojämna produktionstakten.

STYRBUFFERTENS PLACERING OCH FUNKTION

Flaskhalsen finns i slutet av flödet och det gör vanligtvis ett flöde mer svårplanerat. Med en ledtid på ca 75, timmar innan axlarna finns framme för bearbetning i flaskhalsen, är det nödvändigt att se till att det alltid finns rätt material framme vid rätt tidpunkt för bearbetning. Detta har lösts med hjälp av en styrbuffert innan flaskhalsen, vilket är slutet på Kanbanloopen över mjuka delen och härdningen. Denna placering är nödvändig för att tillse att flaskhalsarna kan utnyttjas maximalt. (Stöds av OPT-regel nummer 5, kapitel 5.5)

Bufferten innan riktning är inte en styrbuffert och fyller ingen direkt funktion. Den uppstår då riktningen inte hinner med att rikta i samma takt som axlar kommer från härdningen. Då bufferten i stort sett anses tillhöra styrbufferten innan flaskhalsarna finns ingen direkt anledning att arbeta för att få bort just denna buffert.

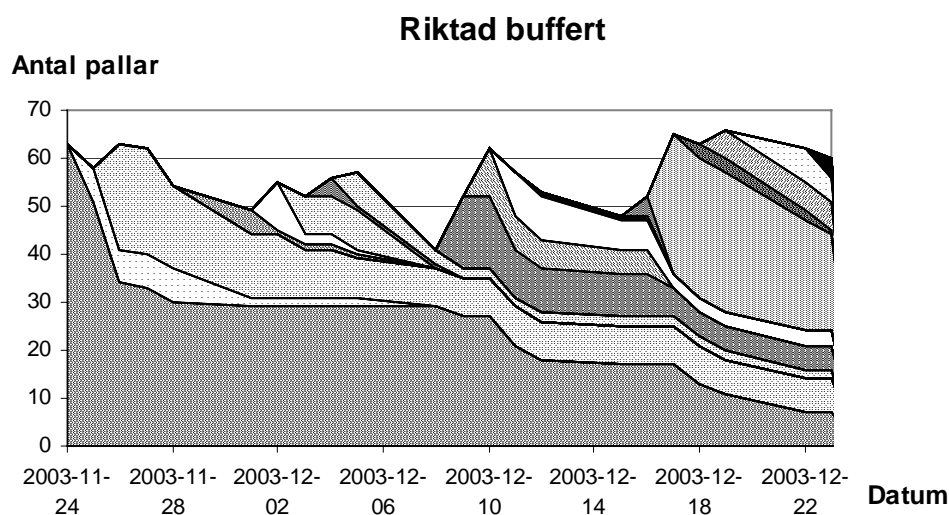
LAGEROMSÄTTNINGSHASTIGHETEN I STYRBUFFERT

Kanbanloopen består av relativt många kort och därför blir lageromsättnings-hastigheten i styrbufferten låg. Då Kanbansystemet fortfarande är i intrimningsstadiet är tanken att dessa batchstorlekar ska minskas med tiden. I dagsläget finns inte kapacitet att tillverka i mindre batcher på hårda sidan.

Det skulle vara kapacitetsmässigt möjligt att producera mindre batcher på mjuka sidan och därigenom fylla på styrbufferten innan hårda sidan mer frekvent. Detta kan vara ett sätt att minska genomloppstiden för styrbufferten genom metoden ”överlappning”, se kapitel 5.7.2. Överlappning av batcherna skulle ske om endast en del av produktionsbatchen ligger i buffert innan flaskhalsen. Resterande delen av produktionsbacken blir då producerad i mjuka sidan först när den första delen av batchen påbörjats i flaskhalsen. På så sätt varierar batchstorleken genom flödet genom att den är mindre där det finns extra kapacitet (mjuka sidan) och större i flaskhalsen (OPT-regel nr 7, kapitel 5.5). Samtidigt blir genomloppstiden i styrbufferten kortare. Detta är dock inte genomförbart i dagsläget för kamaxeltillverkningen, vilket beror på att ledtiden fram till styrbufferten är för lång. Med andra ord finns det inte någon anledning att bearbeta mer flexibelt på mjuka sidan än på hårda även om kapaciteten finns.

LAGERINVENTERING

När produktionen övergick till att styras med Kanban blev det tydligt att lagernivån i styrbufferten innan hårda sidan ökande markant. För att ta reda på hur länge axlarna ligger i detta lager genomfördes en lagerinventering under en månad, redovisas i Figur 7.21. Inventeringen är inte uppdelad i olika axeltyper, utan endast i hur länge axlarna har legat i lager. Varje fält i diagrammet representerar en dags inleverans i lagret. Fältns längd och tjocklek visar hur antalet pallar minskar och hur länge de blir liggande i bufferten.



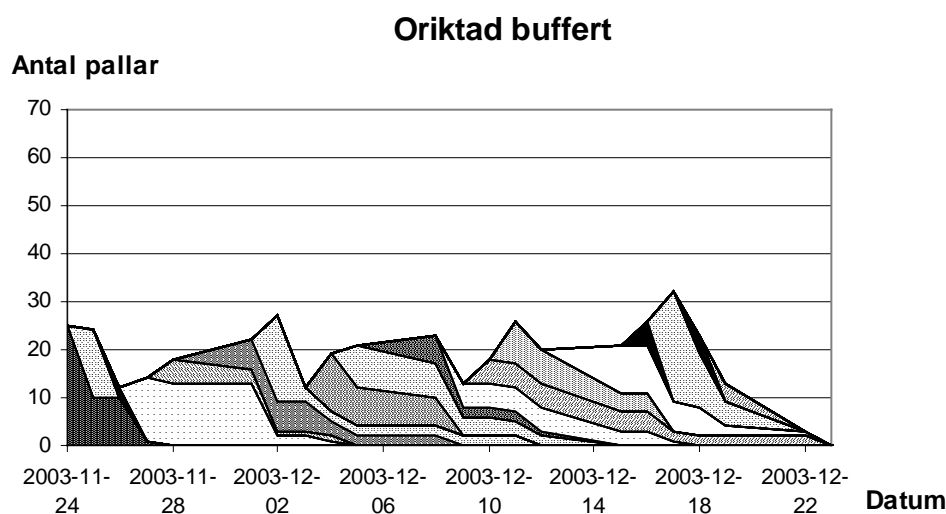
Figur 7.21: Antal dagar i lager, riktad buffert

Lagerinventeringen visar att genomloppstiden varierar mellan en dag till upp emot en månad. Det finns även ett okänt antal axlar som går rakt igenom bufferten och därför inte har fångats upp i denna inventering. Det stora understa fältet av axlar som ligger länge i lager består framförallt av lågvolymer varianter som har producerats för att finnas redo innan flaskhalsarna för att bearbetas när det finns behov av dem i färdig-

varulagret. Dessa axlar ingår inte i Kanbanloopen eftersom de har en alltför låg efterfrågan.

