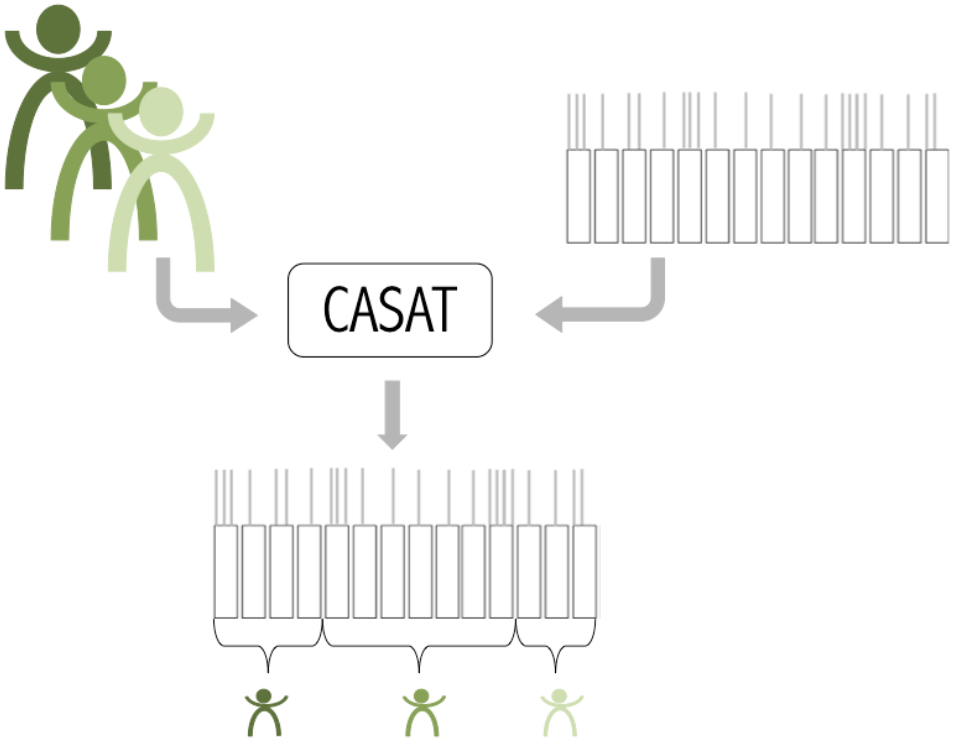
CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Dynamisk produktionslinjebalansering

Utveckling av metod för produktionslinjebalansering utifrån olika personalförutsättningar

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Maskinteknik

MOA EKDAL
JENNY HULTGREN
KLARA LUNDSTRÖM
WILHELM TROGEN

Institutionen för industri- och materialvetenskap
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2018

Kandidatarbete 2018

Dynamisk produktionslinjebalansering

Utveckling av metod för produktionslinjebalansering utifrån olika personalförutsättningar

MOA EKDAL
JENNY HULTGREN
KLARA LUNDSTRÖM
WILHELM TROGEN

Institutionen för industri- och materialvetenskap
Avdelningen för produktionssystem
Chalmers tekniska högskola
Göteborg, Sverige 2018

Dynamisk produktionslinjebalansering
Utveckling av metod för produktionslinjebalansering utifrån olika personalförutsättningar

© MOA EKDAL
JENNY HULTGREN
KLARA LUNDSTRÖM
WILHELM TROGEN, 2018.

Handledare: Dan Li, Institution för industri- och materialvetenskap
Examinator: Åsa Fast-Berglund, Institution för industri- och materialvetenskap

Kandidatarbete 2018
Institutionen för industri- och materialvetenskap
Avdelningen för produktionssystem
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Illustration för det koncept som tagits fram i projektet som visar både konceptet i Casat och de förändringar som måste göras i den fysiska produktionen. Illustrationen är en kombination av figur 4.17 och 4.18.

Printed by Chalmers Reproservice
Gothenburg, Sweden 2018

Dynamic production line balancing
Development of method for production line balancing based on different availabilities and conditions of the employees

M. EKDAL, J. HULTGREN, K. LUNDSTRÖM & W. TROGEN
Department of industrial and materials science
Chalmers University of Technology

Abstract

Effective and flexible production is crucial for the success of a company. In order to coordinate today's production processes, extensive and time-consuming planning is required. This paper presents a concept for how the workload of planning can be reduced by making it dynamic and automatic. In order to obtain relevant data, interviews with key personnel in the production of involved companies have been conducted. The data obtained has then formed the basis of the tests made to investigate the benefit of dynamic balancing. The results of the tests showed great benefits of making the balancing dynamic, motivating the development of a concept for how it can be designed. The generated concept presents the factors to be considered as well as how the practical parts such as material supply can be solved. In order to implement the concept on an existing production line, some changes are required, but these are not considered unreasonable and should be able to be implemented in most cases.

The report is written in Swedish.

Keywords: line balancing, assembly line, dynamic.

Sammandrag

Effektiv och flexibel produktion är mycket avgörande för ett företags framgång. För att koordinera dagens produktionsprocesser krävs ett omfattande och tidskrävande planeringsarbete. Den här rapporten presenterar ett koncept för hur arbetsmängden för planeringen kan minska genom att göra den dynamisk och automatisk. För att inhämta relevant data har intervjuer med insatta inom produktionen på involverade företag genomförts. Den data som erhållits har sedan utgjort grunden för de tester som gjorts för att undersöka nyttan av dynamisk balansering. Resultatet av testerna visade på en stor nytta av att göra balanseringen dynamisk vilket motiverade framtagning av ett koncept för hur den kan utformas. Det genererade konceptet presenterar vilka faktorer som ska tas hänsyn till samt hur de praktiska delarna såsom materialförsörjningen kan lösas. För att implementera konceptet på en befintlig produktionslina krävs en del omställningar, dessa anses dock inte vara orimliga och bör kunna genomföras i de flesta fall.

Nyckelord: monteringslina, dynamisk balansering, Chalmers tekniska högskola, produktionssystem.

Tillkännagivanden

Vi vill ge vårt varma tack till Dan Li, doktorand på avdelningen för produktionssystem, för god handledning genom projektet. Dan har med sin kompetens inom produktion och produktionssystem samt med sitt engagemang och stöd varit till stor hjälp i studien. Vidare vill vi rikta ett tack till vår examinator Åsa Berglund-Fast, docent på avdelningen för produktionssystem, som har koordinerat och gjort projektet möjligt.

Vi vill också tacka Emma Simonsson, produktionstekniker på Volvo Penta, för den värdefulla information hon har bidragit med samt för den tid och det engagemang hon har visat för projektet. Slutligen vill vi tacka Jesper Broberg, produktchef på MVV Information Technology, för all hjälp med programvaran Casat och alla kloka tankar och feedback som han har givit oss.

Moa, Jenny, Klara & Wilhelm, Göteborg, Maj 2018

Innehåll

1 INLEDNING **3**
1.1 Bakgrund till dynamisk balansering . . . 3
1.2 Involverade företag . . . 4
1.3 Syfte . . . 5
1.4 Avgränsningar . . . 5
1.5 Övergripande metod för projektet . . . 6

2 TEORI OM PRODUKTIONSSYSTEM **9**
2.1 Lina och linjebalansering . . . 9
2.1.1 Balanseringar i dagens produktion . . . 10
2.2 Förluster . . . 11
2.2.1 Balanseringsförluster . . . 11
2.2.2 Hanteringsförluster . . . 12
2.2.3 Systemförluster . . . 12
2.3 Sekvensbaserad aktivitet och metodanalys . . . 13
2.4 Inlärning för nya montörer . . . 14

3 METOD **15**
3.1 Användning av Casat i projektet . . . 16
3.1.1 Casat i projektarbetet . . . 17
3.2 Modellbygge . . . 18
3.3 Datainsamling från Volvo Penta . . . 19
3.4 Tester för att avgöra potentialen för dynamisk balansering . . . 20
3.4.1 Test 1: Antal montörer . . . 20
3.4.2 Test 2: Prestationsnivå hos montörer . . . 21
3.4.3 Parametrar för jämförelse mellan nuvarande arbetsmetoder och en eventuell automatisk balansering i Casat . . . 21
3.4.4 Sammanfattning av testresultatet . . . 22
3.5 Framtagning av konceptförslag . . . 23

4 RESULTAT **25**
4.1 Modellbygge . . . 26
4.2 Datainsamling från Volvo Penta . . . 28
4.3 Tester för att avgöra potentialen för dynamisk balansering . . . 29

4.3.1 Test 1: Antal montörer 30
4.3.1.1 Ombalanseringsbedömning till tre stationer 31
4.3.1.2 Ombalanseringsbedömning till fem stationer 34
4.3.2 Test 2: Prestationsnivå hos montörer 37
4.3.2.1 Ovan montör behöver 200% av cykeltiden 38
4.3.2.2 Ovan montör behöver 150% av cykeltiden 41
4.3.3 Sammanfattning av testresultaten 44
4.4 Framtagning av konceptförslag 45
4.4.1 Konceptförslaget i praktiken 45
4.4.2 Konceptförslaget i Casat 47
4.4.3 Validering av konceptet 48
4.4.4 Nödvändiga förändringar i produktionen hos Volvo Penta . . . 49

5 DISKUSSION 51
5.1 Utvärdering av metoder och resultat 51
5.1.1 Användning av Casat 52
5.1.2 Legomodeller 52
5.1.2.1 SAM-analys 53
5.1.3 Datainsamling 53
5.1.4 Testerna för att avgöra potentialen för dynamisk balansering 53
5.1.5 Konceptet 54
5.1.5.1 Generella förutsättninger för dynamisk balansering i Casat 55
5.1.5.2 Fördelar med en produktionsändring 56
5.2 Diskussion kring frågeställningar 56
5.3 Samhälleliga och etiska aspekter 58
5.4 Behov av ytterligare kunskap 59
5.5 Framtida frågeställningar 60

6 SLUTSATS 63

Litteraturförteckning 65

A Bilagor I
A.1 Intervju på Volvo Penta I
A.2 Cykeltider för Test 1 VII
A.2.1 3 Montörer VII
A.2.2 5 Montörer VIII
A.3 Uträknade värden Test 1 IX
A.3.1 3 Montörer IX
A.3.2 5 Montörer X
A.4 Cykeltider för Test 2 XII
A.4.1 200% av cykeltiden (MTM 50-takt) XII
A.4.2 150% av cykeltiden (MTM 75-takt) XIII
A.5 Uträknade värden Test 2 XIV
A.5.1 200% av cykeltiden (MTM 50-takt) XIV

A.5.2 150% av cykeltiden (MTM 75-takt) XV

Beteckningar

SAM-Analys - Sekvensbaserad Aktivitet och Metodanalys
SII-Lab - Stena Innovation Industry Lab
AGV - Automated Guided Vehicle (förarlös truck)

Ordlista

Cykeltid - Cykeltiden är den tid det tar att genomföra samtliga operationer på en monteringsstation.
Takttid - Den tid efter vilken enheten som monteras skall flyttas ett steg framåt i processen. Denna behöver inte alltid vara lika med cykeltiden.
Balansering av produktionslina - Att eftersträva att alla cykeltider på stationerna på produktionslinan är lika långa.
Balanseringsförluster - Förluster som uppkommer då produktionslinan inte är balanserad optimalt och den fastställda tiden på stationen inte utnyttjas fullt ut.
Ombalansering - När förutsättningarna på produktionslinan ändras och den balanseras på nytt.
Ombalanseringsbedömningar - Definieras i projektet som ombalanseringar baserade på personlig erfarenhet av aktuell montering.

1
INLEDNING

Produktion av olika slag är i ständig utveckling. För att maximera sin vinst strävar företag efter resurs- och kostnadseffektiva produktionsflöden. Den höga produktionseffektivitet som eftersträvas i dagens produktionsprocesser kräver omfattande planeringsarbete. Inte minst gäller det tillverkande företag där produktionen sker på monteringslinor och där stor del av planeringsarbetet går åt till balansering av produktionslinan (Boysen, Fliedner, och Scholl, 2007).

Balanseringen, fördelningsprocessen av arbete över olika stationer längs monteringslinan, är starkt sammankopplad med effektiviteten på linan (Battaïa & Dolgui, 2013). Eftersom maskiner, verktyg och andra hjälpmedel som används på monteringslinan är stora investeringar för tillverkande företag är planering och konfiguration av linan central när det kommer till hur kostnadseffektiv linan kommer att bli (Boysen et al., 2007). Det betyder även att om balanseringen av monteringslinan kan optimeras så att utnyttjandegraden av de dyra maskinerna blir hög längs linan så kan effektiviteten för hela produktionen öka.

Idag finns det matematiska algoritmer och datorprogram som kan vara till hjälp i beslutsfattning och ligga till grund för balanseringsarbete. Dessa algoritmer utnyttjas enligt Boysen et al. (2007) i olika utsträckning hos företag, och i många fall görs balanseringsarbetet manuellt och baseras enbart på personlig erfarenhet och kunskap hos personen som utför balanseringen. Om balanseringen i högre grad kunde utföras automatiserat och med datoriserad hjälp skulle planeringstid för monteringslinan med största sannolikhet kunna minskas. Sparad tid innebär en ekonomisk fördel för företaget och det är alltjämt viktigt för företag att öka sin produktivitet och maximala utnyttjandegrad av resurser för att klara av konkurrensen med andra aktörer på marknaden. Dessutom skulle produktionslinan kunna anpassas mer efter olika produktionssituationer. Samtidigt som datorer kan beräkna mer komplexa optimeringsproblem som i sin tur skulle kunna höja utnyttjandegraden för monteringslinan.

1.1 Bakgrund till dynamisk balansering

Den manuella balanseringen som är vanlig i industrin idag skulle kunna ses som kvalificerade gissningar gjorda av personerna som utför och är ansvariga för balanseringen. Det är dock många faktorer inom produktionen som det vanligtvis vid denna manuella, erfarenhetsbaserade balanseringen inte tas hänsyn till. Faktorerna

kan exempelvis vara montörers varierande arbetsprestationer eller kritiska arbetsmoment i monteringen.

En idé och ett sätt att försöka eliminera fel som uppstår till följd av gissningarna och för att göra balanseringen mer effektiv är att göra balanseringen dynamisk, med dynamiska stationsgränser. Att införa dynamisk balansering innebär dels att balanseringen kommer ske automatiskt av ett datorprogram, och dels att balanseringen görs med hänsyn till olika faktorer - exempelvis människan i produktionen. Med andra ord möjliggör dynamisk balansering att fördelningen av arbetsuppgifter över monteringslinan kan förändras efter olika situationer och se olika ut beroende på vilka behov monteringslinan har. Det finns flera aspekter som kan betraktas vid dynamisk balansering.

En av aspekterna som kan betraktas är när det finns fler eller färre montörer tillgängliga på monteringslinan än vad linan normalt är balanserad för. Detta innebär att antalet stationer behöver ändras efter antalet montörer som finns tillgängliga på linan. En annan aspekt som kan betraktas är då montörer med olika erfarenhet och prestationsnorm arbetar på samma monteringslina. Förutom prestationsnorm, som syftar på montörens finess och fingertoppskänsla i monteringsarbetet, arbetar dessutom oerfarna montörer i regel långsammare än erfarna montörer vilket resulterar i att deras arbetsstationer tar längre tid att utföra än för en erfaren montör. Situationen då montörerna monterar olika snabbt skulle kunna lösas med dynamisk balansering av linan genom att en montör som är långsammare får ett mindre antal moment att utföra. Dessa aspekter behandlar ett montörsfokus och fokuserar på att förutsättningarna kring montörerna ändras. Det finns dock andra aspekter som också kan variera på linan. En aspekt är om en maskin som finns på linan havererar eller har tillfälliga stopp. Om detta skulle ske skulle dynamisk balansering kunna göra att beläggningen minskar på de maskiner som för tillfället är havererade eller har tillfälligt stopp och att större beläggning läggs på de maskiner som fungerar.

När en monteringslina studeras så skulle antalet aspekter som påverkar linan kunna radas upp i en oändlig lista. Det som nämns ovan är endast en del av de aspekter som kan betraktas. Monteringslinan kan dessutom göras dynamisk genom att balanseringen görs om från dag till dag efter produktionens dagsbehov, eller genom att linan balanseras om i realtid under dagen efter den situation som för stunden råder när monteringarbetet är igång.

1.2 Involverade företag

Projektet har utförts i ett nära samarbete med två företag, MVV Information Technology och Volvo Penta. Dessa företag har använts som en tillgång och resurs i arbetsgången för projektet, då de gett en inblick i verklig produktion samt bidragit med nyttig information för projektet. Företaget MVV Information Technology har utvecklat Casat. Casat är en datorbaserad programvara för bland annat produktionsplanering, linjebalansering och digitala monteringsinstruktioner. Företaget har ett nära samarbete med Volvo Penta vilka använder Casat i sin produktion av

båtmotorer. Monteringen är komplex med långa cykeltider vilket innebär att de har stor användning av Casat. De har därför möjlighet att ge en tydlig inblick i hur Casat kan användas i dagsläget samt hur programmet kan förbättras.

1.3 Syfte

För att effektivisera produktionen på tillverkande företag finns en tanke att införa dynamiskt balanserade produktionslinor. Syftet med projektet är att ta reda på om en dynamisk balansering av en produktionslina skulle innebära en högre produktivitet för det tillverkande företaget. Vidare, om det är givande med en dynamisk balansering, är målet att göra ett konceptförslag för en utveckling av programvaran Casat. Konceptet ska dessutom fastställa de krav som utvecklingen ställer på den fysiska produktionen och dess layout.

Centrala frågeställningar som undersöks och behandlas i projektet är följande:

1. Kan effektiviteten på en produktionslina ökas, i exempelvis fler producerade enheter, om linan balanseras dynamiskt med utgångspunkt från tillgängliga resurser, så som antal montörer eller montörers prestationsnivåer?

2. Vad krävs det för utveckling av Casat för att kunna utföra dynamisk balansering?

3. Vad ställer en uppdatering av Casat för krav på den fysiska produktionen, exempelvis materialförsörjning och materialflöde?

1.4 Avgränsningar

Projektet avgränsas från faktorer som berör dynamisk balansering av maskinerna på monteringslinan, deras felmarginaler och eventuella störningar som påverkar dem. Avgränsningen följer av att arbetet inte ska bli för omfattande. Projektarbetet har istället montörsfokus och behandlar aspekter som berör personalen på monteringslinan. Fokus ligger bland annat på hur balanseringen av linan kan omarbetas beroende på hur många montörer som är tillgängliga. Vad gäller montörsfokuseringen tas även hänsyn till montörernas individuella prestationsnivå och erfarenhet, inte dagligt mående eller gruppdynamik mellan montörerna då det är en svår aspekt att konkretisera och generalisera. Huvudfokus är istället prestationsförmåga och antal montörer på linan samt montörernas förmåga att hålla sig till takttiden. Något som också beaktas är de samhälleliga aspekter som projektet kan komma att påverka. Det gäller framförallt montörers välbefinnande och hur det kan förändras till följd av projektets slutsatser och genomförande. Under arbetets gång och vid beräkningar antas att antal tillgängliga montörer i produktionen är känd vid skiftstart samt att deras individuella prestationsnivåer är kända.

Vidare avgränsas arbetet från den programmering som krävs för att ta fram en utvecklad och komplett programvara i Casat. Avgränsningen görs eftersom att medlemmar i projektgruppen saknar tidigare kunskap om programvaran och programmering av denna. Projektets tidsbegränsning spelar även en stor roll för avgränsningen.

Vad gäller datainsamling för cykel- och takttider i monteringslinan på Volvo Penta görs inga faktiska experiment, mätningar eller tidtagningar. För att spara tid och effektivisera arbetet vid datainsamlingen används istället nominella tider från Casat och produktionsplaneringen hos Volvo Penta. Vidare görs den största delen av arbetet utanför faktiskt produktion. Stena Innovation Industry Lab, SII-laboratoriet, vid Chalmers tekniska högskola, används för inte störa verklig produktion samt för att förenkla arbetet och göra det mer allmängiltigt.

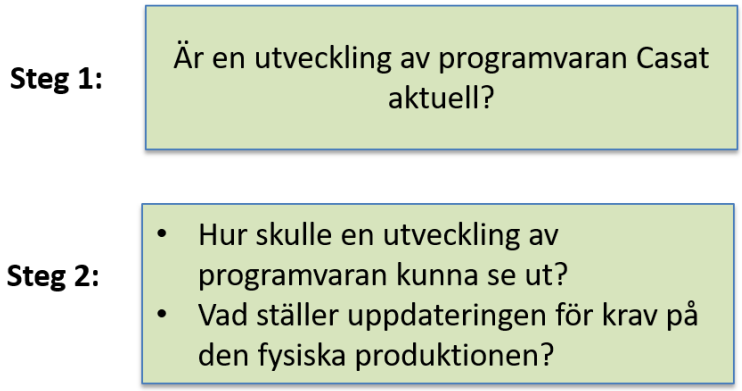
För enkelhetens skull avgränsas projektet till monteringslinor med fast monteringssekvens. Med det menas att monteringen antas utföras i en viss ordningsföljd, även om det hade varit fysiskt möjligt att utföra montering i en annan ordning, vilket kunde ha effektiviserat linan och minskat balanseringsförlusterna. Avgränsningen görs eftersom förändring av monteringssekvens komplicerar balanseringsproblemet avsevärt.

Slutligen avgränsas projektet från dynamisk balansering i realtid, det vill säga att systemet kan balanseras om mitt i pågående produktion. Trots att balanseringsoptimering i realtid är intressant görs avgränsningen då uträkningarna riskerar att bli för komplexa och tidskrävande. Om en monteringslina balanseras om under ett arbetsskift finns det dessutom stor risk för att förvirring uppstår bland montörer på stationerna längs linan. Istället betraktas ombalansering i början av arbetsskift eller när byte av arbetsuppgifter sker.

1.5 Övergripande metod för projektet

Arbetsgången för projektet kan ses som en tvåstegsprocess, där det andra steget i processen följer det första. Den övergripande metodiken visualiseras i figur 1.1. I det första processteget undersöktes värdet i att göra balansering dynamisk. Under denna fas i arbetet utreddes potentialen med idéen av dynamisk balansering och om det fanns tillräcklig grund och vinning i besparingar av balanseringsförluster för att fortsätta arbetet.

Projektets andra fas genomfördes då projektgruppen ansåg att dynamisk balansering hade ett värde och utvecklingspotential. I det här steget arbetades ett konceptförslag fram för hur dynamisk balansering kan fungera i Casat, och de krav som ställs på mjukvaran definierades. Även de krav som en uppdatering av Casat kräver för den fysiska produktionen klargjordes. Projektarbetet är till följd av processens två steg både en form av metod- och produktionsutveckling.

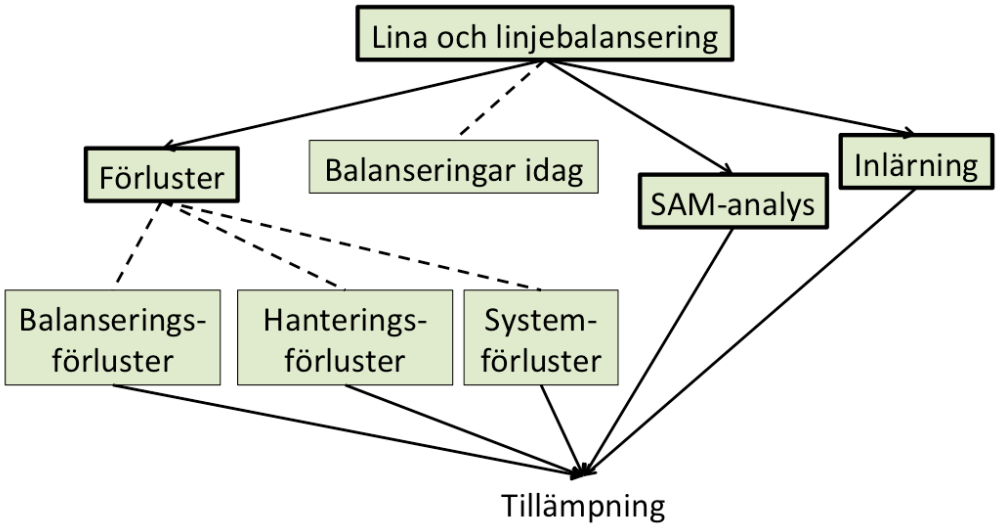


Figur 1.1: Arbetsgången i projektet är uppdelat i en tvåstegsprocess.