Långa ledtiderna fram till flaskhals är en av orsakerna till att axlar ibland blir liggande länge i buffert. Detta beror på att efterfrågan kan ändras under tiden från det att axlarna bearbetas på mjuka sidan till dess att de är framme i färdigvarulagret. Detta gäller framförallt lågvolymaxlar som inte ingår i Kanbanloopen, där det blir nödvändigt att genom prognos uppskatta vad som kommer att behövas längre fram i tiden.

En lagerinventering har även genomförts i lagret innan riktning av axlarna, i den s.k. oriktade bufferten. Figur 7.22 visar lagerinventeringen för oriktad buffert.



Figur 7.22: Antal dagar i lager, oriktad buffert

Oriktad buffert har högre lageromsättningshastighet och genomgående lägre lagernivåer. Att den har en mycket mer fluktuerande lagernivå beror framförallt på att det går snabbt att rikta axlarna och detta görs när det finns tid eller ett behov av axlarna.

STÖRRE BATCHSTORLEKAR PÅ MJUKA SIDAN ÄN PÅ HÅRDA

Genom intervjuer samt genom att studera lagren innan hårda sidan har det framkommit att det är vanligt att batchstorlekarna på mjuka sidan är större än på den hårda, trots att kapacitetsförhållandet är det omvända. Meningen är att batchstorlekarna ska vara lika stor genom hela flödet men ibland frångås detta. Det här omvända arbetssättet beror på flera saker. En anledning är att batchstorlekarna ibland görs större på mjuka sidan för att omställningarna är långa och relativt komplicerade. En annan anledning är att det ska finnas gott om axlar i flödet så att flaskhalsarna ska ha tillräckligt av rätt axlar om det uppstår ett behov. En tredje anledning är att batchstorlekarna på hårda sidan ibland är mindre än planerat. Det beror på att det är svårt att hinna med att hålla färdigvarulagret på rätt nivå, och därför blir det ibland nödvändigt med små batcher för att hinna få fram alla olika typer och varianter.

FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR KANBANSTYRNING

En viktig anledning till att genomloppstider i buffertar är varierande och ibland mycket långa är att det Kanbansystem som har införts på flera sätt inte har särskilt bra förutsättningar. Bland annat finns det inte tillräckligt med platser i buffert innan hårda sidan för alla Kanban som ska cirkulera. Tanken är i stället att det alltid kommer att vara tillräckligt många Kanban som väntar på att bli producerade för att bufferten inte ska bli överfull. Systemet bygger på att det hela tiden är axlar som går runt i systemet och finns i olika buffertar genom flödet. Med andra ord minskas därmed den omedelbara visuella kontrollen över var axlarna befinner sig.

I teoretisk referensram beskrivs ett antal förutsättningar för att lyckas bra med produktion enligt pull-principen. Tre av dessa kan inte anses vara uppfyllda i detta produktionssystem.

- *Fokus på att producera endast det som efterfrågas*
Genom att produktionen sker i batcher flyttas fokus från vad och hur mycket som egentligen har efterfrågats i färdigvarulagret till att vissa storlekar på batcher måste produceras i taget för att kapaciteten ska räcka. Detta beror på inflexibel produktion med långa ställtider.
- *Korta ställtider*
Ställtider är genomgående upp emot 1 timme eller mer mellan olika typer av axlar, och begränsar därmed produktionen till att ske i batcher istället för att flexibelt fylla på färdigvarulagret. Detta är grunden för att kunna minska antalet Kanban i framtiden och för att därmed kunna reducera ledtider.

Ställtider mellan olika varianter av axlar är däremot betydligt kortare och skulle därmed kunna produceras mer flexibelt. Detta görs inte i dagsläget genom att styrning med Kanban inte på ett smidigt sätt hanterar sekvensberoende ställtider.

- *Jämna produktionsplaner och begränsad produktflora*
Det finns några varianter som inte innefattas i Kanbansystemet utan måste planeras in vid sidan om. Detta beror på att efterfrågan är ojämn och låg för dessa. Genom detta kan systemet inte bli självgående utan en kompletterande bevakning måste hela tiden ske som till viss del stör resterande styrning och tar extra planeringstid i anspråk.

Produktfloran kan anses relativt stor för ett Kanbansystem där flödet varierar mellan en och tre parallella resurser som kräver omfattande omställningar. 13 varianter produceras regelbundet varav 10 innefattas av Kanbansystemet.

Sammantaget kan sägas att det finns flera omständigheter som gör att detta produktionssystem inte är anpassat för styrning enligt pull-principen. Det kan därför bli nödvändigt att efter en försöksperiod med Kanbansystemet undersöka möjligheterna att relaxera något av ovanstående begränsningar eller att återgå till någon form av push-styrning.

UPPFÖLJNING AV STÄLLTIDER

Det har inte varit möjligt att få fram exakta siffror på hur stor tillgänglighet maskinerna har och hur mycket av tiden som går åt till omställningar mellan olika typer. Inrapporteringen i datasystemet PUS, som finns till dessa data, har varit bristfällig och därför kan informationen inte utläsas. Som PUS-systemet är utformat idag finns det heller inget enkelt sätt att rapportera in hur långa ställtiderna är och hur mycket maskintid de tar i anspråk. Meningen är att ställtider ska rapporteras in men tiderna blandas med andra stopptider och ger därför ingen tydlig information.

En inrapporteringskolumn för endast ställtider skulle särskilja dessa tider från andra avbrott i produktionen. På detta sätt lyfts ställtider fram och tydliggör vad flexiblere produktion "kostar" i kapacitet. Ställtider över en viss period kan sedan granskas för att visa hur frekventare omställningar påverkar kapaciteten. Det är troligt att det finns en inlärningseffekt vid frekventare omställningar som gör att omställningarna går snabbare. Eventuella effekter som denna skulle framgå vid uppföljning av ställtider.

Vidare vore det ett effektivt redskap för utvärdering av ett eventuellt arbete med ställtidsreduktion. Totala ställtider före och efter förändringar kan studeras. Det är till och med möjligt att metoden i sig skulle innebära att ställtider reduceras. När omställningar klockas och rapporteras är det troligt att det har en viss effekt på tiden omställningarna tar.