2

TEORI OM PRODUKTIONSSYSTEM

För att få kunskap över de områden som behövdes för att genomföra projektet har teori om berörda områden samlats in och analyserats, i figur 2.1 illustreras vilka områden det handlar om. Till en början låg fokus på teori kring linor och linjebalansering samt hur det fungerar med balanseringar i dagens produktion för att få en övergripande kunskap om ämnet. Efter det fördjupades kunskapen inom tre områden som är starkt kopplade till linjebalansering, nämligen förluster, SAM-analys och inlärning. Specifikt betraktades tre förluster som kan uppkomma i en produktion, nämligen balanseringsförluster, hanteringsförluster samt systemförluster. När tillräcklig kunskap sammanställts tillämpades kunskaperna för att genomföra relevanta tester och för att senare skapa ett konceptförslag. Det här kapitlet är en sammanfattning av den teori som samlats in och analyserats.



Figur 2.1: Illustrering av upplägget av teorikapitlet.

2.1 Lina och linjebalansering

Ett produktionssystem är uppbyggt av maskiner och människor som tillsammans och på ett organiserat sätt arbetar för att uppfylla ett gemensamt mål. I produktionssystem eftersträvas att på bästa möjliga sätt kombinera material, kapital och

arbete för att skapa en effektiv produktion av varor eller tjänster (Bellgran & Säfsten, 2005). Produktion, tillverkning och montering kan ske och vara strukturerat på många olika sätt. En produktionslina är en vanlig produktionslayout vilken är lämplig för produktion som är kontinuerlig och innefattar produkter i stora kvantiteter (Jonsson & Mattsson, 2016). Den här studien görs just utifrån en sådan linjebaserad layout.

En produktionslina består av flera på varandra följande arbetsstationer med förutbestämt arbetsinnehåll. Det arbetsstycke som är under tillverkning tas sedan från station till station i den ordningsföljd som förädlingsstegen ska genomföras (Jonsson & Mattsson, 2016). Med hjälp av verktyg och maskiner som är placerade på stationerna utförs värdeadderande arbete sekvensiellt på arbetsstycket (Boysen et al., 2007). Vidare beskriver Jonsson och Mattsson (2016) att linjelayouten möjliggör korta ledtider samtidigt som materialflödet blir rakt och enkelt vilket underlättar styrning och kontroll av tillverkningen. Förflyttning av arbetsstycket på produktionslinan kan vara automatisk eller manuell.

För att montering och tillverkningen längs monteringslinan ska ske på ett effektivt sätt behöver linan balanseras. Balansering kräver, enligt Boysen et al. (2007), stor arbetsinsats och innebär att uppgifter fördelas över arbetsstationer och resurser längs linan. I balanseringsplaneringen ingår val av verktyg och utrustning som ska användas i monteringen, och i vilken följd som producerande enheter ska tillverkas. Hänsyn tas vid planering och balansering av linan till systemets kapacitet såsom antal stationer, utrustning på stationerna och cykeltider. Här ingår även att precisera arbetsinnehållet och bestämma specifika operationer samt operationernas följd på stationerna. Balanseringen är starkt sammankopplad med effektiviteten på monteringslinan och målet är att arbetsstationerna ska få så jämna cykeltider som möjligt så att arbetet på respektive station tar ungefär lika lång tid att utföra (Battaïa & Dolgui, 2013).

Då produkterna på linan är av varierande karaktär blir balanseringen mer komplex. Skiljaktigheter gällande montörers förmåga, motivation, arbetstakt och inlärningsförmåga bidrar också till balanseringens komplexitet (Becker & Scholl, 2006). Vidare riskerar en monteringslina att bli ineffektiv om arbetsomsättningen på linan är hög och om inlärningshastigheten hos montörerna är låg (Montano, Villalobos, Gutierrez, och Mar, 2007).

2.1.1 Balanseringar i dagens produktion

Balansering är som tidigare nämnt något som i dagsläget kräver stor arbetsinsats, en ombalansering är därför ekonomisk kostsam för företaget och följaktligen görs ombalanseringar av linan inte allt för ofta. Ett tillverkande företag kan vanligen förutspå ungefärliga produktionsvolymer samt hur mycket resurser i form av maskiner, verktyg och anställda de har tillgängliga. Utifrån dessa resurser görs balanseringen av linan. Balanseringen är optimal förutsatt att resurserna, exempelvis antalet montörer på linan, är konstanta. Det är dock vanligt att alla resurserna inte är tillgängliga

och det är produktionslinans svaghet. Produktionslinan är mycket störningskänslig och maskinfel samt oförutsedd brist på arbetskraft leder till stora förluster i produktionen (Andersson, Audell, Giertz, och Reitberger, 1992).

Då en oförutsedd brist på resurser uppstår, till exempel brist på montörer vid linan, påverkas linans balansering. I de fall då montörsbristen leder till att alla stationer på linan ej kan bemannas uppstår ett problem som måste lösas. Möjliga lösningar är att ta hjälp av bemanningsföretag för att få in tillfällig personal, att montörerna förflyttar sig mellan stationerna och försöker få arbetet att fortgå eller att linan snabbt balanseras om till färre stationer. Ingen av lösningarna är dock optimal. Att ta in anställda från bemanningsföretag är dyrt, och kan dessutom innebära att montören inte har tidigare erfarenhet från den aktuella linan vilket kan leda till att hen får svårt att hålla produktionstakten. Lösningen då montörerna förflyttar sig mellan stationerna betyder att en montör först måste jobba vid en station och bygga upp en buffert, sedan förflytta sig till en ny station och fortsätta jobbet vid den. En tillfällig ombalansering av linan för att fördela ut aktiviteterna från en obemannad station kan göras på olika sätt. Vanligtvis gör någon med erfarenhet en mer eller mindre kvalificerad bedömning av hur linan bör ombalanseras vilken sedan verkställs. En sådan ombalansering kan inte göras med så stor noggrannhet eftersom det skulle ta för lång tid och då den endast ska gälla en kortare tid blir det inte kostnadseffektivt.

2.2 Förluster

Trots välbalanserade och effektivt ordnade linor uppstår alltid förluster vilket resulterar i att den totala takttiden inte utnyttjas till fullo på stationerna. Med andra ord används inte den förutbestämda tiden på varje station fullt ut och en förlust uppstår. För att få en effektiv produktion eftersträvas därför så låga förluster som möjligt. Nedan beskrivs balanserings-, hanterings- och systemförluster.

2.2.1 Balanseringsförluster

I produktionssystem som är uppbyggda så att monteringslinans takt är bestämd befinner sig arbetsstycket lika lång tid på samtliga stationer längs linan, och den tiden kallas för takttid (Ellegård, Engström, Johansson, Nilsson, och Medbo, 1992). Takttiden är således den tid som montörer på respektive monteringsstation har på sig för att utföra de operationer och det arbetsinnehåll som bestämts i balanseringen. Enligt Ellegård et al. (1992) är det i praktiken omöjligt att fördela arbete i lika delar över stationerna längs en monteringslina vilket resulterar i ojämna cykeltider på stationerna. Cykeltid kallas med andra ord den tid som förses med arbete på en station, medan den tid som inte kan beläggas med arbete ses som förlorad. Det uppkommer alltså förluster i takttiden på stationer då den inte helt kan täckas med arbete, dessa förluster benämns balanseringsförluster. I figur 2.2 visas hur takttiden består av cykeltid och balanseringsförlust.

Figur 2.2: Takttidens uppdelning i cykeltid, som beläggs med arbete, och balanseringsförlust.

Enligt Ellegård et al. (1992) försvåras balanseringsarbetet då olika produktvarianter tillverkas på samma monteringslina. Vid produktvariation på linan görs balanseringen oftast efter den mest tidskrävande varianten. Det påverkar i sin tur hela flödet då beläggningen och den balanserade tiden varierar över stationerna. Det här leder till förluster i form av obelagd tid för de övriga produktvarianterna som monteras på linan och dessa förluster kallas för variantförluster och kan ses som en slags balanseringsförlust. Till balanseringsförlusterna räknas även så kallad teknisk fördelningstid som är en pålagd säkerhetsmariginal baserad på historisk data över tillverkningen (Ellegård et al., 1992).

Takttiden och balanseringsförlusterna är relaterade till varandra. Ellegård et al. (1992) menar att balanseringsförlusterna blir procentuellt mindre då takttiden ökar. Vidare är arbetsfördelningen mellan stationer enklare att göra jämn då arbetet består av många och små operationer, vilket är vanligt då produkten som tillverkas består av många komponenter. Följaktligen kan balanseringen bli bättre och förlusterna kan minska om arbetet som ska utföras längs linan kan delas upp i många arbetsmoment.

2.2.2 Hanteringsförluster

Idealfallet vid förlustberäkning av monteringsarbete är att inget arbete eller hantering sker utanför monteringsobjektet (Ellegård et al., 1992). Det skulle vara fallet om allt arbete som montören utför på sin station är direkt värdehöjande för produkten. I verkligheten måste montören hämta verktyg, material och förflytta sig på stationen. De aktiviteterna är då sådana vars tidsåtgång benämns hanteringsförluster. Hanteringsförlusterna, det vill säga andelen tid som inte går åt till direkt montering, blir större då cykeltiden minskar (Ellegård et al., 1992).

2.2.3 Systemförluster

Utöver och oberoende av hanterings- och balanseringsförluster tillkommer även systemförluster på monteringslinan. Systemförluster är svårberäkneliga och uppkommer som en följd av att människor inte är kapabla till att arbeta felfritt och med konstant hastighet. Ibland tvingas montörer släppa ifrån sig ofullständigt arbete. Som

kompensation finns justering och kontroll. Tiden som läggs på sådant arbete och den extrapersonal som behövs för att utföra justeringar och kontroller räknas till systemförluster (Ellegård et al., 1992). Även tid som montörer använder för exempelvis toalettbesök, så kallad personlig fördelningstid, räknas in i systemförlusterna.

Förutom behov av justering vid ofullständigt eller dåligt utfört arbete kan systemförluster uppstå till följd av att det, trots monteringsvana, finns en naturlig variation i arbetstakt mellan olika montörer. Inte minst gäller det då montören arbetar efter sin egen arbetstakt på en station som saknar maskinstyrning (Ellegård et al., 1992). Dessa systemförluster minskar om det finns buffertar mellan montörerna längs linan. Sådana buffertar är dock inte alltid önskvärda då de bidrar till att fler produkter befinner sig i arbete på monteringslinan vilket leder till högre kapitalbindning i produktionen.

2.3 Sekvensbaserad aktivitet och metodanalys

Sekvensbaserad aktivitet och metodanalys, hädanefter kallad SAM-analys, används för att fastställa normtider för olika rörelser baserat på dokumenterade arbetsmetoder (International MTM Directorate [IMD], 2004). Vidare används SAM-analys för att designa arbetsmetoder med så hög produktivitet som möjligt samt för att fastställa ett tillvägagångssätt som kan appliceras oberoende av situationen där analysen önskas implementeras.

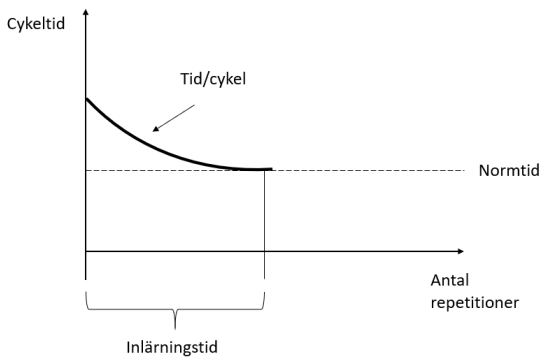
Ahlmström (2015, ss. 686-695) beskriver hur SAM-analys bygger på att tidssätta olika rörelser och aktiviteter beroende på hur de är uppbyggda. Grundaktiviteterna är *TAGA* och *PLACERA*. Tiden för *TAGA* beror dels på nödvändig förflyttningssträcka, avstånd, för handen och dels på hur många föremål som ska tas. *PLACERA* beror i sin tur på avståndet som handen behöver röra sig samt graden av precision som behövs i slutläget. Förutom grundaktiviteterna finns kompletterande aktiviteter, *VIKTLÄGGA*, *ANBRINGA KRAFT*, *STEG* och *BÖJA*. Det finns även repetitiva aktiviteter och dessa är: *SKRUVA*, *FRAM OCH ÅTER* (att med en handrörelse flytta ett föremål fram och tillbaka längs samma bana), *HAMRA*, *LÄSA*, *NOTERA*, *KNAPPA* samt *VEVA*. Både de kompletterande och de repetitiva aktiviteterna beror på en eller flera aspekter precis som grundaktiviteterna. Utifrån de aspekterna har sedan tabeller för de olika aktiviteterna konstruerats för att kunna ta fram hur lång tid en specifik rörelse tar. Ett exempel på hur en sådan tabell kan se ut ses i tabell 2.1 Notera att en rörelse kan vara uppbyggd av flera aktiviteter från de olika indelningarna. Exempelvis kan en mutter *TAGAS* för att sedan *PLACERAS* på en skruv och *SKRUVA*s fast.

Tabell 2.1: Exempel på hur SAM-tider kan se ut för aktiviteterna *PLACERA* och *TAGA*.

Avståndsklass (maxavstånd) cm	TAGA		PLACERA	
	Styckvis	Handfull	Direkt	Precist
10	2	8	2	5
45	4	10	4	7
80	5	11	5	8

2.4 Inlärning för nya montörer

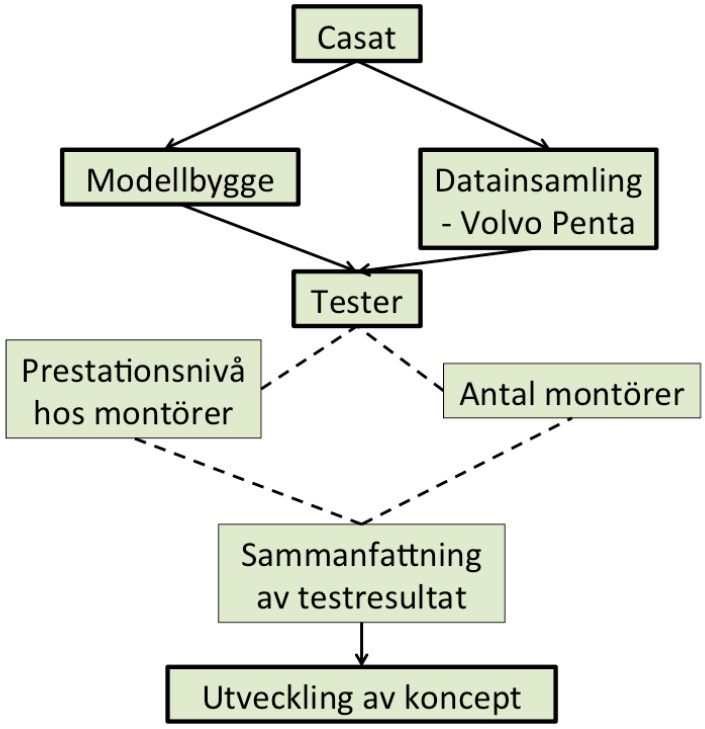
Inlärning kallas den process en montör, van eller ovan, går igenom för att lära sig monteringen. Varför det är aktuellt med teori kring inlärning i projektet är för att inlärningsteori starkt kopplas samman med hur snabbt en montör arbetar på sin station. Hur snabbt montören kan arbeta kallas senare i rapporten för montörens prestationsnivå. För att kunna utforma relevanta tester i projektet, diskutera dess resultat samt ta fram ett konceptförslag behövdes även kunskap i hur inlärningen för montören ser ut och fungerar. Chaffin & Hancock (1966) definierar det manuella arbetets inlärning som montörens allt minskade osäkerhet inför en given uppgift och situation. Inlärningstiden ses således som den tid, och det antal repetitioner som krävs innan en montör arbetar i den arbetstakt som stämmer överens med den normerade cykeltiden på stationen. Inlärningskurvan - sambandet mellan cykeltid och antal utförda repetitioner kan ses i figur 2.3. Ju fler gånger en montör repeterar en operation, desto mindre behöver hen fundera på nästkommande steg i processen och således kommer arbetet att gå snabbare att utföra. Individens prestationsnivå höjs således med tiden. Det finns dock en lägre gräns för hur snabbt arbetet kan utföras eftersom operationer har en minsta storlek som av naturliga skäl inte går att dela upp i mindre beståndsdelar.



Figur 2.3: Inlärningskurvan visar hur cykeltiden för en operation teoretiskt minskar med antalet utförda repetitioner.

3
METOD

I följande kapitel beskrivs de metoder som har använts i arbetet. Metoderna illusteras i figur 3.1. Först behövdes kunskap om programvaran Casat varefter byggandet av modeller till en monteringslina påbörjades. Parallellt med modellbyggandet samlades nödvändig information in från Volvo Penta för att kunna genomföra projektet. När modellbygget var klart och nödvändig information tagits fram gjordes tester om huruvida en dynamisk balansering skulle vara givande eller ej. Testerna gjordes dels med hänsyn till olika prestationsnivåer hos montörerna och dels efter antal tillgängliga montörer. När testerna gjorts sammanfattades resultaten och ett slutgiltigt konceptförslag utvecklades.



Figur 3.1: Illustrering av i vilken ordning metoderna i projektet har använts samt hur de är kopplade till varandra.

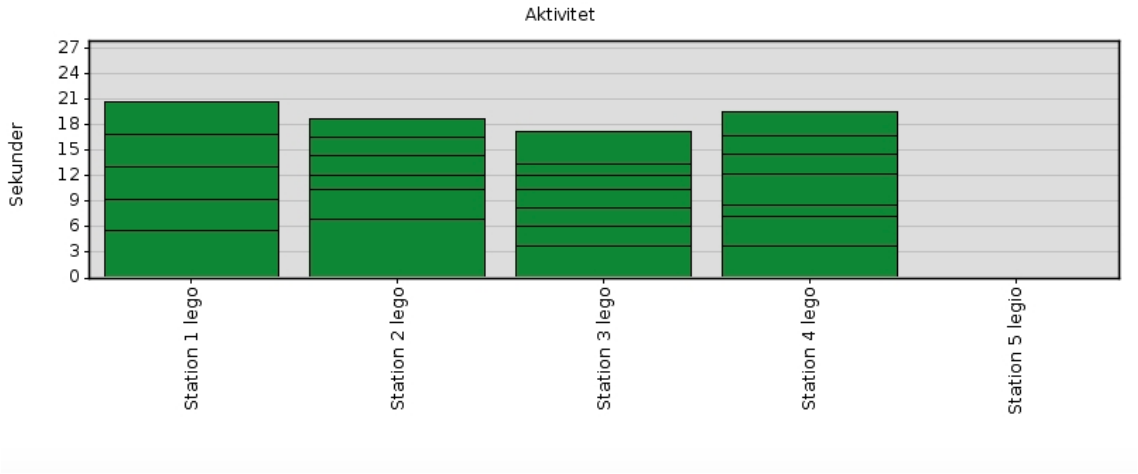
Följande kapitel kommer mer djupgående gå in på de olika metoderna som har använts i projektarbetet och i detalj beskriva vad som gjorts under respektive metoddel.

3.1 Användning av Casat i projektet

Casat, programvaran som användes för balansering i projektet, används i industrin för att underlätta och kontrollera produktion. I programmet kan flöden byggas upp och kartläggas, och monteringslinor och stationer kan skapas varefter balansering av dem är möjliga för att effektivisera monteringen. Casat kan även användas för att analysera processflödet - för att identifiera värdeskapande processer och processer som inte tillför direkt värde till produktionen och som därmed kan betraktas som slöseri.

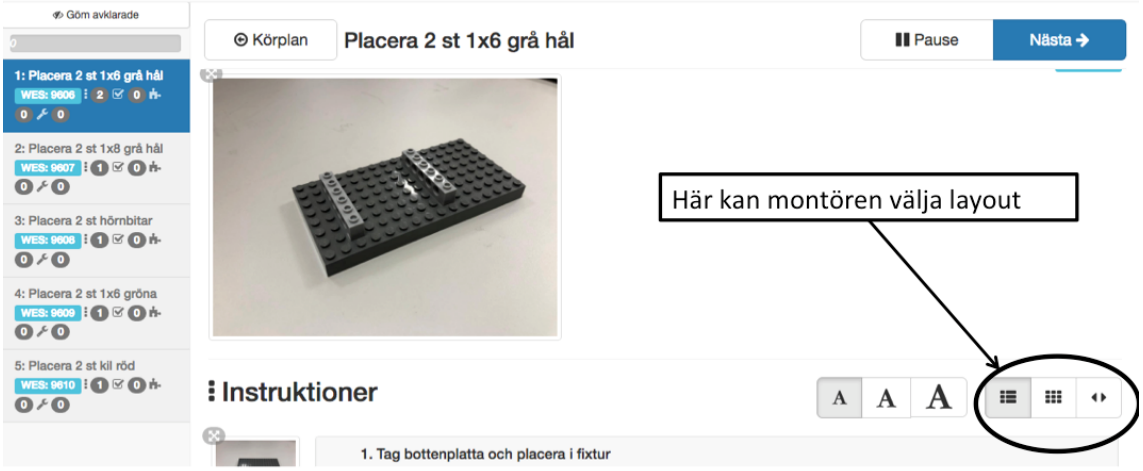
I Casat fördelas alla operationer som görs på arbetsstycket in i så kallade aktiviteter. De aktiviteter som ska utföras på samma monteringsstation visualiseras som en del av en stapel i ett stapeldiagram, där stapelns höjd motsvarar hur lång tid monteringen tar på just den stationen. Staplarna kan sedan användas som ett hjälpmedel för att balansera linan så jämnt som möjligt. Målet är att få alla staplar lika höga, går inte det så eftersträvas det att få dem så jämna som möjligt. För att uppnå målet kan aktiviteter flyttas mellan de olika stationerna och på så sätt flyttas de också mellan de olika staplarna. Följaktligen ändras staplarnas höjd och således även monteringstiden på de olika stationerna. Värt att notera är att de olika aktiviteterna kan ta olika lång tid och på så vis kan det vara svårt att få staplarna helt jämna. I dagsläget får personen som balanserar linan i Casat själv besluta när staplarna, och därmed balanseringen, är tillräckligt jämna.

I figur 3.2 ses hur en balansering över fem stationer kan se ut i Casat. I det här fallet är station 1-4 någorlunda jämnt fördelade medan station 5 är tom och saknar aktiviteter. Station 5 är tom från aktiviteter och används inte eftersom det i exemplet endast finns fyra montörer tillgängliga. Notera också de svarta sträcken i staplarna som visualiserar var tidsgränsen mellan de olika aktiviteterna går.



Figur 3.2: Exempel på balansering i Casat över en monteringslina med fem monteringsstationer där fyra av stationerna blivit tilldelade aktiviteter.

Vidare används Casat vid monteringsarbete där den förser montörer med digitala monteringsinstruktioner både i bild och text. Idag är olika användargränssnitt valbara i programvaran och montören kan välja layout och mängd instruerande text efter eget tycke och behov, se figur 3.3. Montören loggar in med personligt ID på arbetsstycket och aktuell arbetsstation. Systemet känner av och meddelar montören om det skett några förändringar, antingen i monteringsutförande eller förändring av komponenter, sedan montören monterade den aktuella produktmodellen senast. Systemet ger sedan montören instruktioner som i tur och ordning ska utföras på stationen. Samtidigt räknar systemet ner tiden på stationen utifrån förutbestämd cykeltid. Om den förutbestämda cykeltiden överskrids, det vill säga om montören arbetar för långsamt och ligger efter i sitt arbete, meddelar systemet om förseningen varpå montören ombeds att uppge orsaken till denna.



Figur 3.3: Exempel på hur digitala monteringsinstruktioner för montörer kan se ut i Casat.

Sammanfattningsvis fungerar Casat som en hjälp för montören genom att tillhandahålla samlad information och leda montören genom varje steg i monteringsarbetet. Casat hjälper också till med styrning i arbetet och ger kontrolleringsmöjligheter för produktionsplanering och produktionsledning.

3.1.1 Casat i projektarbetet

I detta projekt har en monteringslina samt tre olika legomodeller skapats i Casat. Legomodellerna ska motsvara olika produktvarianter i verklig produktion och utifrån modellerna har projektets tester och beräkningar gjorts. Modellerna är uppbyggda i flera monteringssteg i Casat, så kallade aktiviteter. Aktiviteterna har sedan fördelats över fyra stationer på monteringslinan och varje modell är optimalt balanserad över stationerna, denna balansering sägs hädanefter vara balanseringens originalutförande. Balanseringen är med andra ord gjord för att bli så jämn som möjligt för att

eftersträva minimala balanseringsförluster, och på så sätt fås ett effektivt och jämnt produktionsflöde. Då de olika aktiviteterna skapades i Casat användes SAM-analys.

För att möjliggöra skapandet av monteringslinan och legomodellerna i Casat krävdes god kunskap om programmets olika funktioner och hur det används. För att få den kunskapen har instruktionsfilmer för programvaran använts. Filmerna har tillhandahållits av MVV Information Technology och har även tidigare använts i utbildningssyfte. Filmerna gav grundläggande kunskap och förståelse för hur Casat fungerar. Ytterligare kunskap om programmet har erhållits dels genom att prova olika inställningar i programmet och dels genom att rådfråga kontaktperson vid MVV Information Technology. Besök har också gjorts hos Volvo Penta som implementerar Casat i sin produktion för att få ytterligare förståelse för programmet samt hur de tillämpar det i produktionen.

3.2 Modellbygge

För att enkelt kunna utföra tester och analyser i produktionsmiljö har SII-laboratoriet använts. Laboratoriet är uppbyggt som ett produktionssystem med fyra monteringsstationer längs en monteringslina. På monteringslinan har tre legomodeller monterats. Modellerna representerar tre olika produktvarianter som har sådana likheter att de skulle kunna monteras på samma monteringslina. Tanken är att denna produktvariation ska spegla produktionen hos Volvo Penta. Instruktioner har sedan skapats i Casat för att stödja monteringen.

De tre legomodellerna togs fram för att simulera verkliga produkter som monteras på en lina. Lego valdes framför andra material till modelleringen eftersom det är relativt billigt. Dessutom är lego enkelt att arbeta med och det lämpar sig för att skapa modeller som kan plockas isär och återanvändas, och det är därför möjligt att göra många tester till en låg kostnad. Testerna har utförts i SII-laboratoriet, Stena Industry Innovation Lab, som tillhör Chalmers tekniska högskola. SII-laboratoriet har utrustning för att simulera en produktionslina. Att testerna utfördes med hjälp av lego i SII-laboratoriet innebär också att inga tester behövde göras i den verkliga produktionen på Volvo Penta, vilket annars hade lett till störningar i deras produktion. Då lego är enkelt att arbeta med var det även möjligt att skapa modeller som kan monteras av personer utan någon tidigare monteringserfarenhet.

I Casat delades montering av legomodellerna upp i olika aktiviteter. Då indelningen av aktiviteter gjordes var det önskvärt att ha så få operationer på varje aktivitet som möjligt. Det gjordes för att möjliggöra en enklare balansering och för att likna ett verkligt produktionsfall mer, eftersom verklig produktion och montering ofta är mer komplex än legomodellerna i projektet.

Till varje aktivitet skapades sedan monteringsinstruktioner med bilder och beskrivande text. Instruktionerna var tillräckligt detaljerade så att en person utan någon tidigare erfarenhet skulle klara av att utföra monteringen, även om tidsbrist troligtvis skulle uppstå. För att ta reda på hur lång tid de olika aktiviteterna för

legomodellerna tar att utföra gjordes en SAM-analys i Casat.

3.3 Datainsamling från Volvo Penta

För att kunna utföra relevanta tester är det viktigt att jobba med verklig indata i den mån det är möjligt. Då projektets huvudfokus är balansering med hänsyn till personalresurser har data kopplat till det framförallt samlats in. Datan har främst samlats in från Volvo Penta då de använder sig av Casat i sin produktion.

För att få fram data har en intervju gjorts med två personer på Volvo Penta; en montör och en produktionstekniker. Intervjun gjordes för att få fram den nödvändiga datan som behövdes för att genomföra projektets tester. När sedan testerna genomförts och ett koncept tagits fram behövdes en avstämning för att kunna validera konceptet. Den största delen av datan som erhölls vid intervjun kan klassas som kvalitativ då intervjun kretsade kring att projektgruppen behövde förstå hur produktionen fungerar och vad som var viktigt att beakta under projektets gång. Även en del data i form av siffror samlades in vid intervjun, dessa anses dock vara kvalitativa bedömningar från de intervjuade snarare än kvantitativ data.

Information som söktes i intervjun var bland annat de anställdas inställning till projektet, hur lång upplärningstiden är för montörerna och hur stor skillnad det är mellan en ovan och en van montör. Vidare gjordes intervjun för att ta reda på erfarenheter som de anställda har från produktionen på Volvo Penta som kan bidra till projektet samt vilka svårigheter och vilken potential de ser i projektet. Inför intervjun diskuterades vilka intesseområden som projektgruppen ville få mer inblick i och som skulle behöva lyftas fram i intervjun. Utifrån denna diskussion konstruerades sedan frågor. I intervjun presenterades först projektets syfte och sammanhang, och frågorna som ställdes var mer generella. I slutet blev frågorna mer specifika och detaljer i produktionen diskuterades. Med andra ord var intervjun semistrukturerad.

Avstämningen genomfördes vid ett senare tillfälle för att validera konceptförslaget som tagits fram. Valideringen gick till så att en produktionstekniker vid Volvo Penta fick konceptförslaget presenterat för sig i bild och tal. Efter presentationen fick produktionsteknikern ge kommentarer och synpunkter på konceptet samt kommentera om hon trodde att det skulle gå att implementera i verklig produktion.

Ytterligare en valideringsavstämning genomfördes med en produktchef på MVV Information Technology. Valideringsavstämningen gick till på samma sätt som valideringen med Volvo Penta. Inför båda avstämningarna diskuterades först vilka frågor som skulle ställas men under avstämningen kom även nya frågor upp och diskussion uppstod. Därför klassas även valideringsavstämningarna som semistrukturerade.

3.4 Tester för att avgöra potentialen för dynamisk balansering

Nedan behandlas metoderna för de tester som genomfördes i projektet. Syftet med de gjorda testerna var att utvärdera om en programutveckling av Casat är aktuell för att kunna balansera monteringslinan automatiskt. För att en programuppdatering av Casat skall vara aktuell måste det finnas potential i att uppdateringen leder till stora förbättringar i produktionen. De förbättringar som avses här är antingen att fler enheter kan produceras per dag eller att antalet montörer kan reduceras förutsatt att produktionsvolymen bibehålls. Testerna gjordes separat med avseende på två aspekter. Dessa aspekter är: olika prestationsnivå hos montörer samt antalet montörer på linan.

För att i testerna kunna efterlikna handlingsättet som idag utförs i produktionen rådfrågas Volvo Penta i en intervju. Under intervjun efterfrågades det hur de balanserar om sin monteringslina om det finns fler eller färre montörer på linan än i normalfallet. Det efterfrågades även hur de hanterar situationen om det är en montör som monterar långsammare än takttiden på linan. Intervjun låg sedan till grund för hur testerna utformades och hur ombalanseringarna utfördes i projektet.

3.4.1 Test 1: Antal montörer

Den första aspekten som togs hänsyn till var variationen av antalet montörer som är tillgängliga på monteringslinan. Det kan exempelvis vara en montör mer eller mindre än i originalutförandet av montörer på linan. Originalutförandet syftar på den personalmängd som linan normalt är balanserad för. De legomodeller som byggdes upp i Casat och som testerna utfördes på, har i originalutförandet fyra stycken monteringsstationer och kräver således fyra montörer i originalutförandet. I testerna provades det att både minska antalet stationer till tre stycken och att öka dem till fem stycken. Den icke optimala balanseringen utfördes manuellt som den ofta görs i produktion idag.

Det första steget i test 1 var att ombalansera monteringslinan på liknande sätt som det görs idag i produktionen. Information om detta tillvägagångssätt erhölls i intervjun med Volvo Penta. Sedan gjordes en optimal ombalansering för att ha som jämförelse mot de ombalanseringar som gjorts utifrån det tillvägagångssätt som erhölls från intervjun. Dessa två balanseringssätt jämfördes sedan för att kunna utvärdera potentialen med en automatisk ombalansering i Casat.

För att kunna balansera linan optimalt efter hur många montörer som finns tillgängliga på monteringslinan har Casat använts. Casat har i dagsläget funktionen att aktiviteter kan flyttas manuellt i programmet mellan olika stationer för att uppnå en så bra balansering som möjligt. För att simulera att ett mindre antal montörer arbetar på linan så kan antalet stationer i Casat minskas och för ett större antal montörer kan antalet stationer i Casat ökas, givet att det arbetar en montör per station. Detta utnyttjades därför för att simulera hur en optimal lösning kan se ut

i Casat. Då Casat i dagsläget inte har funktionen att flytta aktiviteter automatiskt flyttades aktiviteterna manuellt i Casat efter de förutsättningar som ändrades i testerna. Om programvaran i Casat skulle utvecklas är det just en sådan ombalansering som Casat skulle göra automatiskt.

3.4.2 Test 2: Prestationsnivå hos montörer

Den andra aspekten som betraktades i testerna är den individuella prestationsnivån hos montörerna. När en ny montör börjar arbeta på monteringslinan behöver hen längre tid för att utföra arbetsmomenten än den standardiserade cykeltiden som är framtagen med SAM-analys för stationen. För att kunna testa potentialen för att anpassa linan efter den individuella prestationsnivån hos montörerna behövde både alternativet när linan inte balanseras om av Casat samt den optimala lösningen för balanseringen beaktas.

Det första steget i test 2 var att göra en ombalansering enligt det handlingssätt som framkom från intervjun med Volvo Penta. Denna balansering jämfördes sedan med en optimal balansering, som gjordes i Casat, av monteringslinan för att kunna utvärdera potentialen med en automatisk ombalansering i Casat. Den optimala balanseringen för de olika prestationsnivåerna som behövde göras var något svårare att utföra i Casat än den för varierande antal montörer i test 1. Därför gjordes förenklingen att endast en ovan montör, som då inte uppnår full prestationsnivå, befinner sig på monteringslinan åt gången. För att balansera linan optimalt i Casat flyttades aktiviteterna mellan de fyra stationerna i originalutförandet. De aktiviteter som är på den station där den ovana montören arbetar uppdaterades manuellt i Casat till aktuell prestationsnivå som ska användas för montören, med andra ord ändrades cykeltiden på de aktiviteter som hör till den station där de ovana montören arbetar. Notera att så fort en aktivitet flyttas eller läggs till på ny station behöver aktivitetstiden uppdateras på nytt så att endast de aktiviteter som är på den station där den ovana montören befinner sig får längre aktivitetstid.

3.4.3 Parametrar för jämförelse mellan nuvarande arbetsmetoder och en eventuell automatisk balansering i Casat

För att kunna jämföra de optimala balanseringarna för de båda testerna med de balanseringar som gjordes med samma handlingssätt som används idag på Volvo Penta beräknades tre olika parametrar. De parametrar som betraktades är: balanseringsförluster, ledtider och antalet enheter som är möjliga att producera per arbetsdag, givet att en arbetsdag är åtta timmar effektiv arbetstid.

Balanseringsförlusterna beräknades enligt ekvation 3.1 (Thunander & Winberg, 2017). Balanseringsförlusterna valdes att beaktas i jämförelserna då de ger en bra indikation på hur väl balanseringen är utförd. Om balanseringsförlusterna är små betyder det att linan är bättre balanserad än om balanseringsförlusterna är stora. Parametern användes med andra ord för att indikera hur väl den optimala lösningen är

utförd och hur långt ifrån den optimala lösningen som balanseringen är när linan inte ombalanseras optimalt.

$$\text{Balanseringsförlust} = \frac{\text{nc} - \sum_i t_i}{\text{nc}} \tag{3.1}$$

n = Antal arbetsstationer [styck]
c = Längsta cykeltid [s]
t_i = Cykeltid per operation [s]

Ledtiden beräknades enligt ekvation 3.2 (Skoog, 2000). Ledtiderna beaktades då de ger en indikation på hur lång tid det tar för en enhet att förflyttas från början till slutet av monteringslinan. Kortare ledtider leder till mindre produkter i arbete vilket gör att det inte binds lika mycket kapital i fabriken jämfört med om ledtiden är lång. Produkter i arbete är de produkter som befinner sig i produktionsflödet men som inte är färdiga. Ledtiden är därför intressant att beakta för att minska lager av materialkomponenter som är bundna i produktionen samt det bundna kapitalet av produkter i arbete.

$$\text{Ledtiden} = \text{C} \cdot \text{n} \tag{3.2}$$

C = Högsta cykeltiden på linan [s]
n = Antalet arbetsstationer [styck]

Antalet möjliga enheter att producera per dag beräknades enligt ekvation 3.3 och utgår från en arbetsdag med åtta timmar, 28800 sekunder, effektiv arbetstid. Produktionsvolymen är en intressant parameter att beakta eftersom den tydligt visar hur utfallet för arbetsdagen påverkas om en balansering inte är gjord på ett optimalt sätt. Parametern ger konkreta siffror på skillnaden i antal producerade enheter mellan den optimala balanseringen och den balansering som är gjord med dagens metoder och nuvarande handlingssätt.

$$\text{Antalet möjliga att producera} = \frac{28800}{\text{C}} \tag{3.3}$$

28800 = Antalet sekunder på en arbetsdag [s]
C = Högsta cykeltiden på linan [s]

3.4.4 Sammanfattning av testresultatet

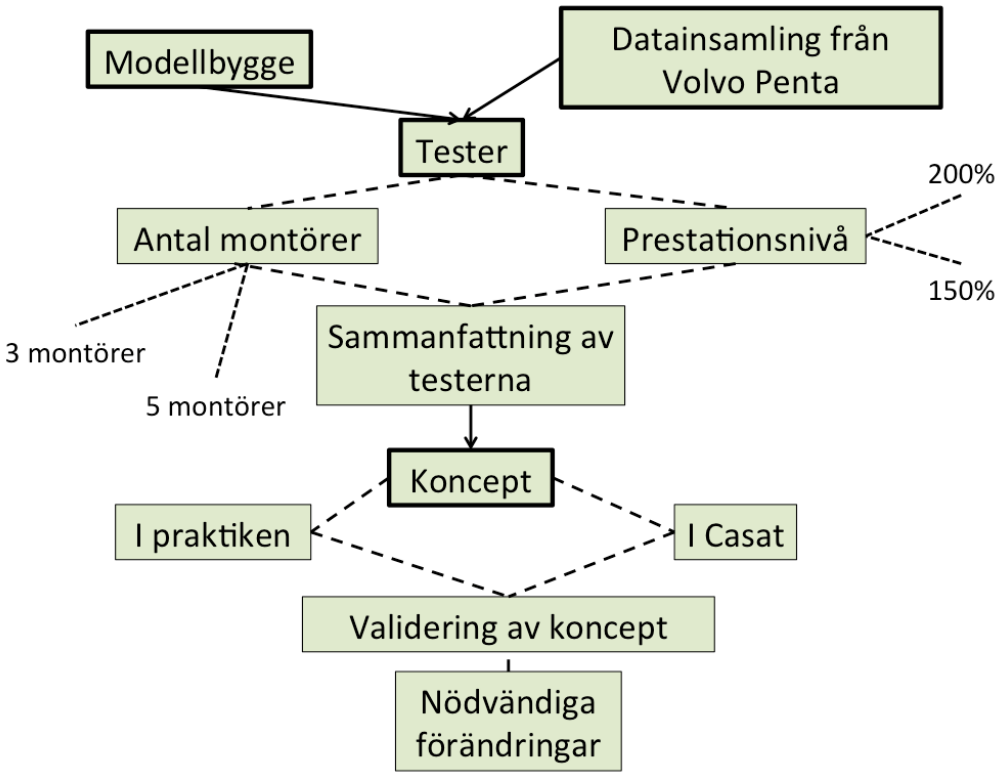
Efter att testerna genomförts analyserades och sammanfattades beräkningarna och dess resultat för att få en överblick av vilken förbättringspotential som finns med att Casat balanserar om linan automatiskt. Detta gjordes för att kunna fastställa huruvida en programändring i Casat skulle generera tillräckligt med effektivisering i form av minskade balanseringsförluster, minskade ledtider samt ökat antal enheter som går att producera under en arbetsdag i produktionen, för att förändringen skulle vara önskvärd att implementera.

3.5 Framtagning av konceptförslag

Efter att testerna genomförts och resultateten analyserats, övergick projektet i nästa steg nämligen att ta fram ett konceptförslag på hur programvaran Casat skulle kunna utvecklas och hur produktionen skulle kunna effektiviseras. Det slutgiltiga konceptförslaget har arbetats fram genom idégenerering. Först diskuterades och listades vad programmet ska leverera, det vill säga vilken utdata programmet ska generera. Efter det genomfördes en ny idégenerering där det diskuterades vilken indata som skulle behövas för att få önskad utdata. En del i idégenereringen för konceptförslaget bestod också i att diskutera hur implementeringen av konceptförslaget kan lösas i verklig produktion. Viktiga aspekter att beakta är hur materialförsörjningen och logistiken kring denna kan utformas. Därefter konstruerades det slutgiltiga konceptförslaget.

4
RESULTAT

I följande del av rapporten kommer projektets resultat att presenteras. Kapitlets innehåll illustreras i figur 4.1 där de rutor med tjockare kant motsvarar huvudrubrikerna i kapitlet och de med smal eller ingen kant står för underrubrikerna. Som kan ses i figuren användes resultaten av både modellbygget och datainsamlingen från Volvo Penta som indata i projektets tester. Testdelen i sig presenterar resultaten av de två testerna, det första för olika antal montörer på linan och det andra för vilka prestationsnivåer montörerna på linan har. Resultaten av testerna sammanfattas sedan och blir indata i nästa projektsteg som är framtagning av konceptet. I konceptavsnittet presenteras konceptet både i praktiken och i Casat. Konceptet valideras, och efter det listas vilka nödvändiga förändringar konceptet kräver på den faktiska monteringslinan i produktionen idag.

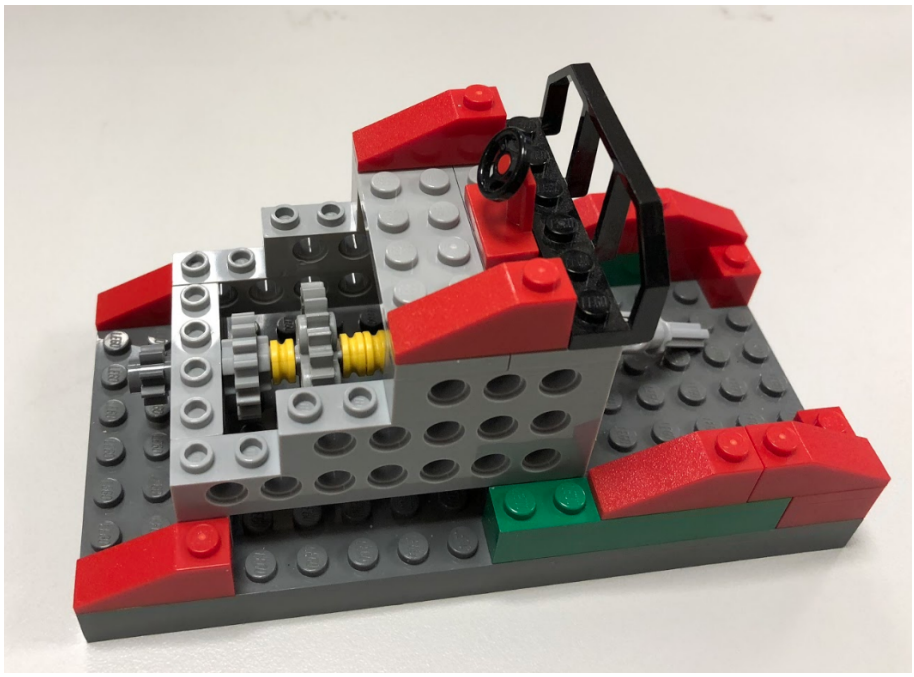


Figur 4.1: Illustrering av innehållet resultatkapitlet.

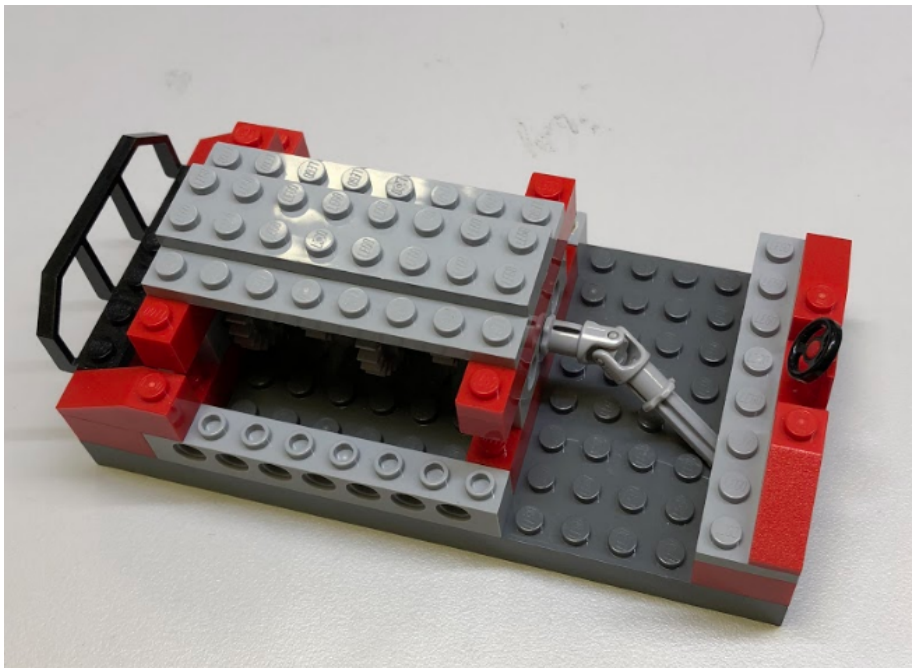
4.1 Modellbygge

Monteringslinan som användes i projektet består av fyra stationer där montering av tre olika legomodeller utfördes. Alla aktiviteter som legomodellerna består av finns detaljerat beskrivna i Casat med tillhörande bilder. Casat användes för att balansera om legomodellinan samt för att balansera den optimalt. Dessutom användes Casat för att visualisera de olika legomodellernas monteringsinstruktioner för montörerna.

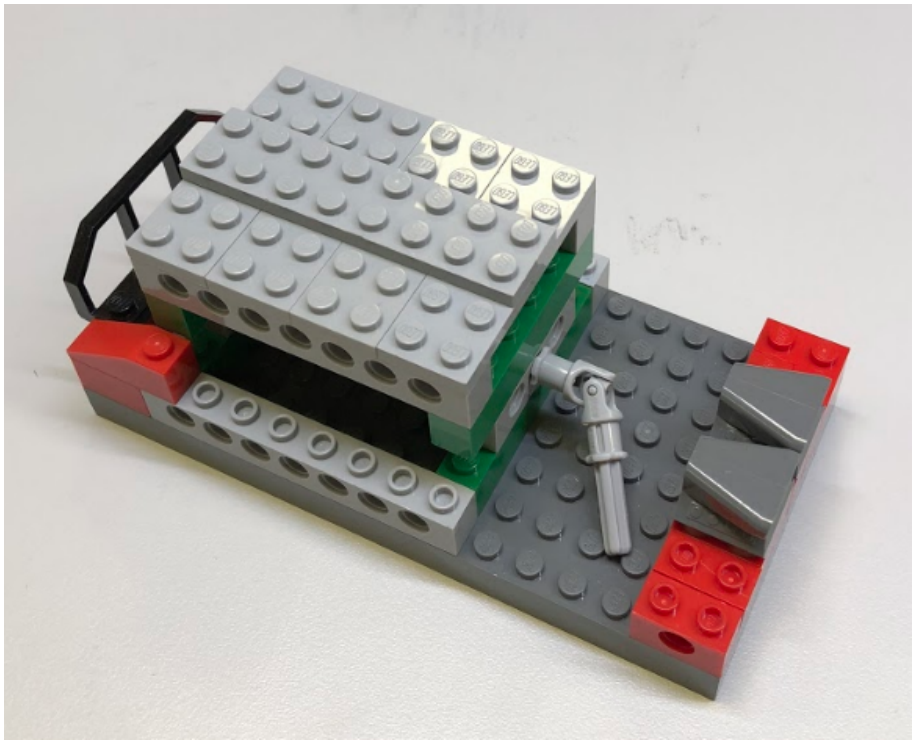
Legomodellerna som byggdes för att utföra testerna, och vars SAM-analystider som ligger till grund för beräkningarna i testerna, kan ses i figur 4.2, 4.3 och 4.4. Legomodellerna är tillsammans uppbyggda av 23 olika sorters legobitar och varje modell består av 38-40 stycken bitar. De tre legomodellerna som består av liknande delar och som är ungefär lika komplexa i sin uppbyggnad, är varianter av varandra och har därför stora likheter.