UPPFÖLJNING AV LEDTIDER

Kamaxeltillverkningen har under hösten 2003 arbetat med att införa ett avläsningssystem för att förenkla identifieringen av axlar för monteringen. Detta system kommer även att möjliggöra ledtidsmätning genom hela flödet för varje enskild axel. I förlängningen skulle detta kunna användas för att ge information om genomsnittliga ledtider samt hur ledtider har fördelats på olika typer av axlar. Genom att samla in denna information och gå igenom den regelbundet, framförallt före och efter förändringar i flödet, kan den användas i syfte att utvärdera ledtidsreduktion.

För att arbeta vidare med ledtidsreduktion är det nödvändigt att det finns någon form av feedback på de förändringar som görs. Enligt Rajan Suri gäller följande logiska samband:

"If you want to reduce lead time, then measure and reward lead time reduction!"

Det är framförallt viktigt att mäta ledtid i flöden där ledtider är långa och kan variera mycket. Därför borde ledtidsuppföljning av detta slag göras regelbundet på kamaxeltillverkningen och vevaxeltillverkningen.

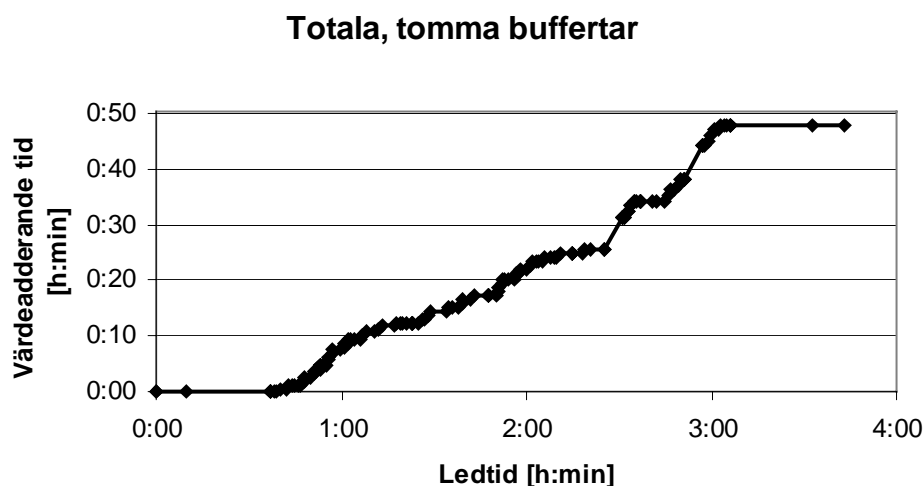
7.5 CYLINDERHUVUDEN

Ledtiden genom produktionslinan för cylinderhuvuden varierar mellan 4 och 11 timmar beroende på hur fulla buffertarna är. Att denna ledtid kan bestämmas så exakt inom dessa intervall beror på att flödet är helt rakt och för att FIFO gäller genom hela produktionslinan. Värdeadderande tid varierar mellan 21 och 7 % beroende på fulla eller tomma buffertar.

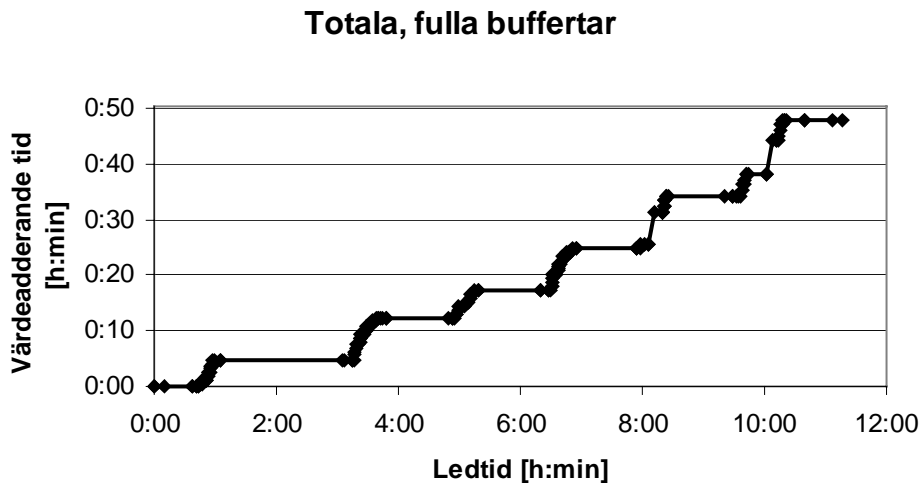
Eftersom det inte finns några styrbuffertar i produktionsflödet, förutom färdigvarulagret, görs direkt en analys av ledtiden genom hela produktionsflödet.

LEDTID RELATIVT VÄRDEADDERANDE TID

Diagrammen i Figur 7.23 - Figur 7.24 visar ledtiden relativt värdeadderande tid för hela produktionsflödet. Detta görs för de stå extrema fallen när buffertar ä helt tomma och när buffertar är helt fulla.



Figur 7.23: Ledtider relativt värdeadderande tid, tomma buffertar



Figur 7.24: Ledtider relativt värdeadderande tid, fulla buffertar

ORSAKER TILL KÖ- OCH VÄNTETIDER

Samtliga väntetider i produktionslinan för cylinderhuvuden är kortare än de flesta som tagits upp i analysen av vevaxel- och kamaxelproduktionen. De väntetider som ändå finns och som framträder i diagrammen ovan förklaras nedan.

- *I pall in och i pall ut från produktionslinan*
Då cylinderhuvudena ligger i pallar om 54 stycken uppstår en kö och väntetid på ca 30 minuter för medelaxeln.
- *Mellan varje operationssteg*
Buffertarna mellan varje operationssteg varierar mellan 55 och 120 platser. Dessa buffertar utgör sammantaget den största delen av ledtiden när de är fulla. Men då buffertarna endast fylls upp vid stillestånd eller då operationsstegen taktar med några sekunders skillnad, är de vanligtvis inte fulla. Dessa buffertar finns för att frikoppla produktionsstegen något vilket görs för att möjliggöra en ökad utnyttjandegraden av maskinerna.

Bearbetningslinan för cylinderhuvuden har alltför låg kapacitet då tillgängligheten på maskinerna är långt under önskad nivå. Dessa förhållandevis små buffertar, på maximalt 2 timmars produktion, är nödvändiga att ha kvar för att öka möjligheterna för ett produktionssteg att fortsätta producera även när en annan del av produktionslinan står still.