Figur 4.2: Den första legomodellen som togs fram i SII-labbet hänvisas till som legomodell 1.



Figur 4.3: Den andra legomodellen som togs fram i SII-labbet hänvisas till som legomodell 2.



Figur 4.4: Den tredje legomodellen som togs fram i SII-labbet hänsvisas till som legomodell 3.

4.2 Datainsamling från Volvo Penta

Datan som samlats in från Volvo Penta, och som presenteras nedan, är företagsspecifik. Dock har ett avgörande antagande gjorts för projektet, att datan speglar hur det ser ut i ett producerande företag idag och att tester och slutsatser därför kan göras baserade på den datan.

I datainsamlingen som gjordes på Volvo Penta (26 mars, 2018) intervjuades två personer: en produktionstekniker och en montör, se bilaga A.1. Montören har 20 års erfarenhet i produktionen på företaget. På Volvo Penta tillverkas båtmotorer och tillverkningen är kundorderstyrd. Under intervjun framgick att produktionen på monteringslinan som är aktuell och betraktas i projektet sker i 15-minuterstakt. Med andra ord är takttiden för produktionslinan 15 minuter.

På monteringslinorna som Volvo Penta har i dagsläget är montörerna inte stationerade på monteringsstationerna. För att främja varierande arbete och god psykosocial arbetsmiljö följer montören istället med den enhet hen arbetar med från station till station i en särskild ordningsföljd. Denna ordningsföljd, även kallad monteringssekvens, är viktig att följa då vissa komponenter måste monteras i en viss ordning på arbetsstycket. Arbetsstycket transporteras således den förutbestämda vägen mellan stationerna längs linan med hjälp av Automated Guided Vehicles, AGVer, som är en slags förarlösa truckar.

Trots att cykeltid och arbetstakt på stationerna längs linan är fastställd i produktionsplaneringen varierar olika montörers arbetshastighet mycket inom den tillåtna cykeltiden. Detta gäller framförallt vid jämförelse av en ny, ovan montör och en montör med erfarenhet och vana. Det är även stor skillnad i hur snabbt montörer trots lika stor monteringserfarenhet utför arbetet. Arbetstakten är med andra ord individuell montörer emellan. Vissa arbetar efter den takttid som produktionsplaneringen tagit fram medan andra arbetar snabbare än takttiden. Montören som intervjuades uppskattar att den individuella arbetstakten mellan olika montörer kan skilja sig mycket i tidsskillnad i utförande av samma arbete på en viss station. Vidare framgick det i intervjun att även montörers ålder har inverkan på hur snabbt de arbetar och det finns en trend att arbetstakten sjunker med stigande ålder.

En ny montör arbetar som tidigare nämnt långsammare än en van montör. Montören som intervjuades vid Volvo Penta uppskattade att en ny, ovan montör behöver dubbelt så lång tid på sig för att utföra monteringsarbetet. Med andra ord behöver ovana montörer ungefär 200% av cykeltiden, och montören arbetar alltså i MTM 50-takt. Vidare tar Volvo Penta in mellan två och fyra helt nya och oerfarna montörer varje år i sin montering. Det är i regel dock inte mer än en ovan montör under upplärning på monteringslinan samtidigt. I början går inlärningen för en ny montör snabbt varefter inlärningshastigheten avtar. Det krävs ungefär två veckor för en ny montör att komma upp i önskad takttid men fler dagar kan behövas beroende på montörens tidigare monteringskunskaper och inlärningshastighet. Montören som intervjuades menar att så länge som det finns en osäkerhet hos montörerna om vad

som är nästa steg i monteringen så kommer monteringen att ta längre tid än den SAM-analyserade tiden.

Vid händelse att monteringslinan är underbemannad vid ett skift blir utfallet att färre motorer produceras under skiftet. Om den kundorderstyrda produktionen ändå kräver att normaltakten hålls kallas extrapersonal in. Extrapersonalen som tas in vid behov tilldelas enklare arbetsuppgifter för att produktionen inte ska påverkas negativt. I värsta fall, då extrapersonal behövs men inte finns tillgänglig, kan anställda med andra arbetsuppgifter på Volvo Penta rycka in i monteringen. Eventuell ombalansering görs av montörer eller arbetsledare direkt på monteringslinan baserat på deras erfarenhet.

4.3 Tester för att avgöra potentialen för dynamisk balansering

För att utvärdera potentialen i att eventuellt införa en automatisk och dynamisk balansering av produktionslinan har två olika tester genomförts. I båda testerna har balanseringsförluster, ledtider och antalet möjliga enheter att producera under en åtta timmars arbetsdag beräknats. I samtliga tester har alla tre legomodeller använts. Varför testerna var intressanta att genomföra var för att utvärdera om det finns en möjlighet att kunna spara in tid och producera fler enheter under en arbetsdag alternativt att producera samma mängd med en mindre personalstyrka. Finns inte denna möjligheten med en utveckling av Casat så är inte utvecklingen aktuell. Nedan presenteras resultaten från de tester som finns beskrivna i kapitel 3.4.

Resultaten från test 1, där ombalanseringen gjordes med avseende på hur många montörer som finns tillgängliga, redovisas i stapeldiagram, se figur 4.5-4.10. Denna diagramtyp används för att tydligt visualisera hur balanseringsförluster och ledtider ökar samtidigt som antalet enheter möjliga att producera minskar då linan inte balanseras om optimalt. Med optimal balansering här avses att aktiviteter flyttas manuellt i Casat för att stapeldiagrammet ska bli så jämnt som möjligt, detta gjordes för att hitta den balansering som ger minsta högsta cykeltid längs monteringslinan och på så sätt levererades den optimala balanseringen.

Resultaten från test 2, där ombalansering gjordes med avseende på den individuella prestationsnivån hos olika montörer, redovisas i linjediagram, se figur 4.11-4.16. Denna diagramtyp används för att göra resultaten mer lättöverskådliga då det gjordes flera ombalanseringar på varje legomodell. Först gjordes en ombalansering då den ovana montören arbetar på station 1, sedan gjordes ett försök när den ovana montören är på station 2 osv. Då linjediagram används visualiseras även skillnaden tydligt mellan den optimala lösningen och de fall då linan inte balanserats om. Med optimal balansering här menas att cykeltiderna ökades manuellt i Casat för de aktiviteter som tillhör den station som den ovana montören befinner sig på, samt att cykeltiderna justerades när aktiviteter flyttades manuellt längs linan för att skapa en balansering med så låg högsta cykeltid som möjligt.

4.3.1 Test 1: Antal montörer

I test 1 beräknades balanseringsförluster, ledtider och antalet enheter möjliga att producera under en åtta timmars arbetsdag. Den faktor som förändrades från originalutförandet var antalet montörer som finns tillgängliga på monteringlinan. Balanseringstestet gjordes både med fler och färre antal montörer än originalutförandet, nämligen fem respektive tre montörer.

En montör på Volvo Penta rådfrågades för att få en indikation på hur de hanterar en ombalanseringssituation, med fler eller färre montörer än originalutförandet på monteringslinan. Montören från Volvo Penta beskrev i en intervju att de löser situationen direkt på plats. Lösningen består då i att montörerna delar upp arbetsuppgifterna mellan sig och försöker få en så jämn balansering som möjligt. Montörerna har dock idag inget verktyg för att mäta om denna balansering blir jämn eller ej utan de får använda sig av den balansering de kommit fram till även om den inte skulle vara optimal. Ombalanseringen baserades då på den kunskap och erfarenhet som montörerna har av liknande situationer. Hädanefter kommer denna bedömning för ny balansering att refereras till som ombalanseringsbedömning. I testerna som gjordes i projektet utfördes ombalansering av antalet stationer på liknande sätt.

För att testa vilken potential som finns att utföra dynamisk balansering beroende på hur många montörer som finns tillgängliga på monteringslinan användes legomodellerna. Legomodellinan var i originalutförandet uppbyggd av fyra stationer. I test 1 valdes därför fyra testpersoner ut, en person till varje originalmonteringsstation på legomodellmonteringslinan. Testpersonerna fick sedan montera legomodellerna på monteringslinan i SII-labbet ett antal gånger för att bekanta sig med modellerna och för att få en uppfattning om hur lång tid de olika momenten på stationerna tar. Detta steg i processen gjordes för att efterlikna situationen på Volvo Penta där montörerna har erfarenhet och kunskap om monteringen. Då legomodellerna är väldigt simpla i sin uppbyggnad tog det inte lång tid för testpersonerna innan de behärskade monteringsutförandet och hade kunskap om hur modellerna var uppbyggda och hur lång tid de olika momenten krävde. När testpersonerna fått kunskap om legomodellerna så ombads de att på egen hand göra två olika bedömningar på hur en ombalansering från fyra stationer skulle kunna göras till tre respektive fem stationer. De arbetsuppgifter, aktiviteter i Casat, som finns hos legomodellerna delades upp på det nya antalet stationer efter den erfarenhet och kunskap de fyra testpersonerna erhållit av att montera legomodellerna. Testpersonerna gjorde tillsammans totalt 16 ombalanseringar av linan, åtta ombalanseringar till tre stationer och åtta ombalanseringar till fem stationer. Alla ombalanseringar som gjordes lades in i Casat för att cykeltiderna för varje station enkelt skulle kunna läsas av.

Efter att linan ombalanserats efter testpersonernas personliga erfarenheter och bedömning, gjordes en optimal ombalansering i Casat. Även den optimala ombalanseringen gjordes från de fyra stationerna i originalutförandet till tre respektive fem stationer. Den optimala balanseringen i Casat gjordes genom att aktiviteter flyttades mellan stationerna tills en så låg högsta cykeltid som möjligt uppnåddes för linan. I Casat visualiseras den optimala balanseringen med jämnhöga staplar för

stationerna i stapeldiagrammen. Samtliga cykeltider för de olika stationerna för alla ombalanseringar och för de optimala balanseringarna antecknades. Balanseringsförlusterna, ledtiderna och antalet enheter möjliga att producera under en arbetsdag beräknades sedan för alla de optimala balanseringarna samt de ombalanseringar som gjorts erfarenhetsmässigt av testpersonerna.

Resultaten av testerna redovisas i stapeldiagram, där den mörka stapeln representerar den optimala lösningen och de ljusa visar resultatet från de åtta olika ombalanseringsbedömningarna som genomförts.

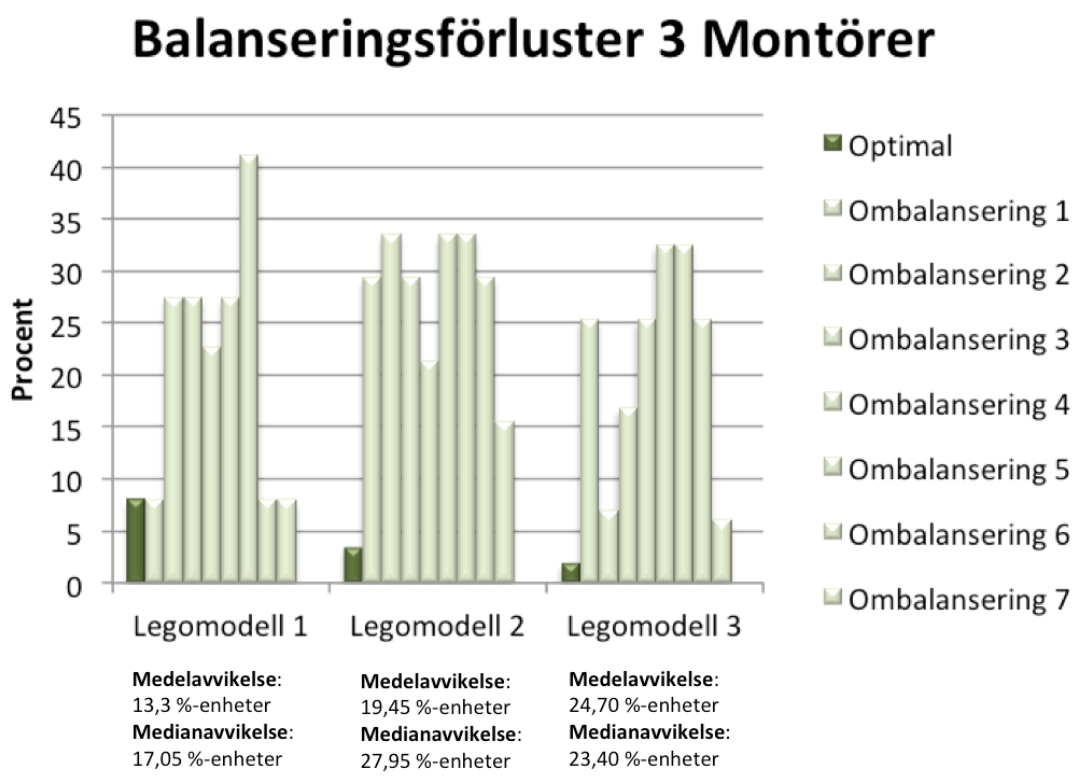
4.3.1.1 Ombalanseringsbedömning till tre stationer

I den första delen av testet minskas antalet montörer från fyra till tre stycken, där fyra stycken är antalet montörer i originalutförandet. Ombalanseringsbedömningar för omfördelningen av aktiviteterna gjordes enligt metodkapitel 3.4.1 och beräkningar gjordes för balanseringsförluster, ledtider och antalet möjliga enheter att producera. I figur 4.5-4.7 redovisas resultaten för de tre olika faktorerna i testerna.

Balanseringsförlusterna redovisas i figur 4.5. I figuren redovisas medelavvikelsen samt medianavikelsen under respektive legomodell. Medelavvikelsen är medelvärdet av hur mycket de olika ombalanseringarna på samma legomodell avviker från den optimala. Exempelvis uppnår balanseringsförlusterna för ombalansering 2 för legomodell 1 till ca 27 % vilket medför att den avviker med ca 19 procentenheter från den optimala balanseringen som uppgår till 8%. Medelvärdet av alla avvikelserna ger då medelavvikelsen. På ungefär samma sätt har medianavvikelsen beräknats fast då betraktades istället medianen av alla avvikelser. I kommande figurer kommer medel- och medianavvikelser också presenteras, de är då uträknade på samma sätt som ovan.

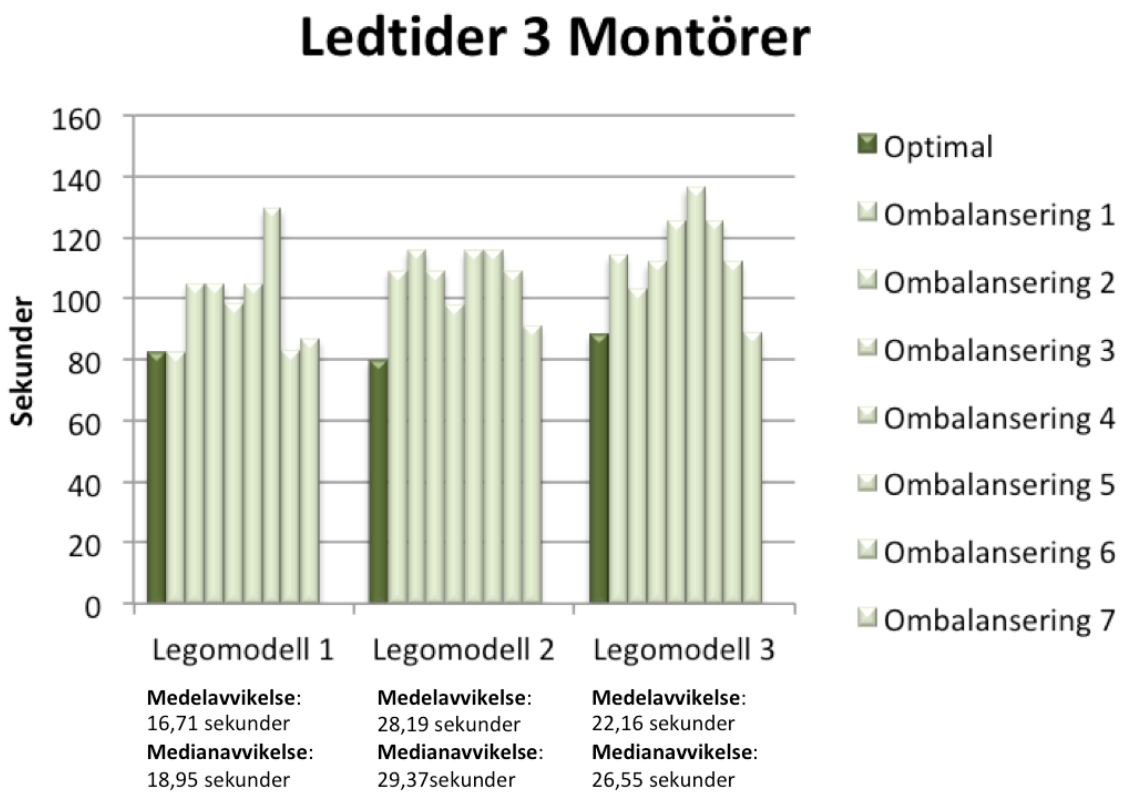
Balanseringsförlusterna för de olika legomodellerna sänks mellan 13,3-24,70 procentenheter i medelavvikelse för den optimala lösningen jämfört med försöken genom ombalanseringsbedömning, likaså sänks medianvärdet mellan 17,05-27,95 procentenheter. För legomodell 1 finns, som kan ses i figuren, avvikande låga värden och avvikande höga värden vilket gör att dess medelvärde på 13,3 procentenheter kan vara något missvisande, därför kan medianvärdet vara ett bättre värde att använda vid jämförelser. För samtliga modeller varierar staplarna i figur 4.5 mycket i höjd vilket i sin tur betyder att balanseringsförlusterna varierar mycket mellan de olika ombalanseringsbedömningarna. Det här indikerar på att resultatet för ombalansering blir oförutsägbart då ombalanseringen baseras på erfarenhetsbedömningar kontra om det görs i Casat. I figur 4.5 är de mörka staplarna låga vilket betyder att balanseringsförlusterna blir låga då linan balanseras om med hjälp av Casat, med andra ord finns det stor potential i att balansera med hjälp av programvaran.

De cykeltider som tagits fram i Casat för att göra de olika uträkningarna redovisas i bilaga A.2.1, och uträkningsresultaten redovisas värde för värde i bilaga A.3.1.



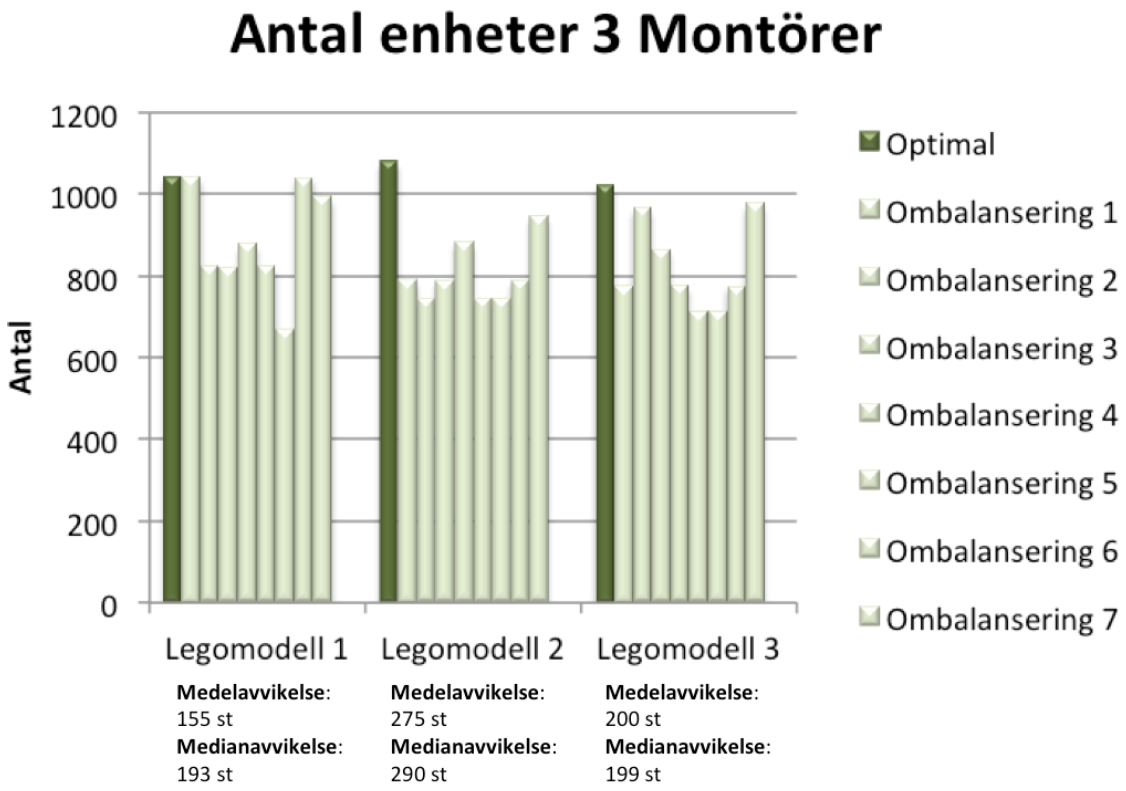
Figur 4.5: Balanseringsförluster för reducering av antalet montörer till tre stycken. Mörk stapel visar balanseringsförluster för den optimala lösningen, gjord i Casat, för de olika modellerna. De ljusa staplarna visar balanseringsförlusterna för de åtta olika ombalanseringarnabedömningarna.

Ledtiderna för de olika balanseringarna redovisas i figur 4.6. I figuren kan ses att ledtiderna för de olika modellerna sänks mellan 16,71-28,19 sekunder i medelavvikelse för den optimala lösningen jämfört med försöken genom ombalanseringsbedömning, och mellan 18,95-29,37 sekunder i medianavvikelse. Legomodell 1 har några värden som sticker ut som mycket höga i balanseringsförsöken. Det gör att medelvärdet kan vara något missvisande och att medianvärdet kan vara mer aktuellt att studera. Likt balanseringsförlusterna varierar även ledtiderna mycket mellan de olika balanseringsförsöken. Det skiljer mellan de tre modellerna i hur mycket ombalanseringsbedömningarna differentierar sig från optimalbalanseringen. Det indikerar därför på att det är ett väldigt osäkert tillvägagångssätt att förlita sig på montörers ombalanseringsbedömningar.



Figur 4.6: Ledtider för reducering av antalet montörer och stationer till tre stycken. Mörk stapel visar ledtider för den optimala lösningen för de olika modellerna som är gjord i Casat. De ljusa staplarna visar tiderna för de åtta olika ombalanseringsbedömningarna.

Antalet enheter möjliga att producera på en åtta timmars arbetsdag redovisas i figur 4.7. Det antal enheter som är möjliga att producera under en arbetsdag på åtta timmar skiljer mellan 157-200 stycken i medelavvikelse för den optimala lösningen jämfört med försöken genom ombalanseringsbedömning, och mellan 193-290 stycken i medianavvikelse. I uträkningen blir skillnaden i resultatet mellan optimalbalansering och ombalanseringsbedömningar ännu tydligare än för motsvarande resultat i testerna för balanseringsförluster och ledtider. Detta eftersom det tydligt visar effektiviseringen i antal enheter som går att producera och som i sin tur sedan kan generera en inkomst för företaget. Det skiljer mycket mellan de olika balanseringsförsöken gjorda enbart med bedömning och den optimala lösningen gjord i Casat. Det lägsta värdet som noteras från figur 4.7 är 666 st enheter för legomodell 1 vilket är ca 35% mindre än för legomodellens optimallösning som kan producera 1043 st.