FLEXIBLARE PRODUKTION

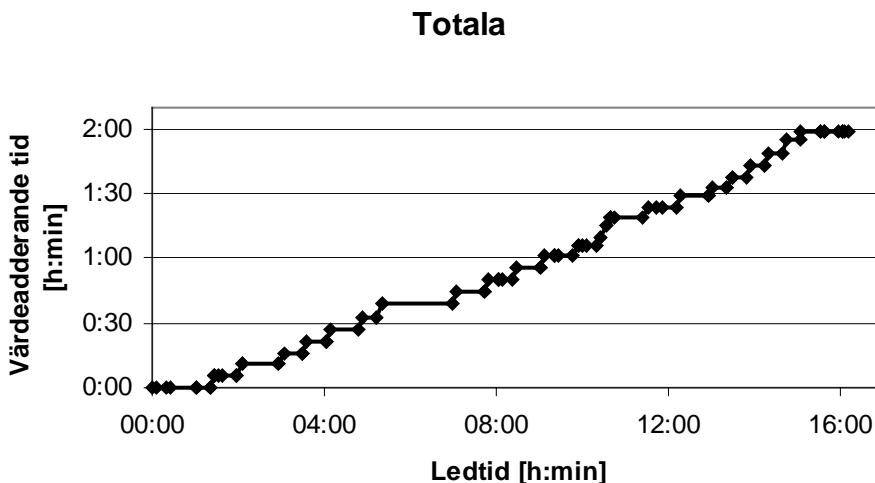
Ställtiderna är relativt korta, mellan 10 minuter och 1 timme beroende på typ för hela linan. Därmed kan det anses att produktionen borde kunna ske mycket flexibelt. Så är inte fallet och i jämförelse med övriga betraktade produktionslinor är batchstorlekarna i stort sett de samma.

I dagsläget finns det inte utrymme för att ställa om produktionen oftare eftersom det inte finns tillräcklig kapacitet även i med dagens batchstorlekar. Men eftersom ställtiderna är korta skulle en mycket liten ökning av kapaciteten, över vad som behövs för dagens produktionssätt, möjliggöra stora förändringar i flexibiliteten.

Under examensarbetet gjordes ett studiebesök till det efterföljande produktionssteget, förmontering av cylinderhuvuden. Denna förmontering hämtar cylinderhuvuden från färdigvarulagret och gör viss montering på huvudena innan de ska monteras i motorn. Förmonteringen ligger i en annan byggnad och därför finns även ett lager i direkt anslutning till denna. Lagret rymmer ca 4 till 6 pallar av varje variant. Produktionen är mycket flexibel och sker ofta med bara ett Kanban i taget. Genom detta är förbrukningen av cylinderhuvuden mycket jämn vilket är en bra förutsättning för bearbetningen att arbeta mot en flexiblare produktion.

7.6 MOTORBLOCK

För motorblock är ledtiden ca 16 timmar varav 12 % är värdeadderande tid. Genom att det finns en buffert som används endast när ett stopp uppstår kan ledtiden öka något. Diagrammet i Figur 7.25 visar ledtiden relativt värdeadderande tid för hela produktionslinan där produktion sker utan avbrott, och då bufferten därmed inte används.



Figur 7.25: Ledtider relativt värdeadderande tid

Kö och väntetiden i denna produktionslina uppkommer endast genom att det finns ett fåtal block som ligger på taktbanan mellan maskinerna. Den lite längre vågräta linjen i diagrammet är mellan operation 080 och 090 där det kan ligga lite fler block. Trots detta bildas aldrig buffertar på mer än ca 1,5 timmars produktion.

Genom att det endast är en artikel som produceras i denna produktionslina finns inget önskemål om att flexibiliteten bör ökas. Därmed finns det endast två sätt kvar att korta

ledtiden utan att bygga om produktionslinan till parallella maskiner och dylikt, vilket ligger lite utanför detta examensarbets område. De två återstående sätten är då att minska antalet motorblock mellan maskinerna och att minska färdigvarulagret.

För att kunna minska färdigvarulagret krävs att osäkerheter i processen minskas så pass mycket att det är möjligt med en mindre säkerhetsbuffert i färdigvarulagret. Att istället minska antalet småbuffertar mellan varje operation kräver på samma sätt en ökad tillförlitlighet i processen genom att alla maskiner är beroende av varandra. Om en maskin stannar medför det att resten av maskinerna snart också måste stanna. Den extra bufferten, som finns mellan operationerna 140 och 150, kommer att förlänga ledtiden i de fall som den tas i bruk. Även här handlar möjligheten till att ta bort den om hur väl processen fungerar. Den OPT-regel som säger att flaskhalsar styr buffertar i ett flödet är inte tillämpbar i detta fall då produktionslinan är så jämnt balanserad att det inte finns någon tydlig flaskhals.

I dagsläget genomförs ett omfattande projekt på denna produktionslina i syfte att öka tillgängligheten på maskinerna. Projektet innebär bland annat en strävan mot fler buffertplatser på strategiska ställen i flödet, vilket innebär att ledtidsreducering genom färre buffertar i linan inte är möjlig. Däremot borde färdigvarulagrets maxnivå på sikt kunna minskas om projektet för ökad tillgänglighet gör produktionen säkrare.

8 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

I detta kapitel listas viktiga slutsatser som framkommit i analysen. Dessutom beskrivs kort de förbättringsförslag som tagits fram under genomförandet av detta examensarbete. Slutsatser beskrivs först övergripande för samtliga fyra produktionsflöden. Sedan beskrivs de slutsatser och rekommendationer som är specifika för ett visst produktionsflöde, under respektive rubrik.

De fyra olika produktionsflöden som har studerats representerar tillsammans en stor del av motortillverkningens övriga flöden. Därför är vissa av de slutsatser och rekommendationer som framkommit under arbetet intressanta även för flera av motortillverkningens övriga produktionsflöden.

Generellt för de studerade flödena på Scania Motortillverkning har följande faktorer störst betydelse för ledtidsreduktion:

- *Förmågan att producera flexibelt*
Den mesta ledtiden uppstår när artikeln ligger i en styrbuffert. De styrbuffertar som har studerats är nödvändiga och bra placerade. Det är därför inte möjligt att ta bort dem. Därför är förmågan att producera flexibelt med små batcher, och därmed öka lageromsättningshastigheten i dessa buffertar, den viktigaste faktorn för ledtidsreduktion.
- *En jämn produktionstakt genom hela produktionsflödet*
För två av produktionsflödena, vevaxlar och kamaxlar, finns ett produktionssteg som måste producera även på helger. Detta genererar buffertar före och efter produktionssteget samt försvårar styrningen genom flödet.
- *Tätt sammankopplade operationssteg*
Små buffertar mellan operationsstegen utgör ett av de största slöserierna. Vissa av dessa buffertar är dock nödvändiga för att hålla utnyttjandegraden av maskinerna på nödvändig nivå.

8.1 GENERELLA REKOMMENDATIONER

För att arbeta med ledtidsreduktion på Scania Motortillverkning ges följande generella rekommendationer:

- *Nästa steg i arbetet med SPS bör vara reduktion av ställtider*
Kan ställtider kortas till hälften kan maskiner ställas om dubbelt så ofta. Detta skulle medföra en drastisk ledtidsreduktion då mycket av buffertarna i produktionen uppstår innan maskiner med ställtid. Detta är också den nödvändiga utvecklingen för att kunna arbeta vidare med en flexibel produktion i pull-miljö.

- *Följ upp ställtider*
PUS-systemet bör i större utsträckning användas för att följa upp ställtider. Det kan göras genom att tiderna klockas och rapporteras in under en egen rubrik för att särskiljas från andra avbrott i produktionen. Dessa tider kan sedan granskas med jämna mellanrum och på så sätt sker en uppföljning av hur arbete med ledtidsreduktion fungerar. På detta sätt lyfts även ställtider fram och tydliggör vad en flexiblere produktion ”kostar” i kapacitet.
- *Arbeta aktivt inom varje produktionsflöde med att minska arbetsbördan som omställningar innebär*
Genom intervjuer med operatörer framkom ett stort motstånd till att ställa om maskinerna oftare än vad som görs idag. Detta beror framförallt på att detta skulle betyda en ökad arbetsbörda och en sämre arbetsmiljö. Därför är det nödvändigt att verka för att så långt som möjligt förenkla och underlätta dessa arbetsmoment.
- *Utmana systemet, höj den gula nivån på Kanbantavlan*
Kanbansystemen är i dagsläget statiska. Det är inte nödvändigt att direkt minska antalet Kanban för att utmana systemet. Genom att i början låta samma antal artiklar finnas i Kanbanloopen men genom att tvinga systemet att producera mer flexibelt kan systemet utmanas utan att leveranssäkerheten riskeras. När den nya batchstorleken är intrimmad kan Kanban börja plockas bort.
- *Uppdatera Kanbanloopen kontinuerligt*
Om efterfrågan eller stödleveranser från Scania Brasilienfabrik ändras, förändras även möjligheterna till flexibel produktion. Om inte antalet Kanban uppdateras vid dessa förändringar innebär det att vissa av artiklar får onödigt långa genomloppstider i form av tid i styrbuffertar.
- *Följ upp ledtider*
För att i längden kunna utvärdera hur förändringar i flödet påverkar ledtiden borde den identitetsmärkning som görs i början av varje produktionsflöde användas för ledtidsmätning. Kamaxeltillverkningen arbetar idag med att läsa av samtliga axlars identitetsmärkning. Avläsningen kommer även att ge information om varje axels ledtid genom flödet. Genom att samla in informationen och gå igenom den regelbundet kan den användas i syfte att utvärdera ledtidsreduktion. På samma sätt skulle det vara en bra metod för uppföljning av ledtider för vevaxeltillverkningen.

8.2 VEAXLAR

Vevaxelflödet har ledtider och värdeadderande tider enligt Tabell 8.1:

Tabell 8.1: Ledtider och andel värdeadderande tid, vevaxlar

		Ledtid [h]	Andel värdeadderande tid
D9	Totalt	133	6%
	Mjuka sidan	20	34%
	Flaskhalsgruppen	5	10 %
	Hårda sidan	17	2 %
D11/D12	Totalt	93	9 %
	Mjuka sidan	20	36 %
	Flaskhalsgruppen	6	9 %
	Hårda sidan	10	3 %
D16	Totalt	137	6 %
	Mjuka sidan	20	37 %
	Flaskhalsgruppen	17	4 %
	Hårda sidan	17	3 %

Uppdelningen av vevaxelflödet i tre delar med styrbuffertar är nödvändig. Dessa buffertar har en bra placering, med den ena direkt före produktionsflödets flaskhals och den andra direkt efter. Det kan anses onödigt med en buffert efter flaskhals, men är ofrånkomlig då resterande flöde består av delade resurser som måste ställas om.

Nedan ges rekommendationer för hur vevaxeltillverkningen bör arbeta med att minska ledtiden mellan styrbuffertarna och vidare hur arbetet för att öka lageromsättnings-hastigheten i styrbuffertarna bör ske.

8.2.1 REDUCERAD LEDTID MELLAN STYRBUFFERTAR

Kö och väntetider mellan styrbuffertar beror framförallt på tre saker: (1) att det bildas små buffertar mellan operationer, (2) att antal axlar per lastbärare är ibland betydligt större än vad som motsvarar ett Kanban, samt (3) att det finns ett operationssteg som delas av samtliga flöden men som har en omställningstid.

MJUKA SIDAN

Mjuka sidan har en värdeadderande tid på ca 35 %. Detta är betydligt högre än för något annat flöde som studerats i detta examensarbete. Den största väntetiden uppstår i väntan efter urblåsning innan ändbearbetning. Skulle ställtiden för ändbearbetnings-maskinen kunna elimineras betyder det att ingen väntetid efter urblåsning av plugg skulle behöva uppstå. Det skulle korta ledtiden till produktionsbufferten med ca 6 timmar och därmed öka andelen värdeadderande tid för mjuka sidan till ca 50 %.

Vidare föreslås följande för att minska förlusterna på mjuka sidan:

- *Buffert efter första svarvarna bör endast användas om svarvarna skall stoppas*
Det ska inte vara möjligt att fylla bufferten anbart av anledningen att efterföljande operationer är långsammare, då detta i onödan förlänger ledtider.
- *Kylbuffert för D16 bör tas bort*
Den fyller ingen funktion i dagsläget.