Figur 4.7: Antalet enheter möjliga att producera på åtta timmar för reducering av antalet montörer till tre stycken. Mörk stapel visar antalet som är möjliga att producera utifrån den optimala lösningen gjord i Casat. De ljusa staplarna visar möjligt produktionsantal för de olika modellerna utifrån för de åtta olika ombalanseringsbedömningarna som gjorts.

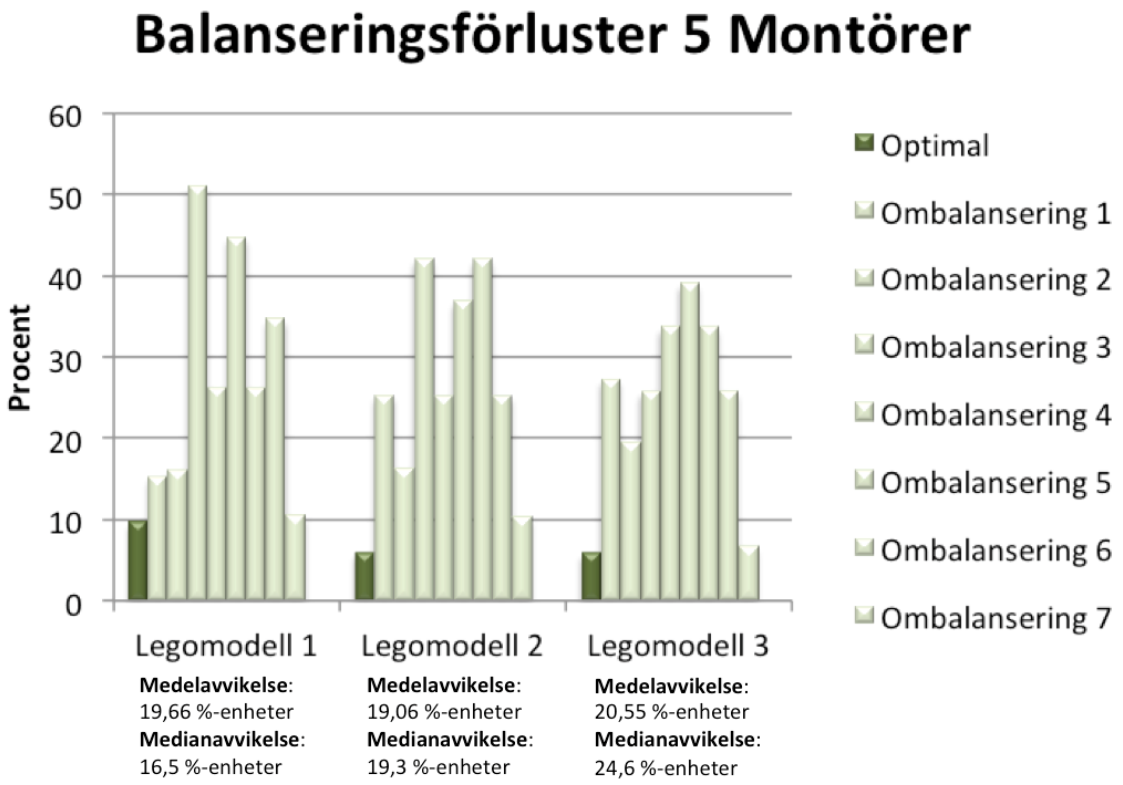
4.3.1.2 Ombalanseringsbedömning till fem stationer

I den andra delen av test 1 ökades antalet montörer till fem stycken. Ombalanseringsbedömning för omfördelningen av aktiviteterna gjordes enligt metodiken i kapitel 3.4.1 och beräkningar utfördes även här för balanseringsförluster, ledtider och antalet möjliga enheter att producera. I figur 4.8-4.10 redovisas testernas resultat.

Balanseringsförlusterna för ombalansering till fem montörer redovisas i figur 4.8. Balanseringsförlusterna för de olika modellerna skiljer mellan 19,06-20,55 procentenheter i medelavvikelse för de olika legomodellerna då den optimala balanseringen, gjord i Casat, jämförs med balanseringsförsöken som tagits fram genom ombalanseringsbedömning. Vidare sänks medianavvikelsen mellan 16,5-24,6 procentenheter för de olika legomodellerna. För alla tre legomodellerna är det stor variation mellan höjden på de ljusa staplarna, alltså de balanseringarna som är gjorda med ombalanseringsbedömning. Det finns värden som är avvikande låga och avvikande höga vilket gör att medelvärdet kan vara något missvisande. Resultatet tyder på att balansering genom ombalanseringsbedömning kan ge väldigt oförutsägbara balanseringsförluster. Likt fallet med ombalanseringsbedömning till tre stationer kan montören ha tur och pricka in den optimala balanseringen, det blir dock ett väldigt osäkert tillväga-

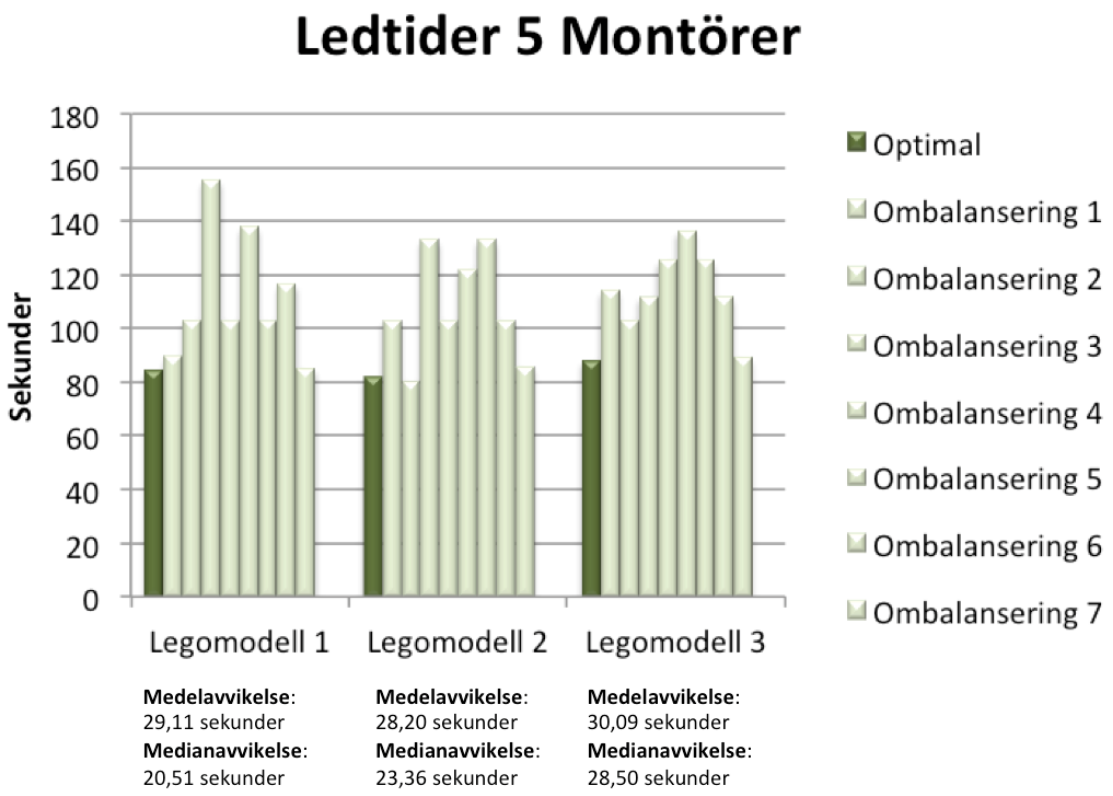
gångssätt.

De cykeltider som tagits fram i Casat för att göra de olika uträkningarna redovisas i bilaga A.2.2 och uträkningsresultaten redovisas i bilaga A.3.2.



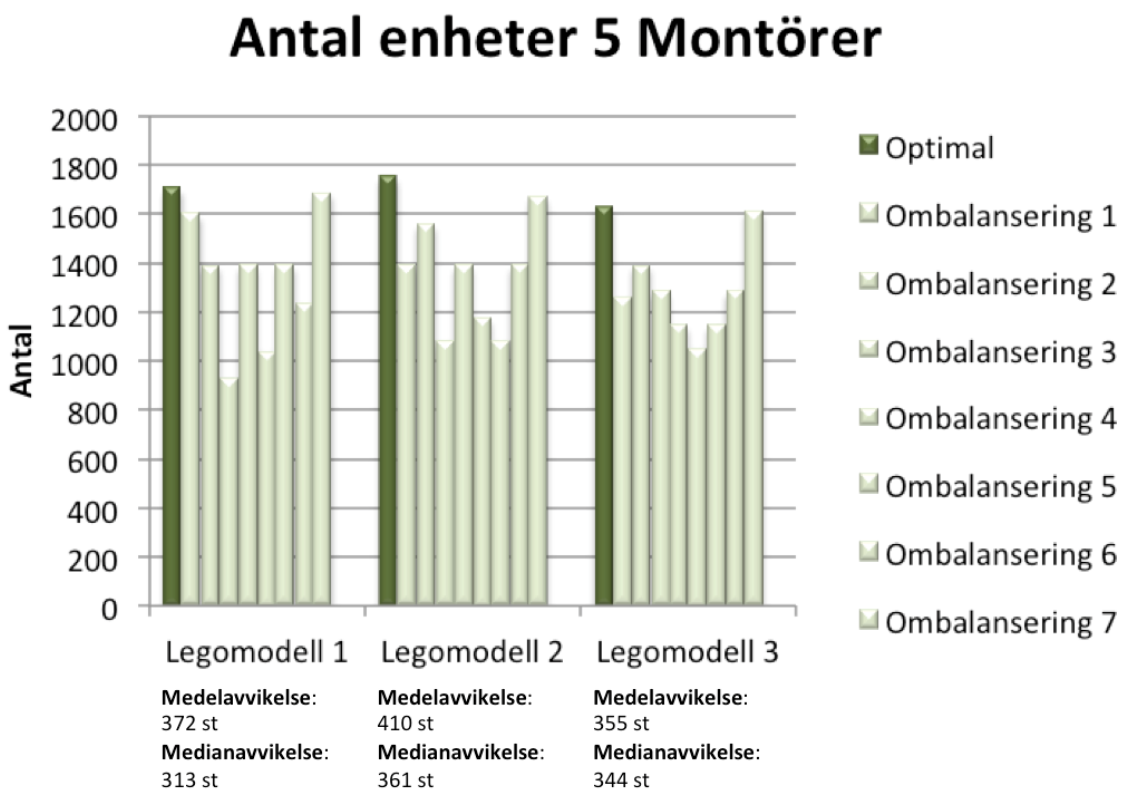
Figur 4.8: Balanseringsförluster för ökning av antalet montörer till fem stycken. Mörk stapel visar balanseringsförluster för den optimala balanseringen för de olika modellerna som är gjord i Casat. De ljusa staplarna visar förlusterna för de åtta olika ombalanseringsbedömningarna.

Ledtiderna för ombalansering till fem montörer redovisas i figur 4.9. Ledtiderna för de olika modellerna sänks mellan 28,2-30,09 sekunder i medelavvikelse och mellan 20,51-28,50 sekunder i medianavvikelse för de olika legomodellerna, när den optimala balanseringen jämförs med försöken gjorda med ombalanseringsbedömning. Ledtiderna varierar mycket mellan de olika balanseringsförsöken vilket gör att medianvärdet kan vara en bättre jämförelseparameter än medelvärdet. Figur 4.9 visar att ledtiderna ökar avsevärt när monteringslinan inte är optimalt balanserad.



Figur 4.9: Ledtider för ökning av antalet montörer från fyra till fem stycken. Mörk stapel visar ledtider för den optimala balanseringen som är gjord i Casat. Medan de ljusa staplarna visar tiderna för de åtta olika ombalanseringsbedömningarna som är gjorda för de olika legomodellerna.

I figur 4.10 redovisas antalet möjliga enheter att producera under en arbetsdag på åtta timmar vid ombalansering till fem montörer. Antalet möjliga enheter att producera under en arbetsdag höjs i medel mellan 355-410 st för den optimala balanseringen jämfört med försöken som gjorts genom ombalanseringsbedömning. Likaså höjs medianavvikelsen mellan 313-361 st som är möjliga att producera då balanseringen görs optimalt i Casat. Några utmärkande ombalanseringar ger väldigt lågt antal vilket gör att medelvärdet kan vara något missvisande och att medianvärdet kan vara en bättre indikator. Det skiljer mycket mellan den balansering med lägst antal producerade enheter och den optimala balanseringen i synnerhet för legomodell 1, där en av balanseringarna ger 926 st enheter medan optimallösningen ger 1706 st.



Figur 4.10: Antalet enheter möjliga att producera på åtta timmar vid ökning av antal montörer och stationer från fyra till fem stycken. Mörk stapel visar antalet möjliga enheter att producera för den optimala balanseringen framtagen med hjälp av Casat. De ljusa staplarna visar motsvarande antal för de olika modellerna gjorda med ombalanseringsbedömning.

4.3.2 Test 2: Prestationsnivå hos montörer

Även i test 2 beräknades de tre faktorerna balanseringsförluster, ledtider och antalet enheter möjliga att producera under en arbetsdag. Den faktor som förändrades från originalutförandet i testet var prestationsnivån hos de montörer som finns tillgängliga på monteringslinan. Testet gjordes med antagandet att en ovan montör befinner sig någonstans på en monteringslina med fyra stationer. Beräkningar gjordes för fyra olika fall, en för varje station som den ovana montören kan tänkas arbeta på.

Volvo Penta rådfrågades angående hur de hanterar balanseringen när en montör som är långsammare än takttiden arbetar på linan. Det framgick i intervjun med en av Volvo Pentas montörer att de inte balanserar om linan om de har en montör med lägre prestationsnivå på linan, utan arbetet fortskrider som innan. Därför balanserades inte heller monteringslinan om i de tester som gjordes i projektet, för att simulera ett liknande tillvägagångssätt. Montören vid Volvo Penta rådfrågades också om hur mycket långsammare, än vana montörer, en helt ny montör är på monteringslinan. Detta gjordes för att fastställa vilka prestationsnivåer som skulle vara aktuella att beakta. Volvo Pentas nya montörer monterar ungefär hälften så snabbt som en van

montör när de först börjar arbeta på linan, montören arbetar alltså ungefär i MTM 50-takt och behöver med andra ord 200% av cykeltiden. Montören vid Volvo Penta menar också att det i snitt tar ungefär två arbetsveckor innan en ny montör kommit upp i den cykeltid som är fastställd av företaget.

I industrin är det stor tidsskillnad på arbete utfört av vana respektive ovana montörer. Balansberäkningar och SAM-analyser görs utifrån vana montörer. Test 2 syftar därför till att avgöra huruvida det finns potential i att linan balanseras om automatisk i Casat efter de olika prestationsnivåerna som montörerna besitter. Därför valdes en första prestationsnivå till 200% av cykeltiden, MTM 50-takt. Den andra prestationsnivån som gjordes för att simulera att montören är en bit in på inlärningen valdes till 150%, MTM 75-takt.

Vid beräkning av fallet då linan inte balanseras om efter varierande prestationsnivåer hos olika montörer, det vill säga den arbetsmetod som används på Volvo Penta, så gjordes först en beräkning för situationen när den ovana montören arbetar på station 1 och en när hen arbetar på station 2 osv. Beräkningar på samtliga stationer gjordes eftersom att cykeltiderna varierar något mellan stationerna. De aktivitetstider som finns på stationen där den ovana montören arbetar multiplicerades med procentsatserna för att efterlikna att montören jobbar långsammare än normaltakten.

Sedan gjordes ombalansering för fallet då linan balanseras optimalt för de olika prestationsnivåerna. Vid optimal ombalansering multiplicerades aktivitetstiderna för de aktiviteter som är på den station där den ovana montören befinner sig. När aktiviteter vid ombalansering flyttades till eller från den stationen där den ovana montören arbetar justerades monteringstiderna manuellt så att endast de aktiviteter som är på den ovana montörens station fick en längre cykeltid. För de båda fallen, då linan ej balanseras om och då linan balanseras om optimalt, gjordes beräkningar för då den ovana montören monterar på 200% av cykeltiden och för när montören monterar på 150% av cykeltiden. Sedan beräknades även balanseringsförlusterna, ledtiderna och antalet enheter möjliga att producera för de båda fallen.

Resultaten av test 2 redovisas i linjediagram. Diagrammen visar skillnaderna mellan den optimala balanseringen jämfört med de fall då linan inte balanseras om, givet att en ovan montör befinner sig på linan. Skillnaderna som avses är de som uppstår för de tre faktorerna: balanseringsförluster, ledtid och antal möjliga enheter att producera under en arbetsdag. De värden som gavs när monteringslinan inte balanserades om är inprickade i diagrammet med en linje dragen mellan dem. Likaså har alla värden prickats in för de optimala balanseringarna, och även här har en linje dragits mellan värdena.

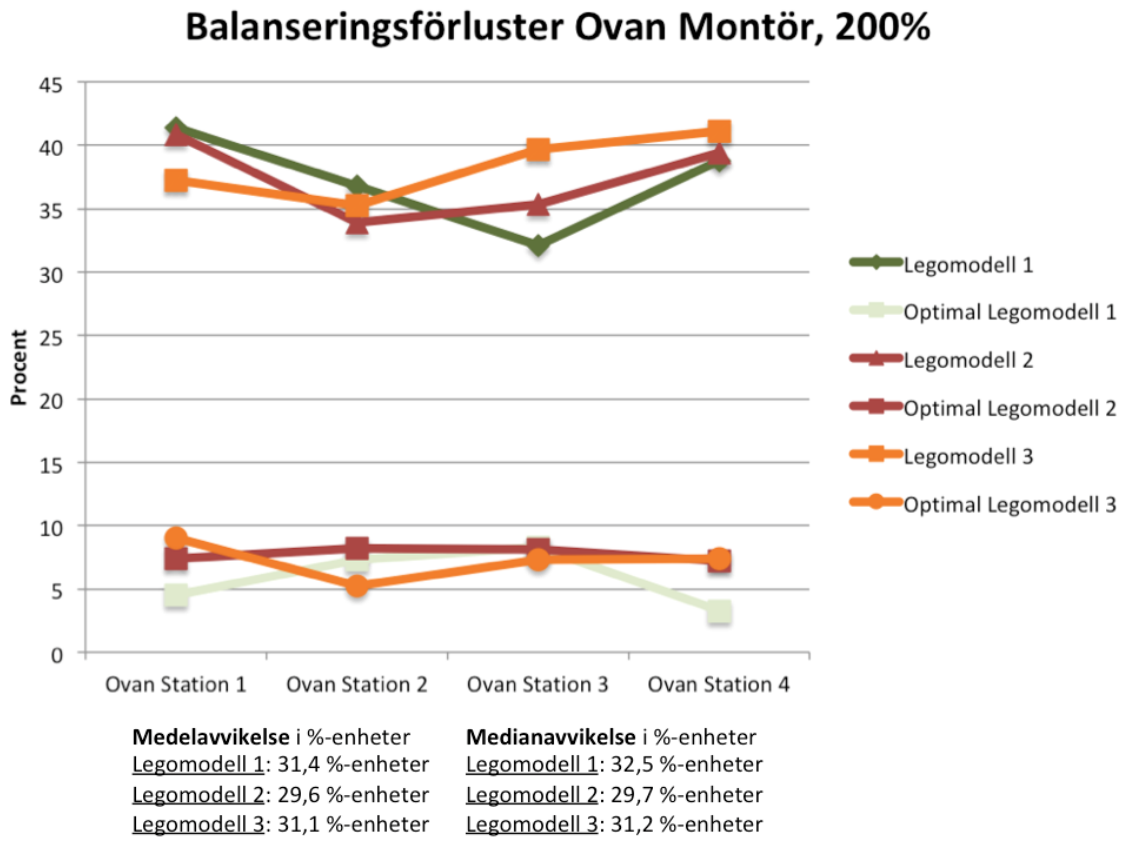
4.3.2.1 Ovan montör behöver 200% av cykeltiden

I figur 4.11-4.13 redovisas resultaten av de uträkningar som gjorts för situationen att en ovan montör arbetar i MTM 50-takt och behöver 200% av cykeltiden. Generellt för alla alternativ där linan inte balanseras om när en ovan montör monterar på

200% av cykeltiden är att de genererar höga balanseringsförluster och ledtider samt lågt antal producerade enheter jämfört med den optimala balanseringen.

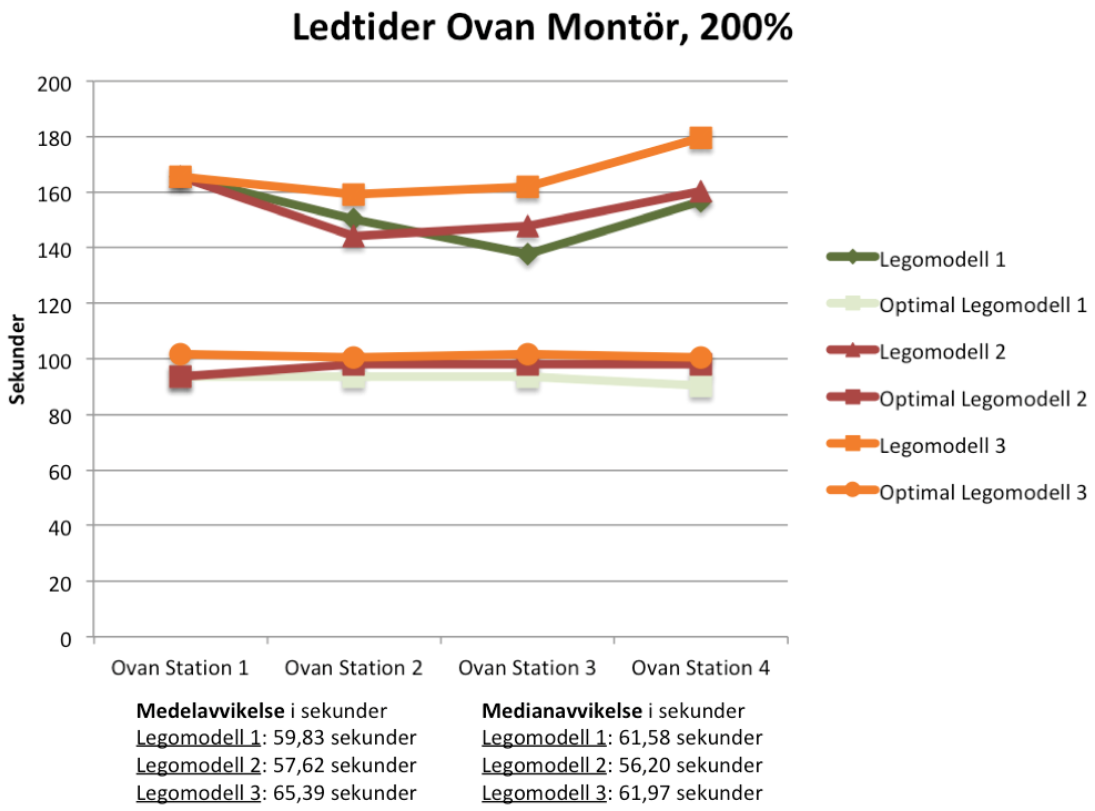
Balanseringsförlusterna redovisas i figur 4.11. Balanseringsförlusterna för de olika modellerna sänks mellan 29,6-31,4 procentenheter i medelavvikelse och 29,7-32,5 procentenheter i medianavvikelse för den optimala balanseringen jämfört med de fall då linan inte balanserats om. Balanseringsförlusterna varierar lite beroende på vilken station som den ovana montören befinner sig på, detta beror på att linan i originalutfördet har en viss skillnad i cykeltider mellan de olika stationerna. Då förbättringen vid optimallösningen är relativt jämn för de olika alternativen ger medelvärdet en bra indikation på vilken potential som finns med en ombalansering. Det syns tydligt i figur 4.11 att balanseringsförlusterna kan sänkas avsevärt om linan balanseras om. Med en montör som behöver 200% av cykeltiden finns det ingen möjlighet att uppnå den optimala balanseringen utan att balansera om linan, därför finns det stor potential i en ombalansering vad gäller balanseringsförlusterna.