HÅRDA SIDAN

Hårda sidan har en värdeadderande tid på endast 3 %. Detta beror framförallt på små buffertar mellan operationerna. Att så långt som möjligt generera ett flöde där material inte stannar upp mellan operationerna bör eftersträvas på hårda sidan. Därför ges följande rekommendationer:

- *Inga axlar ska läggas fler än 6 stycken per pall*
Då ett Kanban representerar en pall med 6 axlar bör denna kvantitet gälla rakt igenom flödet. Dessutom är detta ett effektivt sätt att bromsa upp flödet så att buffertar inte bildas mellan en snabb och en långsammare operation. Efter polerportalen kan det dock vara nödvändigt att låta axlarna ligga upp till 12 per pall då det annars tar för mycket plats i färdigvarulagret.
- *Att låta buffert mellan operation 210 och 220, D16-flödet, ingå i Kanbanloopen*
Under examensarbetets genomförande tekniker på produktionsavdelningen en förändring genom att föra in bufferten på ca 36 axlar som finns mellan operationssteg 210 och 220 i produktionsbufferten. Det innebär att Kanbankorten numera sitter kvar på pallen tills axlarna har gått in i operation 220. Denna förändring reducerar ledtiden då detta tidigare var en extra samling PIA utöver produktionsbufferten.
- *Flytta vidare en färdig pall från knapp- och flänsslip till sprickkontroll*
Det står två pallar i taget i knapp- och flänsslip. Operatören byter ut båda pallarna samtidigt och därför måste den först bearbetade pallen vänta på att nästa ska bli klar. Denna pall bör istället flyttas vidare direkt för att så långt som möjligt ge ett jämnt och kontinuerligt flöde i produktionen.
- *Integrera sprickkontrollen i operationen före eller efter*
Idag är sprickkontrollen en separat operation med en hel del axlar både före och efter i små buffertar. Om sprickkontrollen istället integreras i antingen föregående eller efterföljande operation skulle onödigt väntetid tas bort. Om även knapp- och flänsslipningen och polerportalen sammanlänkas tätare blir effekten än tydligare.
- *Svarvning av flänsplan för D9 direkt i anslutning till slipning av knapp och fläns*
För D9 görs svarvning av flänsplan endast dagtid, men resterande produktion sker dygnet runt. För att få ett jämnt flödet och för att inte bygga upp buffertar bör

svarvning av flänsplan ske i direkt anslutning till föregående operation.

Skulle samtliga av de ovanstående förändringarna genomföras kan ledtiden för hårda sidan reduceras till hälften av den tiden det tar idag.

8.2.2 ÖKAD LAGEROMSÄTTNINGSHASTIGHET I STYRBUFFERTAR

Den mesta av tiden för en enskild axel genom produktionsflödet är tiden i produktionsbuffert och visuell buffert. Tiden i dessa buffertar kan kortas genom att:

- Minska antalet gröna Kanban för D9 och D16 från 14 till 9 stycken, i båda Kanbanlooparna. Detta skulle ge en reducerad genomloppstid med 13 %.
- Minska nivån i visuell buffert för D9 och D16 från 12 till 9 Kanban. Detta skulle ge en reducerad genomloppstid med ca 25 %.
- Minska antalet Kanban för D11 från 17 till 12 stycken. Detta ger en reducerad genomloppstid med 10 %.

För D12, och till viss del även för D11, finns i dagsläget små möjligheter att minska genomloppstiden i produktionsbuffert och visuell buffert. Det beror på att flaskhalsarna i stort sett måste producera de batchstorlekar som finns idag för att kapaciteten ska räcka.

8.2.3 FLEXIBLARE PRODUKTION MOT FÄRDIGVARULAGRET

Frekventare påfyllnad i färdigvarulagret ger förutsättning att reducera genomloppstiden i detta lager utan att säkerheten minskas. För D11 och D12 är ställtider korta på hårda sidan vilket möjliggör en långt mycket flexiblare produktion mot färdigvarulagret än i dagsläget. Därför rekommenderas följande:

- Minska antalet gröna Kanban på hårda sidan för D11- och D12-axlarna. För D11-axlarna bör antalet reduceras från 17 till ca 3 stycken och för D12-axlarna från 27 till ca 9 stycken.

Denna förändring ger inte kortare genomloppstid i den visuella bufferten vilket beror på att bufferten fylls upp under helger.

8.2.4 ÖVRIGT

Övriga slutsatser och rekommendationer för vevaxelflödet är:

- *Vevslipen på mjuka sidan, D11/D12-flödet, bör alltid prioriteras av portalroboten*
Denna maskin har en kapacitet som näst efter vevsliparna är lägst i flödet. Därför är det önskvärt att om möjligt höja kapaciteten. Portalroboten som hanterar vevfräsen hanterar även maskiner i D9-flödet. Då detta flöde har överkapacitet rakt

igenom borde portalroboten alltid prioritera vevfräsen.

- *Situationen i polerportalen bör på sikt underlättas*
Kapaciteten är inte begränsande i maskinerna i polerportalen. Trots det kan problem uppstå med genomflödet av material. Det beror framförallt på att D16 balanseras efter avsyning. Det blir därmed komplicerat om maskinerna i portalen har ställts om för att bearbeta D12 och D9. Då måste D12 balanseras i den maskin som skulle finnas för D16 och krockar därmed med dessa. Detta problem finns redan idag men skulle kunna förstärkas vid en utveckling mot reducerade partistorlekarna.
- *Gul Kanbannivå bör ses över om förändringar i ledtid sker*
Genomförs förändringar som ger kortare ledtider bör den gula nivån av Kanban sänkas. Det resonemanget bygger på att gula nivån framförallt finns för att täcka upp för systemets reaktionstid. Blir den snabbare kan denna säkerhet minskas.

8.3 KAMAXLAR

Kamaxelflödet har ledtider och värdeadderande tider enligt Tabell 8.2:

Tabell 8.2: Ledtider och andel värdeadderande tid, kamaxlar

	Ledtid [h]	Andel värdeadderande tid
Totalt	178	12 %
Mjuka sidan	20	3 %
Hårda sidan	28	4 %

Inom detta produktionsflöde har ett flertal projekt för förenklad styrning och till viss mån även ledtidsreduktion genomförts den senaste tiden. Ett av dessa är den nyligen införda Kanbanloopen över mjuka sidan och hårdningen. Situationen på kamaxeltillverkningen är komplex bland annat på grund av en lång hårdprocess i en annan byggnad, som dessutom har en långsammare produktionstakt än resterande flöde. Att flaskhalsen ligger sent i flödet och att dess ställtider är omfattande gör möjligheterna till reduktion av ledtider ännu mindre. Rekommendationer om förändringar som leder till omedelbara ledtidsreduktioner är framförallt på grund av dessa nämnda faktorer inte möjliga att ge. Istället listas här de förändringar som är nödvändiga för att kunna reducera ledtider lägre fram i tiden.

8.3.1 REDUCERAD LEDTID MELLAN STYRBUFFERTAR

För att minska kö och väntetider mellan styrbuffertar krävs följande:

- *Förenkla omställningarna av singelresurserna ändbearbetning och polering*
Genom att ändbearbetningsmaskinen bearbetar en hel batch i taget bygger den upp en buffert på närmare 20 timmar. Omställning av maskinen tar ca 1 timme och det finns inte möjlighet att ställa om denna maskin oftare än resterande maskiner på

mjuka sidan. För att undkomma långa ledtider är det nödvändigt att förkorta maskinens omställningstid. För poleringen är situationen densamma, men där finns kapaciteten att ställa oftare. Att det ändå inte görs beror på den krävande arbetsinsats omställningen innebär.

- *Höj kapaciteten i härderiet*
För att komma ifrån att en buffert för två dagars produktion bildas före härderiet måste kapaciteten höjas så att produktionen kan flyta jämnt genom hela flödet.

8.3.2 ÖKAD LAGEROMSÄTTNINGSHASTIGHET I STYRBUFFERTAR

Styrbuffertens placering innan hårda sidan är nödvändig. Det beror framförallt på att bufferten är placerad direkt före en flaskhals i ett flöde som producerar många typer. De långa ledtiderna genom totala produktionsflödet beror till största delen på att produktionen sker i stora batcher och därmed blir axlar liggande länge i styrbufferten. För att få större lageromsättningshastighet i denna buffert krävs följande:

- *Ökad kapacitet i flaskhalsar*
Kortare genomloppstider i styrbuffertar kan endast uppnås genom att producera mindre batcher genom flödet. För att kunna göra det måste kapaciteten höjas på hårda sidan då det idag inte finns tid att ställa om maskinerna oftare där.
- *Kortare ställtider*
Genom att korta ställtider kan den extra maskintid som därmed uppstår användas för frekventare ställ.
- *Kortare ledtid till styrbuffert skapar förutsättningar för färre produkter i arbete*
Då ledtiden fram till buffert innan flaskhalsen är ca 100 timmar blir det nödvändigt att hålla så många typer av axlar som möjligt i flödet, om behov skulle uppstå i färdigvarulagret. Detta gäller framförallt lågvolumvarianter som kan bli liggande länge i styrbuffert. Även högvolumvarianter tillverkas ibland i onödigt stora batcher på mjuka sidan.

Generellt kan sägas att en flaskhals placerad tidigt i flödet ger lättare styrning och därmed mindre behov av stora buffertar. Därmed borde strävan mot detta finnas i åtanke vid maskininvesteringar.

8.4 CYLINDERHUVUDEN

Produktionslinan för cylinderhuvuden har en ledtid och värdeadderande tid enligt Tabell 8.3:

Tabell 8.3: Ledtider och andel värdeadderande tid, cylinderhuvuden

	Ledtid [h]	Andel värdeadderande tid
Totalt	3-11	21-7 %

De buffertar som är inbyggda i linan mellan operationsstegen är i dagsläget nödvändiga för utnyttjandegraden i maskinerna. Kan denna utnyttjandegrad inte ökas på annat sätt, exempelvis med förberedande underhåll, finns det ingen möjlighet att reducera ledtider inom produktionslinan.

Ställtiderna är mycket korta. Det ger bra förutsättningar till att producera med små batcher och därmed hålla en låg nivå i färdigvarulagret. Dock finns det i dagsläget ingen möjlighet att producera mer flexibelt då kapaciteten är alltför låg. Däremot skulle en mycket liten höjning av tillgängligheten i maskinerna ge stora skillnader i hur ofta flödet kan ställas om.

Reducering av ledtider för cylinderhuvuden innebär därför att kapaciteten måste ökas för att frigöra tid till att ställa oftare. Detta kan ske genom att: (1) takttiden för linan reduceras, (2) ställtider reduceras eller (3) tillgängligheten i maskinerna ökar.

8.5 MOTORBLOCK D12

Produktionslinan för motorblock har en ledtid och värdeadderande tid enligt Tabell 8.4:

Tabell 8.4: Ledtider och andel värdeadderande tid, motorblock

	Ledtid [h]	Andel värdeadderande tid
Totalt	16	12 %

För motorblock är situationen mycket lik den för cylinderhuvuden. De buffertar som finns i flödet mellan operationerna har blivit nödvändiga att införa för att tillse att kapaciteten hålls på tillräcklig nivå. I dagsläget finns till och med planer på att om möjligt införa fler små buffertar för att höja maskinernas utnyttjandegrad.

För att minska ledtider för motorblocksflödet återstår därmed möjligheten att hålla en lägre nivå i färdigvarulagret. Detta kräver en större säkerhet i produktionsprocessen, vilket förutsätter att tillgängligheten i maskinerna och linan som helhet blir högre.

9 ABSTRACT

This Master of Science thesis was conducted at the Department of Production Economics at Linköping University, for Scania Engine Production in Södertälje. The purpose of the project is to do a mapping of today's production lead times, to find ways to reduce lead time and to suggest methods for Scania to continue their work with lead time reduction.

Scania Engine Production has a production environment structured according to the pull-principle. Most of the production flows use Kanban for production control. There are thirteen different flows and four of them are studied in this thesis. These are the crankshaft flow, the camshaft flow, the cylinder head flow, and the cylinder block flow. They have very different characteristics and thereby they also represent most of the other production flows.

The conclusions of this work are based on an extensive mapping of the four flows. The mapping includes lead times and operation-times but also how material is being transferred and how stock builds up. The mapping was analysed in a way so that lead times for an item was compared with value adding time. In that way queuing and waiting time could easily be identified and also questioned.

The objective has been to find solutions that wouldn't need a lot of investments, and thereby could be implemented rather soon. This has been possible for some areas, especially for the crankshaft flow. In other cases the analysis has shown that it is necessary with some investments to make a significant difference. These investments mostly imply to increase the capacity in parts of the flow.

The four studied production flows are very different and so also their lead times. Lead times vary from about five hours for the cylinder head flow, to more than a week for the camshaft flow. Because of their different character it is not the same factors in all the flows that cause queuing and waiting time. But in general the following factors, in this order, are the main causes for queuing and waiting time at Scania Engine Production:

1. Production is performed in batches and not flexible by one Kanban at a time.
2. Parts of the flows have a slower pace and must therefore produce at times when other parts stand still.
3. Many of the operations are separated with stocks in-between.

For the crankshaft flow all of the factors listed above are limiting for the lead time. The fact that production is conducted in batches play the most important part. This is possible to immediately change for parts of the flow. To avoid the uneven pace in the flow it is necessary to increase capacity in the bottlenecks. The factor with least influence on the lead time is the buffers between operations, but this is on the other hand possible to improve quite inexpensively. However the effect would be larger if

some investments were made to improve the flow by connecting the operations to each other.

The camshaft flow has big limitations caused by long lead times to the bottleneck, long set up times, and uneven pace in the flow. Most important for reduction of lead time is: (1) to increase capacity or reduce set up times in the bottleneck, and (2) to increase the pace in the hardening process.