De cykeltider som tagit fram i Casat för att göra de olika uträkningarna redovisas i bilaga A.4.1, och uträkningsresultaten redovisas i bilaga A.5.1.



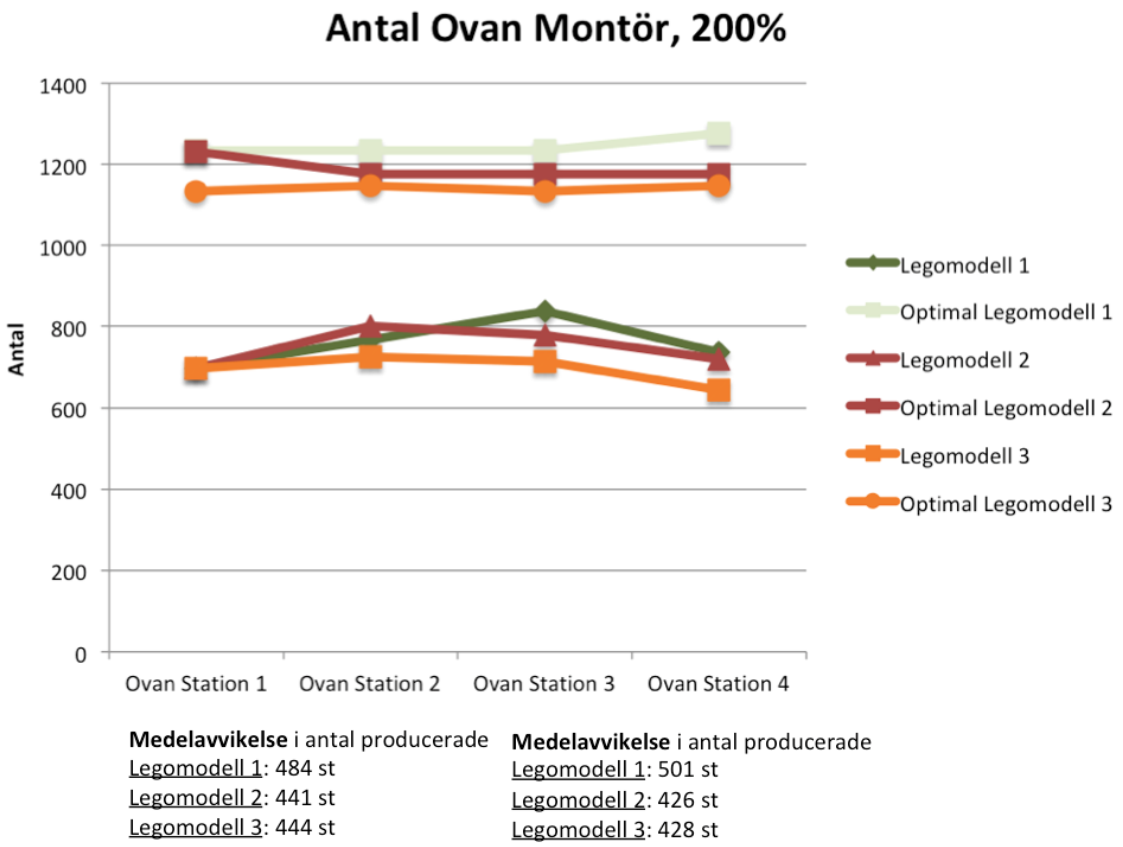
Figur 4.11: Balanseringsförluster för en ovan montör som arbetar i MTM 50-takt och behöver 200% av cykeltiden. Förlusterna illustrerar fallen att montören arbetar på olika monteringsstationer.

Ledtiderna redovisas i figur 4.12. Ledtiderna för de olika modellerna sänks mellan 57,62-65,39 sekunder i medel för den optimala lösningen jämfört med de försöken då linan inte balanseras om, och mellan 56,2-61,97 sekunder i medianavvikelse. Samma resonemang kring variationen kan föras för ledtider som för balanseringsförlusterna, vilket gör att medelvärdet är en bra jämförelsefaktor. Det syns en tydlig minskning av ledtiderna för den optimala balanseringen kontra när en ombalansering inte är gjord.



Figur 4.12: Ledtider för en ovan montör som arbetar i MTM 50-takt och behöver 200% av cykeltiden. Tiderna illustreras för när montören är på de olika stationerna.

Antalet möjliga enheter att producera redovisas i figur 4.13. Antalet möjliga enheter att producera under en arbetsdag på åtta timmar höjs mellan 441-484 st i medel och mellan 426-501 st i medianavvikelse för den optimala lösningen gjort i Casat jämfört med de försök då linan inte balanserats om. Antalet enheter som är möjliga att producera fördubblas nästintill om linan balanseras om optimalt i Casat jämfört med om den inte balanseras om alls när en ovan montör med behov av 200% av cykeltiden befinner sig på monteringslinan.

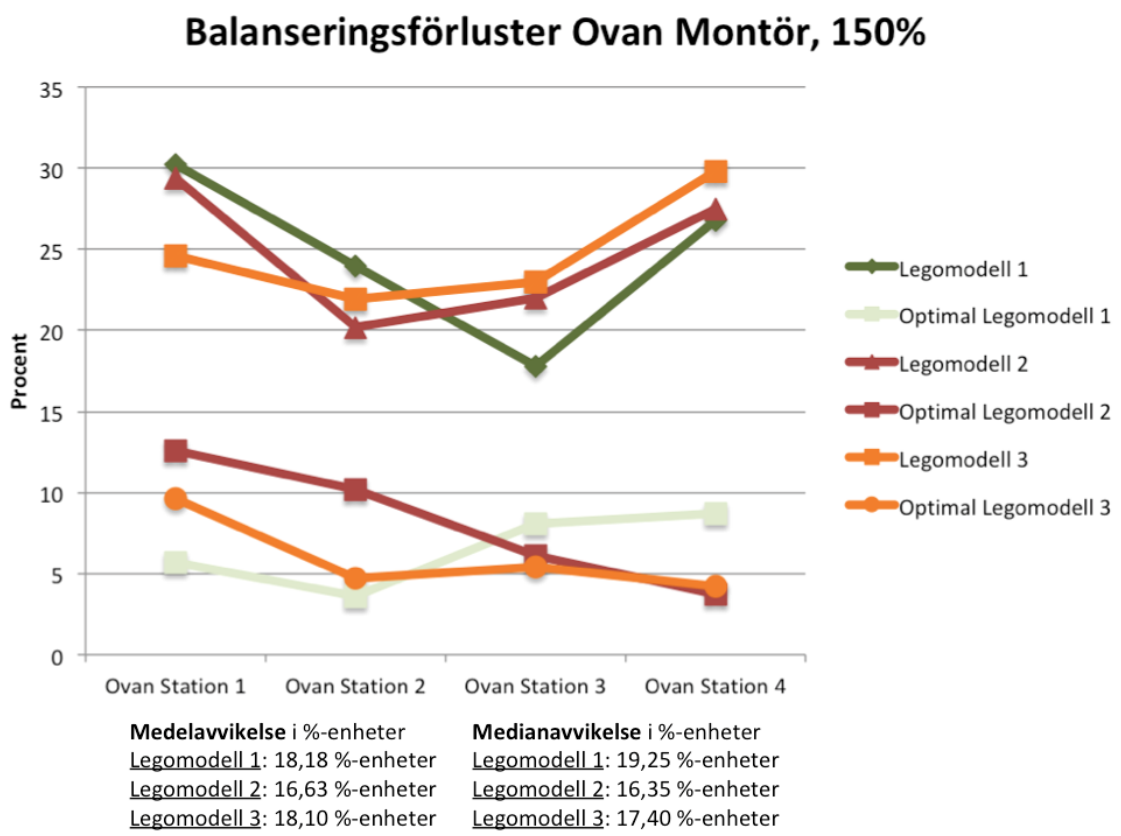


Figur 4.13: Antalet enheter möjliga att producera på åtta timmar, för en ovan montör som arbetar i MTM 50-takt och behöver 200% av cykeltiden. Antalet illustreras för när den ovana montören är på de olika stationerna.

4.3.2.2 Ovan montör behöver 150% av cykeltiden

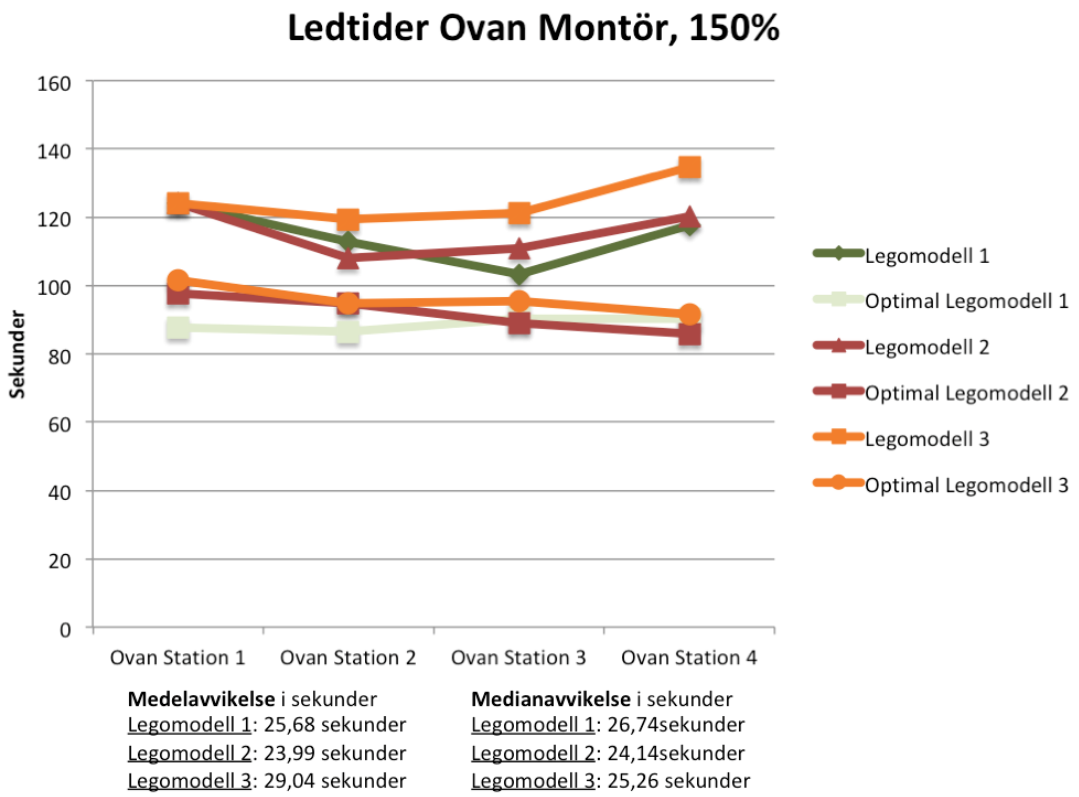
Resultaten för en ovan montör som arbetar i MTM 75-takt och som behöver 150% cykeltiden redovisas nedan i figur 4.14-4.16. Balanseringsförlusterna redovisas i figur 4.14. Balanseringsförlusterna för de olika modellerna sänks mellan 16,63-18,18 procentenheter i medel för den optimala lösningen jämfört med de försöken då linan inte balanseras om, och 16,35-19,25 procentenheter i medianavvikelse. Balanseringsförlusterna varierar, likt testet med 200% av cykeltiden, beroende på vilken station den ovana montören arbetar på. Avvikelsen för den optimala lösningen kontra ingen ombalansering är relativt jämn för de olika alternativen vilket gör att medelvärdet är en bra jämförelsefaktor. Här syns att minskningen av balanseringsförluster är något mindre för de fall då en montör behöver 150% cykeltiden jämfört med när en montör behöver 200% av cykeltiden. Resultatet är rimligt och trots att vinningen för minskningen av balanseringsförlusterna är mindre vid en prestationsnivå på 150% av cykeltiden jämfört med en på 200% anses förtjänsterna med att Casat balanserar om linan ändå vara stora.

De cykeltider som tagits från Casat för att göra de olika uträkningarna redovisas i bilaga A.4.2, och uträkningsresultaten redovisas i bilaga A.5.2.



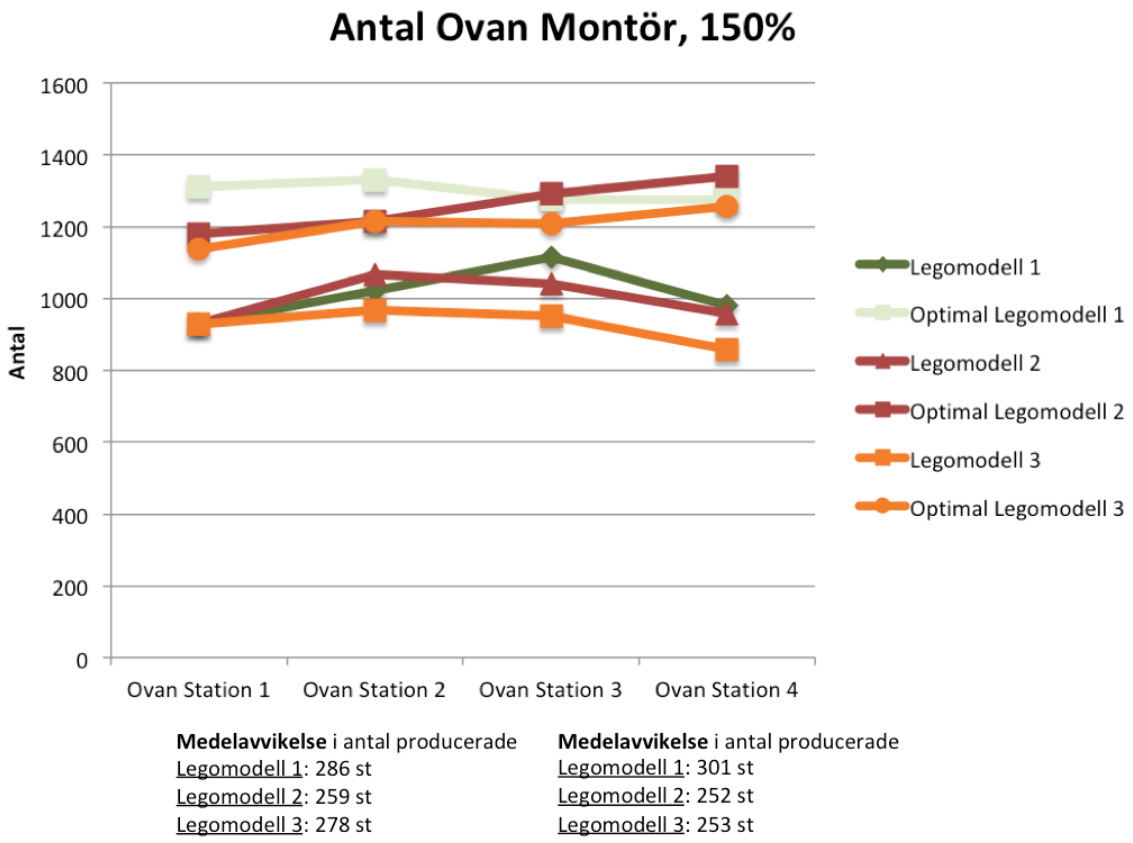
Figur 4.14: Balanseringsförluster för en ovan montör som arbetar i MTM 75-takt och som behöver 150% av cykeltiden. Förlusterna illustreras för när den ovana montören arbetar på de olika stationerna.

Ledtiderna redovisas i figur 4.15. Ledtiderna för de olika modellerna sänks mellan 23,99-29,04 sekunder i medel för den optimala lösningen jämfört med de försöken då linan inte balanseras om, och mellan 24,14-26,74 sekunder i medianavvikelse. Samma resonemang angående variationen kan föras för ledtiderna som för balanseringsförlusterna vilket gör att medelvärdet är en bra indikator för potentialen att Casat balanserar om linan. Digramet visas tydligt på att skillnaden mellan den optimala balanseringen och den balansering då linan inte balanseras om blir mindre när montören behöver 150% av cykeltiden kontra den när montören behöver 200%.



Figur 4.15: Ledtider för en ovan montör som arbetar i MTM 75-takt och som behöver 150% av cykeltiden. Tiderna illustreras för när den ovana montören är på de olika stationerna.

Antalet enheter möjliga att producera redovisas i figur 4.16. Antalet enheter möjliga att producera under en arbetsdag på åtta timmar höjs i medel mellan 259-286 st för optimallösningen jämfört med de försöken då linan inte balanseras om, och mellan 252-301 st i medianavvikelse. Antalet producerade enheter kan höjas med ungefär 15% för alla tre modeller om Casat balanserar om linan. Förbättringen för balanseringen är inte lika stor för en ovan montör som monterar på 150% av cykeltiden jämfört med samma beräkning för 200% av cykeltiden, resultaten pekar dock fortfarande på en produktivitetsökning om det görs en ombalansering av monteringslinan i Casat.



Figur 4.16: Antalet enheter möjliga att producera på åtta timmar, för en ovan montör som arbetar i MTM 75-takt och som behöver 150% av cykeltiden. Antalet illustreras för när montören är på de olika stationerna.

4.3.3 Sammanfattning av testresultaten

Vid första anblick blir det tydligt att balanseringsförlusterna vid ombalanseringsbedömningarna, då antalet montörer varierar, i genomsnitt blir mycket högre än för den optimala balanseringen. Det här leder i sin tur till längre ledtider och färre producerade enheter. Vissa av försöken visar dock att det går att balansera om linan och hitta den optimala balanseringen med ombalanseringbedömningar, vilket skedde tre gånger av åtta i ett försök för legomodell 1, se figur 4.5. Att ombalanseringsbedömningarna ledde till en optimal balansering var snarare ett undantag än regel. Det kan därför konstateras att de skulle vara fördelaktigt om Casat gör denna ombalansering automatisk, sett till resultaten i testerna. En sådan automatisk balansering skulle innebära sparad tid samtidigt som den säkerställer att den optimala balanseringen används.

För ombalansering vid olika prestationsnivåer kan det konstateras att förlusterna blir stora om linan inte balanseras om då en ovan montör befinner sig på linan. Då figur 4.12 studerar observeras att ledtiderna går från cirka 160 sekunder till cirka 100 sekunder då linan balanseras med hänsyn till en ovan montör som arbetar i MTM 50-takt och således behöver 200% av cykeltiden. Det visar att det finns mycket stor potential i att Casat balanserar om linan för att anpassa den efter montörernas olika

prestationsnivåer, framförallt då montören är i inlärningsfasen.

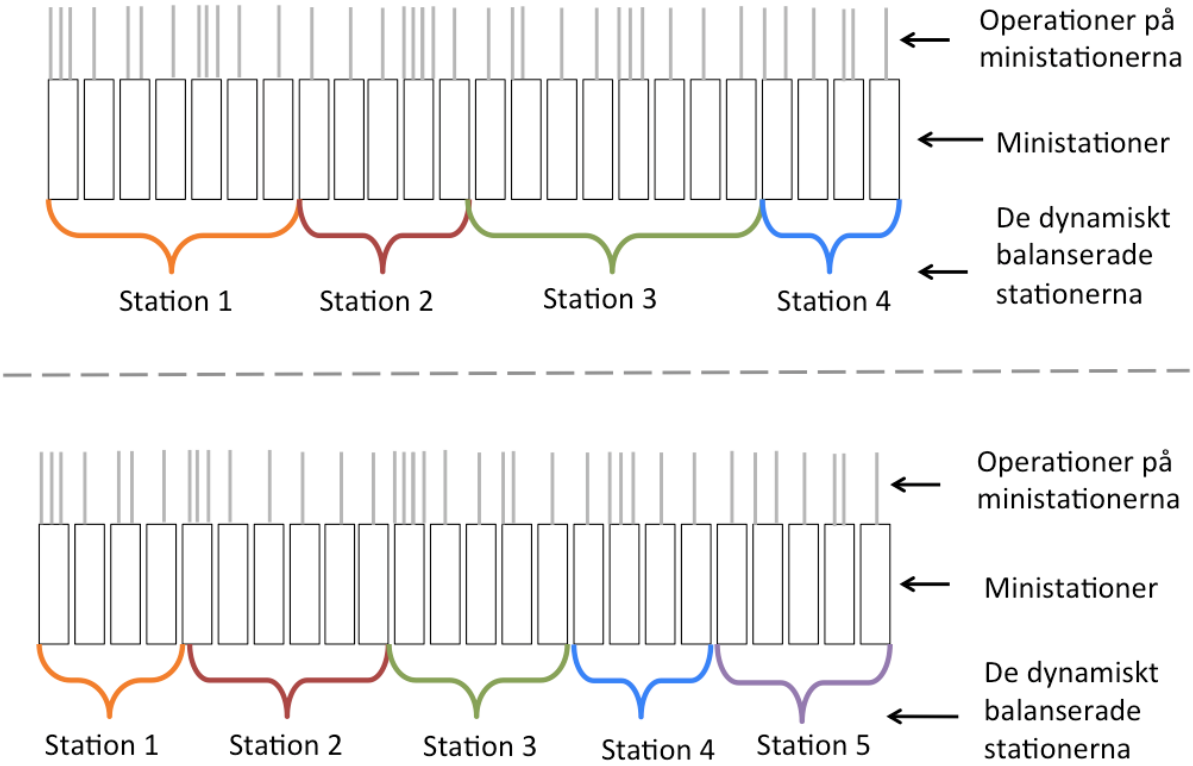
4.4 Framtagning av konceptförslag

Det kan konstateras att en uppdatering av Casat är aktuell och ett koncept för hur Casat kan uppdateras har därför tagits fram. Från idégenereringen till konceptförslaget blev resultatet det koncept som presenteras nedan. Då dynamisk balansering tillämpas och stationsgränserna inte längre är statiska uppstår problematik kring hur materialförsörjningen kan lösas i fabriken. Därför presenteras först en lösning på hur materialförsörjningen kan fungera. Utifrån denna lösning presenteras sedan konceptförslaget i Casat.

4.4.1 Konceptförslaget i praktiken

För att kunna genomföra en dynamisk balansering behöver aktiviteter kunna flyttas mellan monteringsstationer för att anpassa stationerna efter vilka resurser som finns tillgängliga för dagen, exempelvis hur många montörer som finns tillgängliga. Då aktiviteter flyttas mellan stationer uppstår ett stort logistiskt problem, nämligen hur materialförsörjningen påverkas. Om det vid varje ombalansering av linan behöver flyttas verktyg och material i fabriken för att anpassa till de nya stationerna finns det en risk att möjligheterna för en produktivitetsökning minskar om förflyttningen blir för omfattande och tidskrävande. Därför presenteras här nedan ett konceptförslag som löser det logistiska problemet.

Monteringslinan är omgjord och är nu uppbyggd av så kallade ministationer. En ministation motsvarar en aktivitet i Casat. Aktiviteten i sig består av en eller flera operationer, se figur 4.17. Operationerna befinner sig på samma ministation eftersom de av någon orsak är olämpliga att dela på, exempelvis kan användande av samma verktyg eller fixtur för flera operationer i följd göra att operationerna anses mindre lämpliga att separera.



Figur 4.17: Ministationer vid samma monteringslina som genom två olika dynamiska balanseringar bildar fyra respektive fem övergripande stationer.