The cylinder head and cylinder block flows have already today much shorter lead times than the other flows. It is hard to make immediately changes for these flows, due to low capacity utilisation. To reduce lead time for these flows it is necessary to first increase the capacity utilisation. For cylinder head flow this would mean a better possibility to produce with more flexibility. Thereby it would be possible to hold a smaller delivery stock. In the cylinder block flow, where only one article is being produced, a better capacity utilisation would give improved stability in the process and thereby better conditions to reduce the delivery stock.

For the continuous work with lead times at Scania Engine Production we recommend:

- Challenge the Kanbansystem where it is possible by reducing the number of Kanbans.
- The next step in Scania Engine Productions work with SPS should be reduction of set up times.
- Use the internal data system PUS to follow up set up times.
- Use the identity number on every article to follow up lead times.

KÄLLFÖRTECKNING

BÖCKER

Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S. D., Van Mieghem, J. A. och Zemel, E. (1999), *Managing Business Process Flows*, Prentice Hall, New Jersey.

Browne, J., Harhen, J. och Shivnan, J. (1996), *Production Management Systems, An Integrated Perspective*, Addison Wesley, Singapore.

Christopher, M. (1998), *Logistics and Supply Chain Management*, Prentice Hall, London

Nicholas, J. (1998), *Competitive Manufacturing Management*, Irwin/McGraw-Hill, New York

Olhager, J. (2000), *Produktionsekonomi*. Studentlitteratur, Lund

Persson, G. och Virum, H. (1991), *Logistik för konkurrenskraft*, Liber Ekonomi, Malmö

Slack, N., Chambers, S. och Johnston, R. (2001), *Operations Management*, Pitman Publishing, London

Suri, R. (1998), *Quick response manufacturing – a company wide approach to reducing lead times*, Productivity press, United States of America.

ARTIKLAR

Framinan, J.M., Ruiz-Usano, R. och Leisten, R. (2000), *Input control and dispatching rules in a dynamic CONWIP flow-shop*, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 38, nr. 18, 4589-4598

Framinan, J.M., Ruiz-Usano, R. och Leisten, R. (2001), *Sequencing CONWIP flow-shops: analysis and heuristics*, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 39, nr. 12, 2735-2749

Hopp, W.J. och Spearman, M.L. (1991), *Throughput of a constant work in process manufacturing line subject to failures*, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 29, nr. 3, 635-655

Spearman, M.L., Woodruff, D.L. och Hopp, W.J. (1990), *CONWIP: a pull alternative to kanban*, *Int. J. Prod. Res.*, vol. 28, nr. 5, 879-894

Takahashi, K., Nakamura, N. och Izumi, M. (1996), *Concurrent ordering in JIT production systems*, *Int. J. Operations & Production Management*, vol. 17, nr. 3 (1997), 267-290

ÖVRIGA SKRIFTLIGA KÄLLOR

Olhager, J. (1996), *Kapacitet*, Kompendium i kursen TPPE50 Produktionsstrategier, Institutionen för Produktionsekonomi, Linköpings tekniska högskola.

Olhager, J. (1997), *Ställtidsreduktion*, Kompendium i kursen TPPE75 Analys och utveckling av produktionsverksamhet, Linköpings tekniska högskola.

Scania CV AB, (2000), Scantias Produktions System, Kaserntryckeriet, Karlskrona

Scania CV AB, (2003a), Årsredovisning 2002

Scania CV AB, (2003b), InLine, internt datanät 2003-08-25 – 2004-01-27

Wikner, J. (2002), Föreläsningsmaterial i kursen TPPE40 Produktionslogistik, Linköpings tekniska högskola.

MUNTliga KÄLLOR

- Fredrik Rydahl Planeringschef
- Gabriel Chukri F.d. kvalitets- och logistikutvecklare
- Conny Karlsson Produktionsledare vevaxel del 1
- Mathias Andersson Produktionstekniker vevaxel del 1
- Fredrik Karlsson F.d. produktionstekniker vevaxel del 1
- Maskinoperatörer Vevaxel del 1
- Leif Östman F.d. produktionsledare vevaxel del 2
- Jonas Nordin Produktionstekniker vevaxel del 2
- Maskinoperatörer Vevaxel del 2
- Jonas Andersson F.d. produktionsledare kamaxel
- Magnus Mattisson Produktionstekniker kamaxel
- Mikael Harling Verkstadstekniker kamaxel
- Maskinoperatörer Kamaxel
- Glenn Rohlin Produktionsledare cylinderhuvud D12
- Marie Heyman Produktionstekniker cylinderhuvud D12
- Maskinoperatörer Cylinderhuvud D12
- Keijo Törmänen Produktionsledare motorblock D12
- Ivan Evetovic Produktionstekniker motorblock D12
- Maskinoperatörer Motorblock D12

ORDLISTA

Batch	Satsstorlek
Buffert	En ansamling av artiklar
Oriktad buffert	Kamaxlar som har samlats ihop och inte genomgått operationen riktning
Produktionsbuffert	Vevaxlar som samlats för att dela av flödet
Riktad buffert	Kamaxlar som har samlats ihop efter operationen riktning
Styrbuffert	Buffert som används i styrningen av produktionen, ex. produktionsbuffert.
Visuell buffert	Vevaxlar som samlas ihop efter flaskhalsgruppen. Styrts endast genom inspektion, inga Kanban.
FCFS	First Come First Served
FIFO	First In First Out
FVL	Färdigvarulager
GLT	Genomloppstid
JIT	Just In Time
Kanban	Kort som används vid beordring av produktion
Kanbanloop	Avsnitt inom produktion där Kanban cirkulerar
LOH	Lageromsättningshastighet
MPS	Material- och produktionsstyrning
OPT	Optimized Production Technology
PIA	Produkter I Arbete
Portal	Ett system med en mobil robot som betjänar ett antal maskiner
PUS-system	Webbaserad drift-, effektivitets- och produktionsuppföljning inom Scania
Robotcell	En inhägnad med en fast robot som betjänar ett antal maskiner
SPS	Scanias Produktions System
SPT	Shortest Process Time
Taktstång	Transportbana med fast inspända artiklar som förflyttas i en jämn takt
Tillgänglighet	Ett mått på hur pålitligt ett system eller en maskin är
TPS	Toyota Production System

Typ	Huvudtyp av artikel, t.ex. D12
Utnyttjandegrad	Ett mått på hur väl ett system eller maskin har utnyttjats
Variant	Variant av huvudtyp, t.ex. D12 PDE