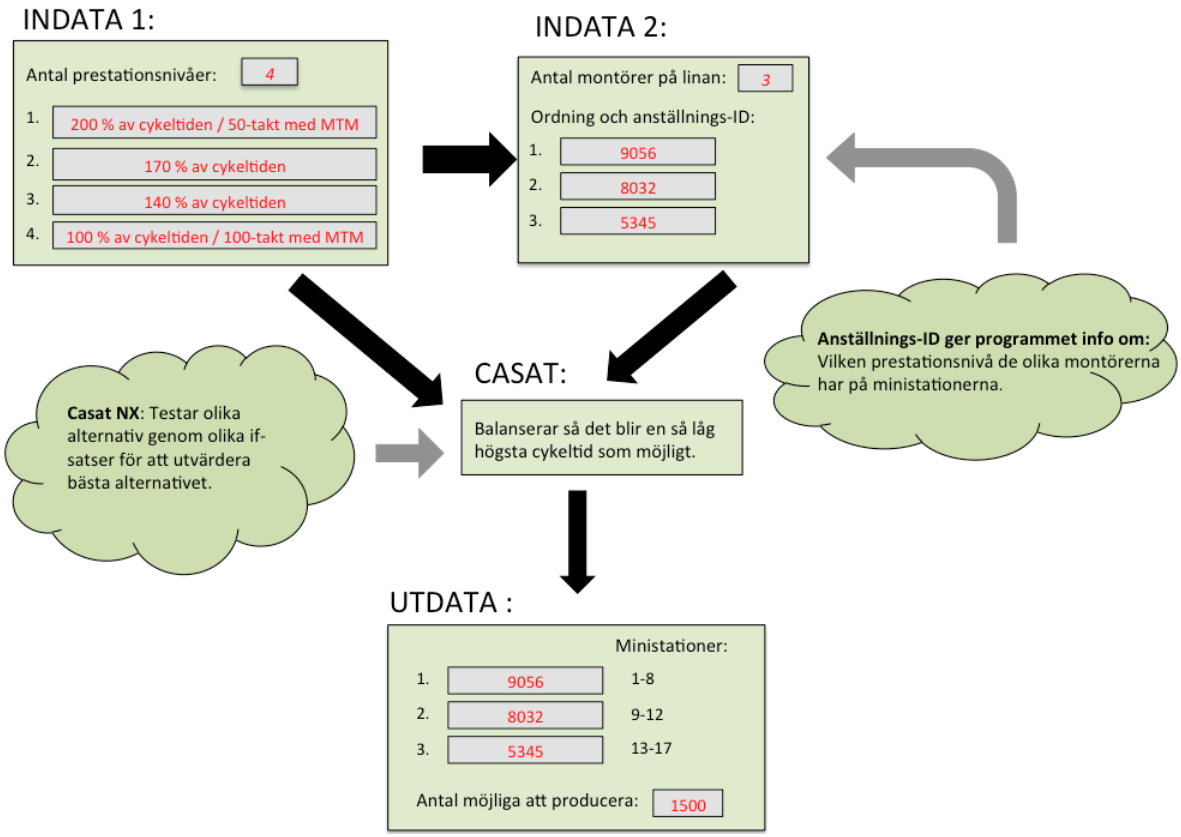
Beroende på antal montörer på monteringslinan och deras prestationsnivåer kommer ministationerna slås ihop till olika ansvarsområden som blir de monteringsstationer som kommer att användas på linan. Denna ihopslagning sker i Casat och hur algoritmen ser ut presenteras senare i texten. Monteringsstationerna blir således lika många till antalet som det finns tillgängliga montörer. Med andra ord är ministationerna och de operationer ministationerna är uppbyggda av bestående över tid och den dynamiska balanseringen består i att ministationerna slås ihop till olika konstellationer, stationer, beroende på tillgång på montörer samt deras prestationssnivåer. I figur 4.17 är den övre balanseringen gjord för fyra montörer medans den undre är avsedd för fem montörer, på så sätt blir balanseringen olika beroende på hur många och vilka montörer som arbetar på linan.

Tanken med att dela upp linan i ministationer är, som tidigare beskrivet, för att underlätta materialförsörjningen till linan. Med ministationer kommer material och verktyg inte behöva flyttas fram och tillbaka mellan olika stationer beroende på hur balanseringen ser ut, utan flödet av material till linan kommer se likadant ut oavsett balansering. Det här ses som en fördel eftersom det löser det komplexa logistiska arbetet med materialförsörjningen till monteringslinan.

Arbetsstycket, produkten vilken monteringen sker på, kommer röra sig mellan ministationerna antingen på AGVer eller på någon form av transportband. Det krav som metoden för förflyttning måste uppfylla är att arbetsstycket ska kunna befinna sig på samtliga ministationer längs linan.

4.4.2 Konceptförslaget i Casat

Konceptförslaget innehåller inte bara förändringar av den fysiska monteringslinan. En stor del av förändringarna kommer ske i Casat eftersom Casat är den programvara som beräknar hur balanseringen kommer se ut. I figur 4.18 visualiseras och beskrivs hur det är tänkt att programvaran ska fungera.



Figur 4.18: Visualisering av konceptförslaget med indata till och utdata från Casat.

Alla anställda montörers monteringsfärdighet noteras och de delas in i olika prestationsnivåer beroende på hur snabba de är. Prestationsnivåerna registreras på montörens anställnings-ID. Prestationsnivåerna är baserade på hur många procent av cykeltiden en montör behöver för att utföra arbete, exempelvis 200%, 170%, 140% och 100%. Detta kan också räknas i MTM-takt som är ett annat sätt att räkna ut normtider för olika monteringssekvenser, där 200% av cykeltiden motsvaras av MTM 50-takt och 100% av cykeltiden skulle motsvara MTM 100-takt. Här är tanken att företaget får besluta hur många nivåer de vill ha samt vilka procentuella gränser

de ska bestå av. Antal prestationsnivåer samt procentgränser blir indata 1 till Casat, denna indata skrivs in i Casat vid ett tillfälle och ska inte behöva uppdateras kontinuerligt. När en montör är ny börjar hen på den lägsta prestationsnivån, den med högst procentsats av monteringstiden, för att sedan, med mer arbetserfarenhet, avancera till högre nivåer och således lägre procentsatser av monteringstiden. Värt att notera är att procentsatsen av monteringstiden blir ett pålägg på den ordinarie monteringstiden, exempelvis kan en helt ny montör behöva 200% av cykeltiden vilket alltså blir det dubbla av den ordinarie monteringstiden. Tidtagningen sköts av Casat och när en montör arbetar tillräckligt snabbt för att uppnå en ny prestationsnivå registreras det på hens anställnings-ID. En montör kan således vara på olika prestationsnivåer på olika ministationer.

Indata 2 till Casat är antal montörer som ska arbeta på linan. Indata i Casat är deras ID-nummer där prestationsnivåerna finns lagrade samt i vilken ordning de ska arbeta på linan. Eftersom tillgängliga montörer kan variera på grund av exempelvis sjukdom behöver den indatan till Casat uppdateras inför varje ny balansering som ska göras. Varför montörsordningen är viktig att registrera är för att inte samma montör alltid skall placeras på samma station av Casat.

När Casat fått indatan gör programmet en första balansering genom att fördela antalet ministationer jämnt över antalet montörer som finns tillgängliga, detta görs för att få en balansering att utgå ifrån. Denna balansering är inte optimal eftersom de olika ministationerna tar olika lång tid och således blir cykeltiderna ojämna. Utifrån denna första balansering flyttas sedan ministationer, alltså aktiviteter i Casat, systematiskt från den station med högst cykeltid till den station i direkt anslutning som har lägst cykeltid. Efter varje förändring som systemet gör, det vill säga förflyttning av en ministation, beräknar Casat på nytt fram balanseringen för hela linan och de nya cykeltiderna för respektive station. Föregående balansberäkning jämförs med den nya beräkningen, och den balansering som har så låg högsta cykeltid som möjligt, och därmed ger lägst balanseringsförluster av de båda, sparas i beräkningsminnet för ytterliggare loopar och beräkningar då fler eller andra ministationer förflyttas mellan de olika stationerna. Varför så låg högsta cykeltid som möjligt är önskvärd är för att det leder till den balansering som har lägst balanseringsförluster. Denna beräkningsloop pågår tills dess att Casat funnit den lägsta möjliga balanseringsförlusten. Utifrån det presenterar sedan Casat vilka ministationer som utgör en övergripande station och vilken montör som ska arbeta på stationen. Casat visar även hur många produkter som är möjliga att producera på en arbetsdag med åtta timmars arbetstid med den aktuella balanseringen.

4.4.3 Validering av konceptet

Konceptet som har beskrivits ovan har även stämts av och presenterats för både en produktchef på MVV Information Technology och en produktionstekniker på Volvo Penta. Vid presentationerna ställdes också intervjuliknande frågor för att validera konceptet, metoden för avstämningen presenterades tidigare i stycke 3.3.2. Syftet var att få fram vad de anställda vid MVV Information Technology och Volvo Penta

tycker om konceptet och ifall de tror att det skulle gå att implementera i verklig produktion. Både produktchefen och produktionsteknikern tyckte om konceptet och tror att idéen skulle gå att implementera i Casat respektive i verklig produktion.

Vid avstämningen tillfrågades produktchefen vid MVV Information Technology mer om frågor kopplade till Casat och huruvida förändringen skulle gå att genomföra i programmet så som var tänkt, medans produktionsteknikern från Volvo Penta utfrågades mer om den praktiska tillämpningen i fabriken. Produktchefen vid MVV Information Technology menar på att Casat har förutsättningar för att kunna lagra historiska cykeltider på montörers anställnings-ID för att kunna dela in dem i olika prestationsnivåer samt att indelningen av ministationer inte skulle vara ett större problem då de motsvarar en aktivitet i Casat. Produktionsteknikern vid Volvo Penta ser positivt på att monteringslinan görs om till ministationer samt att inga materialställ eller likvärdigt ska behöva flyttas under dagen. Båda parterna var således positiva till att förändringarna skulle gå att implementera i Casat respektive produktionen och såg inga direkta nackdelar med konceptet under valideringen.

4.4.4 Nödvändiga förändringar i produktionen hos Volvo Penta

Om Casat utvecklas utifrån det koncept som tagits fram i projektet kommer det, vid implementation på Volvo Penta, krävas vissa förändringar i den nuvarande fabriken. De nödvändiga förändringar som beskrivs nedan kan användas som ledning vid planering av nyinvesteringar och investeringskalkyler hos Volvo Penta.

Som ett första steg behöver de nuvarande monterinsstationerna brytas upp. Monteringslinan behöver sedan byggas upp på nytt som tätt stående ministationer. Montörerna, som i nuläget följer med motorerna de arbetar med längs med monteringslinan, behöver vara faststationerade på ministationerna. Även AGVerna som för motorerna framåt längs linan kan behöva anpassas efter det nya arbetssättet, exempelvis till nya rutter.

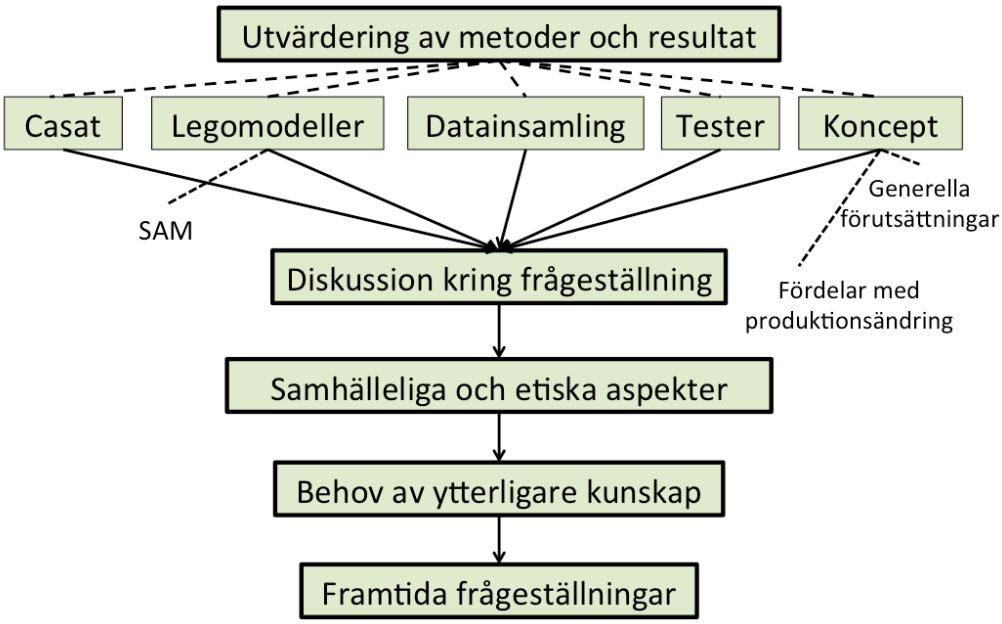
Vidare behöver placeringen av material som används i monteringen ses över. Materialfasaderna behöver anpassas så att materialet som behövs för montering på respektive ministation finns i direkt anslutning och är tillgängligt oavsett vilka stationsgränser den dynamiska balanseringen resulterat i.

De dynamiska stationsgränserna påverkar även fördelningen av verktyg och eventuella fixturer längs monteringslinan. Exempelvis kan ett och samma verktyg behöva användas på två på varanda följande ministationer längs linan. I ett utfall av den dynamiska balanseringen kan ministationerna ingå i samma överordnade station. I ett annat utfall kan den dynamiska stationsgränsen vara mellan just dessa två ministationerna. Det ger i första fallet att enbart ett exemplar av verktyget krävs på en av ministationerna för att genomföra arbetet. I det andra fallet krävs att verktyget finns på båda ministationerna eftersom verktyget kan behöva användas av två olika montörer på två olika stationer samtidigt. Planering för verktygsplacering, och i

vissa fall även materialplacering, kan utifrån ovanstående exempel bli komplex. Placering och fördelning av verktyg och material är därför viktig att ta hänsyn till vid utformning av linan. Investering i fler och/eller trådlösa verktyg för ökad flexibilitet kan behövas för att lösa problematiken.

5
DISKUSSION

I följande kapitel kommer en diskussion av hela projektet föras. Innehållet i kapitlet finns illustrerat i figur 5.1. Först utvärderas de metoder som använts samt de resultat som tagits fram i projektet. De underrubriker som kommer diskuteras här är: Casat, legomodeller och tillhörande SAM-analys, datainsamlingen, testerna som utförts samt konceptet, de generella förutsättningarna som konceptet kräver och de fördelar en produktionsändring innebär. Efter att metoderna och resultaten utvärderats kommer de frågeställningar som presenterades i inledningen av rapporten att diskuteras. Sedan presenteras de samhälleliga och etiska aspekter som projektet berör. Vilka ytterligare kunskaper som hade varit fördelaktiga för projektgruppen att besitta diskuteras sedan och avslutningsvis presenteras och diskuteras de framtida frågeställningar som projektet genererat.



Figur 5.1: Illustering av diskussionskapitlets innehåll.

5.1 Utvärdering av metoder och resultat

Under projektets gång har en mängd olika metoder använts för bland annat datainsamling, utförande av modellbygge, tester och beräkningar. För att förenkla och begränsa arbetet har dessutom många antaganden gjorts. Utifrån valda arbetsme-

toder, avgränsningar och gjorda antaganden har resultat, presenterade i kapitel 4, erhållits. I detta avsnitt diskuteras för- och nackdelar med de metoder som är valda och som arbetet bygger på. Det görs även en utvärdering av resultaten där det diskuteras hur tillförlitliga resultaten är baserat på den arbetsmetod som har valts att användas.

5.1.1 Användning av Casat

Casat är en av flera programvaror i dagens industri som hanterar balansering. Eftersom projektet utgår från en frågeställning huruvida Casat kan utvecklas som programvara så behöver arbetet således göras i Casat, trots att andra programvaror finns. Arbetet är anpassat och utvecklat efter Casat med hänsyn till hur det ser ut idag. Dock är programmet just nu i en uppdateringsfas och MVV släpper inom kort en ny programversion. Förändringarna i programuppdateringen kommer troligtvis inte påverka eller förändra förutsättningarna för det framtagna konceptet.

5.1.2 Legomodeller

I projektet användes legomodeller som har byggts upp i ett produktionslaboratorium för att utgöra exempel på verklig montering i produktion. Fördelarna med legomodellering är att det är ett enkelt och billigt modelleringsalternativ och att materialet dessutom är återanvändbart då det möjliggör okomplicerad demontering.

En fråga som däremot är värd att beröra är hur representativ en legomodell är för verklig produktion i industrin. Legomodeller är inte ett realistiskt substitut för all typ av montering. Sett till detaljmontering där små enheter sammanfogas framförallt med handkraft så finns det stora likheter med legomontering. Men om jämförelse görs med montering av större monteringsobjekt, exempelvis en lastbil, så är legomodeller betydligt mindre representativt. I detta projekt har legomodeller varit substitut för båtmotorer vilket vid första anblick verkar vara en dålig matchning. Då legomodellerna ska representera motorerna på monteringslinan där relativt små detaljer monteras så är legomodellerna någorlunda representativa. På monteringslinan vid Volvo Penta är tillgängligheten till verktyg en central faktor att ta hänsyn till vid balansering. Vid legomontering används inga verktyg vilket innebär att denna aspekten helt förbises då liknelse med Volvo Pentas produktion ska göras med legomodellerna. Verktygsproblemet på Volvo Penta är dock ett problem som ändå, trots att legomodellerna saknar denna aspekten, har tagits i beaktande vid konceptframtagningen. Lösningen blir då att ministationerna byggs upp så att verktyg alltid finns tillgängliga vid montering.

Monteringslinan har balanserats för legomodellerna. Dock är denna balansering gjord separat för de tre olika legomodellerna. Det har med andra ord inte tagits hänsyn till att samma aktivitet bör utföras på samma station för de olika modellerna. I ett verkligt fall tar man hänsyn till detta, t.ex. att en viss detalj alltid sätts på vid samma station. Resultatet av detta blir att det kan betraktas som tre olika monteringslinor med legomodeller, en för varje legomodell.

5.1.2.1 SAM-analys

Den SAM-analys som gjorts för att uppskatta tiden för de olika aktiviteterna är inte fullständig då det i projektet saknas fullständig kunskap om SAM-analys. Då monteringen testades praktiskt stämde inte den uppskattade tiden från SAM-analysen exakt med den uppmätta tiden. Det här påverkade dock inte uträkningarna som gjorts i testerna och följaktligen inte heller resultatet av dem. Det viktiga var att ge operationerna i monteringen en tid för att kunna räkna på dem, huruvida den tiden stämde med verkligheten var inte lika viktigt. Det påverkar inte resultatet eftersom både den optimala balanseringen och den lösning som gjorts med annat balanseringsalternativ i testerna har utgått från samma SAM-analys vilket gör att deras jämförelse sinsemellan ändå blir korrekt. Att göra en mer exakt SAM-analys prioriterades därför bort eftersom det skulle ta mycket tid samtidigt som det inte skulle tillföra mycket för projektet.

5.1.3 Datainsamling

Slutkonceptet som presenterats i rapporten bygger på resultaten från testerna som genomförts. Testerna i sin tur bygger på resultatet av den datainsamling som gjorts. Datainsamlingen består, som tidigare nämnts, till största delen av den intervju som genomförts. Resultatet av intervjun kan ha påverkats av många aspekter. En aspekt är vilka frågor som ställts under intervjun, intervjun eftersträvades att vara semistrukturerad med öppna och breda frågor i början och sedan mer precisa och ingående frågor efter hand, men hur väl denna strävan har lyckats har dock inte mätts eller analyserats. Med andra ord hade annan data kunnat insamlas om andra frågor ställts. En annan aspekt som kan ha påverkat resultatet är vem som har valts att intervjuas. Eftersom olika personer har varierande åsikter och erfarenheter kommer även svaren variera beroende på vem som svarar. Då datan i detta projekt enbart bygger på svar från två anställda vid Volvo Penta kan datan vara vinklad, hade en större och mer generell bild velat fås hade ännu fler anställda och fler företag kunnat intervjuas. En sista aspekt som spelar in är hur svaren från de intervjuade har tolkats. Detta ses dock som den aspekt som påverkat minst på grund av att det var fyra stycken från projektgruppen närvarande vid intervjun och på så sätt har alla fyra hört samma svar och då tolkat svaren tillsammans.

5.1.4 Testerna för att avgöra potentialen för dynamisk balansering

Testerna som utförts under projektet har i huvudsak utgått från data given av Volvo Penta och deras tillvägagångssätt vid ombalansering om förutsättningarna på linan förändras. Detta gör att det inte är säkert att resultaten från de två genomförda testerna är representativa för alla produktionsföretag. Skulle det vara önskvärt att projektet utvecklas för att vara mer representativt för flera företag så skulle fler produktionsföretag kunna intervjuas för att ge en bredare bild över vilka olika handlingsalternativ de använder vid ombalansering av produktionslinan.

Det första testet utgick från Volvo Pentas metod vid ombalansering till fler eller färre montörer. Deras metod är att montörerna själva gör en uppskattning baserat på den kunskap de har om produktionens olika delar och arbetsuppgifterna fördelas därefter. Denna metod är svår att mäta i exakta siffror, vilket gör det svårt att direkt avspegla och använda handlingssättet i projektets tester. I det första testet som genomfördes i projektet fick fyra testmontörer lära sig att montera de tre olika legomodellerna för att kunna få kunskap om dem, i termer av hur lång tid olika monteringsmoment tar att utföra, inför att de senare skulle göra ombalanseringbedömningarna. Då projektet har en tidsbegränsning kunde inte testmontörena montera under en längre tid, utan den tid de fick för att lära sig monteringen var begränsad. Den begränsade tiden ansågs ändå tillräckligt just för legomodellerna då modellerna är relativt okomplexa. Montörerna på Volvo Penta har ofta monterat produkten under flera år så det finns en risk att de ombalanseringsbedömningar som görs i testerna inte avspeglar verkligheten hos Volvo Penta fullt ut, då montörerna på Volvo Penta har mer kunskap och erfarenhet om sina båtmotorer än projektets testpersoner har om sina legomodeller. Som testerna, i resultatdelen, utvisar så är ombalanseringsbedömningar baserade på erfarenhet inte en tillförlitlig ombalanseringsmetod då de endast vid enstaka tillfällen träffar den optimala balanseringen som gjorts i Casat, med andra ord blir den erfarenhetsmässiga bedömningen i regel långt ifrån den optimala. Resultaten från testet visar på den ojämnhet som uppstår mellan de två aktuella sätten att balansera om linan på. Resultaten är mer till för att visa den osäkerhet som finns i dagens ombalanseringsmetod än att presentera exakta siffror på hur mycket de olika balanseringssätten skiljer sig åt. Därför kan det ändå anses att resultaten från testet är tillförlitliga.

Det andra testet baserades på Volvo Pentas uppgifter kring inlärningstider för en ny montör på monteringslinan och deras uppskattningar på hur mycket längre tid det tar för dem att montera. Testet är också baserat på Volvo Pentas metod att inte balansera om alls när en ny montör befinner sig på linan. Skulle linan balanseras om när en ovan montör befinner sig på linan genom ombalanseringsbedömningar, likt första testet, så skulle kanske ett annat resultat fås. Det är inte säkert huruvida andra företag balanserar om linan beroende på prestationsnivåer då det är något som inte har studerats i detta projekt. I det andra testet testades enbart två typer av prestationsnivåer. Hade testet beaktat fler nivåer skulle det kanske också gett ett annat resultat. På Volvo Penta monteras väldigt komplicerade produkter med många detaljer, med det sagt är det inte säkert att montering av enklare produkter som har kortare inlärningstider, än Volvo Penta, sparar lika mycket på att en optimal balansering av linan görs i Casat. Det skulle därför behöva göras investeringskalkyler för den produktionslina som är aktuell för implementering för att se om just det företaget skulle tjäna på förändringen.

5.1.5 Konceptet

Dynamisk balansering är brett som begrepp och kan förverkligas på många olika sätt. Konceptförslaget som är framtaget i detta projekt har fokus på människan i

fabriken och bygger på den idégenerering som togs fram inom projektgruppen utifrån vilken utdata som var önskvärd från Casat och vilken indata som krävdes för att få önskad utdata. Resultatet bygger således på de faktorer som projektgruppen har valt att avgränsa arbetet till och de aspekter som projektgruppen anser är rimliga att ta hänsyn till. Det betyder att konceptet för dynamisk balansering i produktion hade kunnat se helt annorlunda ut om arbetet hade haft ett annat fokus, exempelvis på maskiner och deras störningskänslighet på monteringslinan.

En fråga som uppstått är vilka aspekter som har störst inverkan på monteringslinan och dess produktivitet, det vill säga vilka faktorer bör undersökas för att en dynamisk balansering ska ge så stor vinning som möjligt? I samband med projektets idégenerering kunde det ha varit bra att diskutera denna fråga med någon mer kunnig inom området för att underbygga valet av aspekter som projektgruppen beslutade sig för att fokusera på. Dessutom hade projektgruppen kunnat arbeta fram fler lösningsförslag till konceptet så att olika förslag hade kunnat jämföras och utvärderas mot varandra. Fler än ett lösningsalternativ har diskuterats under konceptets idégenerering, dock hade dessa kunnat utvärderats mer systematiskt. Vidare hade fler aspekter som berör dynamisk balansering kunnat tas hänsyn till och fler funktioner i Casat hade kunnat arbetas fram om projektet hade pågått under längre tid.

I lösningsförslaget som tagits fram står ministationerna i centrum. Ministationerna utgör lösningen för att den dynamiska balanseringen ska vara möjlig utifrån materialhantering och fördelningen av arbete längs monteringslinan för att få en jämn balansering vid olika montörssituationer. Konceptetlösningen för den dynamiska balanseringen bidrar i teorin till högre produktivitet på monteringslinan, och en fördel med att Casat utför beräkningsarbetet själv är att mycket planeringstid sparas in jämfört med om balanseringen skulle göras manuellt. En dynamisk balansering gjord i Casat har även fördelen att snabba ombalanseringar kan göras mer sakligt och utan den mänskliga faktorn inblandad. Oavsett om automatisk, dynamisk balansering används i ett produktionssystem eller inte, är det troligtvis fördelaktigt att ha ett standardiserat sätt att ombalansera monteringslinan på. Det gör att balanseringen inte görs slumpmässigt efter olika personers erfarenhetsmässiga bedömningar som i mångt och mycket är osäkra och bygger på vad personen som gör ombalanseringen tycker, känner och tror.

En nackdel med den dynamiska balanseringen och konceptförslaget är dock att balanseringen på linan skiftar och ser olika ut vilket kan skapa förvirring hos montörerna på monteringslinan. Hur montörerna själva påverkas av förändringen på monteringslinan diskuteras vidare under avsnitt 5.3.

5.1.5.1 Generella förutsättninger för dynamisk balansering i Casat

Under projektet användes Volvo Penta som referensföretag och antagandet har gjorts att alla företag är mer eller mindre lika Volvo Penta. Därför har också de förändringar som är nödvändiga för att implementera Casat i verklig produktion tidigare, även de, utgått från Volvo Penta. Nedan presenteras de förutsättningar som gäller generellt för att dynamisk balansering i Casat ska kunna implementeras. Detta är

förutsättningar som vilken fabrik som helst som önskar implementera dynamisk balansering i Casat behöver uppfylla. Värt att poängtera är att dessa är spekulationer samt diskussioner från projektgruppen då den enda verkliga produktion som fåtts inblick i har varit Volvo Penta.

För att implementering av Casat ska vara möjlig i produktion mer generellt bygger det på att monteringslinan och de värdeadderande aktiviteterna som ska utföras på arbetsstycket är uppdelade i ministationer. Dessa ministationer måste skapas i Casat och även korrelera med den fysiska linjelayouten i fabriken. Vidare kräver lösningsförslaget för den dynamiska balanseringen att montörers prestationsnivåer loggas på deras anställnings-ID och att deras monteringstid på de olika ministationerna längs linan loggas. Införandet av ministationer kräver att särskild planering av material- och verktygsplacering görs så att det på ett ekonomiskt och smidigt sätt anpassas till monteringslinan. För att den dynamiska balanseringen ska gå att genomföra på bästa sätt är det slutligen nödvändigt att montörer, arbetsledare, produktionstekniker och andra människor som arbetar i anslutning till den dynamiska monteringslinan har ett flexibelt arbetssätt.

5.1.5.2 Fördelar med en produktionsändring

En fördel som en implementering av dynamisk balansering i Casat leder till är att programvaran kommer göra mycket av produktionsteknikers beräkningsarbete automatiskt. Med lite indata från produktionstekniker, exempelvis antal tillgängliga montörer, kan Casat själv utföra komplexa beräkningar. Programvaran kan sedan ange hur många enheter som kan produceras med tillgänglig personal samt hur monteringslinan bör balanseras. Vidare anger systemet utifrån antal montörer och deras prestationsnivåer vem som ska arbeta var på monteringslinan och vilka ministationer, det vill säga vilket ansvarsområde, varje montör arbetar på. Dessutom lagrar programvaran data över vilka stationer en montör har eller inte har arbetat på förut samt hur snabba montörerna är på de olika stationerna.

Beräkningsautomationen bidrar således till minskad arbetstid för balanseringsarbetet, vilket leder till att det blir mer ekonomiskt försvarbart att balansera om monteringslinan oftare. Implementering av dynamisk balansering i Casat bidrar även till att brister från erfarenhetsmässiga bedömningar, så kallade ombalanseringsbedömningar, från arbetsledare kan minskas.

5.2 Diskussion kring frågeställningar

Tre stycken frågeställningar presenterades i inledningen kapitel 1.3.

1. Den första av dessa var huruvida en dynamiska balansering av en produktionslina skulle öka effektiviteten på linan i form av mindre balanseringsförluster, kortare ledtider och fler antal enheter som går att producera. Efter de tester som utförts i projektet kan det konstateras att effektiviteten på produktions-

linan kan ökas med en dynamisk balansering. Detta då test 1 visar på att det på ett säkrare sätt går att få en optimal balansering när Casat balanserarar om linan än när ombalanseringen görs med ombalanseringsbedömningar från montörer. Det går också att konstatera från test 2 att en ombalansering i Casat ökar effektiviteten på linan. Uträkningarna i test 2 är dock, som tidigare nämnt, anpassade efter inlärningen på Volvo Penta vilket betyder att det kan skilja från företag till företag hur mycket de tjänar på att göra en ombalansering i Casat. Detta innebär att för att kunna svara helt klart på frågan om det innebär en effektivisering för företaget så skulle investeringskalkyler behöva göras på den fabrik som önskar implementera dynamisk balansering.

2. Den andra frågeställningen avser vad som krävs för att en utveckling av Casat ska kunna utföras dynamiskt. Utifrån det koncept som tagits fram i kapitel 4.4 krävs en rad uppdateringar av Casat för att programmet skall balansera om linan dynamiskt. Under kapitel 4.4 har det lyfts fram vilken indata och vilken utdata som Casat ska behandla för att kunna balansera linan optimalt. Utifrån det koncept som arbetats fram kommer ytterligare resonemang kring exakt hur Casat skall ändras i praktiken behöva tas fram. I detta projekt gjordes avgränsningen från att ta fram en slutgiltig uppdatering av programvaran då inte tillräcklig kunskap fanns om programvaran och den programmering som krävs. Detta gör att eventuella problem som upptäcks först vid implementering ännu inte har kunnat upptäckas i projektet. Konceptet som tagits fram har validerats av både personal på Volvo Penta och MVV Information Technology och ingen av dem har påpekat några nuvarande problem med konceptet som tagits fram. Detta innebär att inom den utsträckning som projektet sträcker sig kan frågeställningen anses besvarad.

3. Den tredje frågeställningen berör vilka krav som ställs på den fysiska produktionen för att implementering skulle kunna vara möjlig för uppdateringen i Casat. Detta beskrevs i kapitel 4.4.1. I projektet har en lösning i form av ministationer tagits fram för att lösa problem som uppstår med materialförsörjningen på linan. När svårigheter med en balansering som ändras från dag till dag diskuterades med Volvo Penta lyftes det huvudsakliga problemet hur materialförsörjningen till linan skulle kunna lösas. I detta projekt anses ministationerna lösa det problemet. Inga andra problem med implemetering av en dynamisk balansering har lyfts fram under projektets gång så denna frågeställning kan anses besvarad med kapitel 4.4.1 om ministationer. När en fullständig implementering av en uppdatering skall göras kan ytterligare problem uppstå men dessa har inte betraktas i detta projekt då ingen fullständig implementering var avsedd att göras.

5.3 Samhälleliga och etiska aspekter

Både positiva och negativa effekter har identifierats som relevanta för projektet där såväl människan som produktionen berörs. En förändring av programvaran Casat medför många förändringar för montörerna i deras dagliga arbete. Genom att Casat balanserar om linan efter prestationsnivåer graderas personalen utifrån hur snabba de är på att montera, detta kan leda till både positiva och negativa effekter. De negativa är att montörerna å ena sidan kan känna sig övervakade och att allt de gör kontrolleras av produktionsledningen. Det kan också vara så att de känner sig stressade att montera snabbare vilket bidrar till en inre stress, och att de åsidosätter ergonomi och bra kroppsrörelser i vissa kritiska moment. Vidare kan förändringarna leda till att kvaliteten på produkten minskar om montörerna stressar sig igenom monteringsmomenten. Å andra sidan kan det vara positivt att montörerna tilldelas en prestationsnivå, de som monterar snabbt kan känna sig mer sedda och uppskattade för sitt arbete. Huvudtanken är dock att prestationsnivåerna, förutom lägre balanseringsförluster, ska leda till mindre stress för de nya montörerna på linan. De behöver inte känna stress över att montera snabbare än vad de klarar av då linan är balanserad utifrån deras aktuella förmåga.

Hur en gradering av prestationsnivåer kommer att påverka montörerna vid linan är svårt att förutsäga. Det kan hända att det uppstår osämja mellan montörerna om de som monterar snabbt känner att de får arbeta mer än de som monterar långsammare. Detta är aspekter som är svåra att förutsäga. Beroende på hur företaget vill använda prestationsnivåerna i Casat så kan det antingen leda till mer eller mindre varierande uppgifter för montörerna. Om företaget vill satsa på att ha full optimering av linan hela tiden kommer de snabbaste montörerna troligtvis få arbeta på samma kritiska moment hela tiden, vilket leder till mindre variation för montörerna. Om företaget däremot väljer att använda Casats prestationsnivåer som en möjlighet för nya montörer att kunna placeras var som helst på linan eftersom balanseringen anpassas därefter, så kommer det att leda till mer varierande arbetsuppgifter för samtliga montörer.

Om företaget inte har efterfrågan för att täcka upp den ökade kapaciteten som linan får när optimal balansering sker, kan det leda till mindre arbetstillfällen. Det kan hända att företaget vill behålla samma kapacitet på linan och då kan antalet montörer på linan minskas när linan blir mer effektiv. Detta kan också bli en negativ aspekt för samhället om det leder till att arbetstillfällen minskar. Om Casat utvecklas så pass effektivt att det inte lägre behövs personal som jobbar med balanseringen av linan så leder det till att personalen som jobbar med balanseringen idag mister sina arbetsuppgifter. Men troligt är att om antalet tjänster minskar på linan eller i planeringen så kommer de kunna få andra arbetsuppgifter som handlar mer om utvecklingsarbete m.m.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att en utveckling av Casat skulle leda till flera olika konsekvenser för montörer, planerare och samhället. Konsekvenserna är både positiva och negativa vilket gör att det blir viktigt att hela tiden ha med per-

sonalen och samhället i åtanke i utvecklingen för att minimera risken för de negativa aspekterna.

5.4 Behov av ytterligare kunskap

Projektet resulterade i skapandet av ett konceptförslag på hur dynamisk balansering skulle kunna fungera i ett produktionssystem där Casat används som balanserings- och instruktionsverktyg. En uppdaterad mjukvara i Casat och implementering av konceptet i verklig produktion ligger utanför projektet och en bit in i framtiden. Det finns ett gap i den kunskap som projektmedlemmarna har och den kunskap som hade behövts för att fullfölja hela utvecklingsprojektet.

I projektets början gjordes en avgränsning från all programmering av mjukvaran eftersom kunskap inom området saknades. Om däremot projektgruppen hade haft programmeringskunskaper hade tankar och utvecklingsidéer kunnat testas, utvärderas och revideras under arbetets gång. Teorin för dynamisk balansering hade då kunnat testas i praktiken. Projektet hade därför troligtvis kunnat dras längre om projektgruppen hade besuttit den programeringskunskap som behövdes.

Volvo Penta har i projektet fått vara ställföreträdare för företag som sysslar med montering och produktionssystem. För att resultaten från projektet ska bli mer allmängiltiga och kunna appliceras på andra företag än just Volvo Penta krävs att man ser till produktionen på fler företag. Detta skulle gett bredare kunskap och belysa områden som varierar mellan olika företag och som det därför hade behövts tas extra hänsyn till.

Det har i projektet konstateras att implementering av dynamisk balansering skulle innebära vinning i minskade balanseringsförluster, kortare ledtider och ökat antal enheter som är möjliga att producera. Om detta påstående är allmängiltigt kan dock diskuteras. Det krävs investeringskalkylering och omfattande data om ett företags produktivitet för att att avgöra om implementering av dynamisk balansering skulle ge vinning för företaget. Det behövs exempelvis kunskap och data på hur produktionen fungerar på företaget i dagsläget, och vilka vinningar som kan förväntas i produktionen vid en implementering. Vidare behöver det göras beräkningar på de investeringar och förändringar i fabriken som behövs för att implementeringen ska vara möjlig att genomföra. Slutligen måste ett beslut tas om vinsten i produktionen överväger de kostnader som uppstår till följd av nyinvesteringar och eventuella ombyggnader i fabriken.

Det blev vid projektstart snabbt tydligt att det inom området för balansering av produktion och produktionssystem finns många aspekter att ta hänsyn till som problematiserar frågeställningarna och gör arbetet komplext. Under projektets gång har många antaganden gjorts för att förenkla problem. Viss produktionskunskap och monteringserfarenhet fanns inom projektgruppen vid projektets start, men ytterligare kunskap om vilka antaganden som är rimliga att ta och vilka aspekter som är särskilt viktiga att ta hänsyn till hade varit fördelaktigt.

Sammanfattningsvis krävs det tillgång till omfattande data om produktionssystem och dess produktivitet samt rimliga antaganden som täcker informationsluckor i arbetsprocessen. Det behövs dessutom kunskap om både programmering av Casat och hur Casat används i produktion och vid produktionsplanering för att ta hela utvecklingprojektet i mål.

5.5 Framtida frågeställningar

Då detta projekt endast varit ett första steg i utvecklingen av en automatisk, dynamisk balansering för produktionslinor finns det en rad framtida frågeställningar att besvara. En del framtida frågeställningar handlar om en fullständig implementering av det framtagna konceptet medan vissa frågeställningar kan användas senare för att utveckla dynamisk balansering ytterligare.

För att ytterligare utvärdera om en implemtering skulle vara aktuell på det företaget som önskar göra en implementering skulle en fullständig investeringskalkyl behöva göras. Detta för att utvärdera hur stora investeringskostader implemeteringen kommer innebära kontra hur mycket effektivare linan kommer att bli. Det kommer också vara aktuellt att i framtiden reda ut exakt hur programmeringen i Casat skall gå till och hur Casat ska lösa prioriteringen för optimal balansering.

När en implementeringen är gjord för att ta hänsyn till de två aspekterna som tagits upp i detta projekt, skulle programmet kunna utvecklas till att kunna ta hänsyn till ytterligare aspekter. En produktionslina är otroligt komplex och alla förutsättningar går aldrig helt att planera, vilket gör att dynamisk balansering av en produktionslina kan utvecklas i all oändlighet. Det skulle också gå att utveckla Casat så att utdatan och indatan i systemet varierar. I det framtagna konceptet är indatan tänkt att vara antal montörer, och således blir antal enheter som går att producera utdata. Men det skulle också gå att utveckla programvaran så att om företaget vill tillverka ett visst antal enheter så beräknar Casat hur många montörer som behöver vara tillgängliga på linan. I detta projekt så har också en avgränsning gjorts till att ombalanseringen sker i början på ett skift eller när montörerna skall byta station, ombalansering sker med andra ord inte löpande hela tiden. En utveckling skulle kunna vara att ombalanseringen sker kontinuerligt under dagen, det vill säga om en montör halkar efter så skulle nästa montör kunna ta över några av hens arbetsuppgifter.

Vid intervjun med montören och produktiosnteknikern på Volvo Penta framkom information om att även de montörer som arbetat under en längre tid på monteringslinan varierade mycket i prestationsnivå. Montören menar att en del av de anställda som är väldigt snabba kan montera på hälften av den planerade taktiden. Under utvecklingen av konceptet har den högsta prestationsnivån antagits vara när montören monterat exakt på takttiden. Skulle företaget vilja utnyttja montörers kapacitet helt skulle det kunna studeras om de som monterar under takttiden ska tilldelas en ännu högre prestationsnivå i Casat. Detta för att de i ännu större ut-

sträckning ska kunna ta över moment från en montör som kommer in på linan med en lägre monteringshastighet. Viktigt att beakta i en sådan framtida frågeställning är dock om det är psykosocialt försvarbart att montörer monterar snabbare än takttiden.

I detta projekt har endast en produktmodell betraktats åt gången i beräkningarna. Skulle ytterligare undersökningar göras så skulle flera olika produktvarianter kunna tillverkas på samma lina för att studera hur de kan balanseras optimalt. Om fler produktvarianter finns på linan så skulle också Casat kunna utvecklas till att ta fram en optimal ordningsföljd att montera de olika varianterna för att få ett så jämnt flöde som möjligt. Det har också antagits att produkterna monteras i en fast monteringssekvens i projektet, det vill säga att monteringsoperationerna alltid sker i samma ordningsföljd. Skulle det vara möjligt rent praktiskt så skulle dynamisk balansering kunna utvecklas ytterligare för att även analysera och beräkna fram en optimal monteringssekvens.

Det som gjorts i detta projekt kan ses som ett första steg i utvecklingen av dynamisk balansering, därför finns det oändligt många möjligheter att utveckla projektet i framtiden.

6
SLUTSATS

De frågeställningar som definierades i inledningen kan anses besvarade. Det konstateras att en uppdatering av Casat skulle leda till en effektivisering i utnyttjandet av produktionslinan i termer av fler producerade enheter, mindre balanseringsförluster och kortare ledtider. Det har tagits fram ett koncept för utveckling av Casat som beskriver den indata som krävs för att få önskad utdata från programvaran samt hur Casat ska prioritera i den automatiska balanseringen för att få balanseringen optimal. Konceptet med ministationer togs fram för att lösa problemet som uppstår med materialförsörjningen när aktiviteter längs linan inte längre är fasta på samma station. Ministationskonceptet bidrar till att inga aktiviteter behöver byta fysisk plats oavsett hur balanseringen ser ut, vilket förenklar logistiken kring materialförsörjningen avsevärt.

Med konceptet som tagits fram för dynamisk balansering kan effektiviteten på en produktionslina öka. Det finns stor potential för att fortsätta utvecklingsarbetet i framtiden eftersom att det finns vinning i att produktionslinan kan anpassas mer efter olika produktionssituationer där beräkningar och komplexa optimeringsproblem beräknas med datorhjälp, utan erfarenhetsmässiga bedömningar från människor. Det framtagna konceptet kräver förändringar i både Casat och i den fysiska produktionen hos företag.

Implementering av konceptet innebär att ett strukturerat arbetssätt tillämpas för hur ombalanseringar sker på en monteringslina. Ombalanseringar sker automatiskt i större grad än tidigare, och det är då samtidigt viktigt att företag som implementerar konceptet i sin produktion är medvetna och tar hänsyn till de psykosociala aspekter som påverkar människan som arbetar på monteringslinan.

Med den ständiga utveckling som sker inom produktionen idag är dynamisk balansering en naturlig utveckling för produktionseffektivisering. De mänskliga aspekter som har betraktats i detta projekt kan ses som ett första steg i utvecklingen eftersom dynamisk balansering kan utvecklas oerhört mycket mer i framtiden och ta hänsyn till många fler aspekter.

Litteraturförteckning

Almström, P. (2015). Arbetsmätning. I S. Björklund, G.Gustafsson, L. Hågeryd & B. Rundqvist (Red.), *Karlebo handbok* (s. 686-695). Stockholm: Liber.

Andersson, J., Audell, B., Giertz, E. & Reitberger, G. (1992). *Produktion: Strategier och metoder för effektivare tillverkning.* Stockholm: Nordstedts juridik.

Battaïa, O. & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solutionapproaches. *International Journal of Production Economics*, *142*(2), 259-277. Hämtad från https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527312004616

Becker, C. & Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European journal of operational research*, *168*(3), 694-715. Hämtad från https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221704004801

Bellgran, M. & Säfsten, K. (2005). *Produktionsutveckling: Utveckling och drift av produktionssystem.* Lund: Studentlitteratur.

Boysen, N., Fliedner, M. & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems. *European journal of operational research*, *183*(2), 674-693. Hämtad från https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709000575

Chaffin, D. B. & Hancock, W.M. (1966). *Factors in Manual Skill Training.* The MTM Association For Standards Research, Fairlawn N.J.

Ellegård, K., Engström, T., Johansson, B., Nilsson, L. & Medbo, L. (1992). *Reflektiv produktion: Industriell verksamhet i förändring.* Göteborg: Volvo media.

IMD, International MTM Directorate, (2004). *SAM - Sequential Activity - and Methods Analysis - System description.*

Jonsson, P. & Mattsson, S-A. (2016). *Logistik: Läran om effektiva materialflöden.* Lund: Studentlitteratur.

Montano, A., Villalobos, J. R., Gutierrez, M. A. & Mar, L. (2007). Performance of serial assembly line designs under unequal operator speeds and learning. *International Journal of Production Research*, *45*(22), 5355-5381. Hämtad från https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207540600812768?scroll=top needAccess=true

Skoog, E. (2000). *Leveransprecision och ledtid - två nyckeltal för styrning av virkesflödet* (Examensarbete, Sveriges lantbruksunversitet, Institutionen för skoglig resurshållning). Hämtad från https://stud.epsilon.slu.se/4479/1/skoog_e_120404.pdf

Thunander, A., Winberg, T. (2017). *Produktionsplanering - Cyklisk produktionsplanering med linjär programmering som vetenskapligt tillvägagångssätt gällande planering inom tillverkningsindustrin* (Examensarbete, Kungliga tekniska högskolan, Industriell teknik och management). Hämtad från http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1129209/FULLTEXT01.pdf

A

Bilagor

A.1 Intervju på Volvo Penta

Intervjun på Volvo Penta i Vara (18-03-26) gjordes med en montör med 20 års erfarenhet inom produktionen och en produktionstekniker.

Bakgrund

Volvo Penta tillverkar kundorderstyrda båtmotorer. Efterfrågan är i dagsläget inte så hög. Kundorderstyrningen beror i stor del på konjunktur och säsong. I nuläget har Volvo Penta en takttid på 15 minuter. Montörerna är inte stationerade på stationerna längs monteringslinan utan varje montör följer en motor längs monteringslinan och utför de operationer som ska utföras på respektive station. Detta arbetssätt motverkar monotont arbete för montörerna och arbetet blir mer varierande. Idag har produktionen ett skift, dagtid, med arbetstiderna 06.30-15.32. Intervjun gjordes med monteringslinan för motorerna D4 och D6 i centrum.

(Nyanställda)

Hur fungerar inlärning för nyanställda montörer och hur lång är inlärningstiden?
En ny montörer har en erfaren montör som går bredvid sig hela tiden i minst fem hela arbetsdagar.

Produktionsteknikern tror: Först iakttar den nya montören hur en erfaren operatör arbetar. Produktionstekniker uppskattar att iakttagandet ofta görs enbart för en motor, dvs. ett varv på monteringslinan. Sedan tar den nya operatören över arbetet och gör det fysiska arbetet medan den erfarne montören går bredvid och berättar, instruerar och hjälper till vid behov.

Det krävs cirka två veckor för en ny montör att komma upp i önskad takttid. För en helt ny montör utan tidigare monteringserfarenhet eller individer som inte direkt uppfattar monteringsarbetet som intuitivt kan det krävas fler dagar att uppnå takttiden.

Inlärningsutvecklingen för en ny montör i den andra arbetsveckan brukar se ut ungefär som följande: I en till två dagar arbetar den nya montören väldigt noggrant

och arbetet blir i princip felfritt. Sedan kommer några dagar då montören slappnar av mer i sitt arbete, under den perioden blir det fel på nästan varenda motor och korrigeringar krävs. I slutet av veckan har den nya montören lärt sig vanliga misstag och gör inte längre så mycket fel.

Hur är nya montörers arbetstakt i jämförelse med vana/gamla montörer?
I början kan monteringen för en ny montör ta dubbelt så lång tid som för en van montör på monteringslinan. Så länge det finns en osäkerhet hos montören och montören måste fundera på vad som är nästa steg i processen och vad som ska göras härnäst så tar arbetet lång tid.

Hur lång tid tar det för montörerna att läsa de digitala instruktionerna i Casat?
I Casat finns det en funktion som gör att operatören med ett skärmklick kan få mer och förtydligande instruktionstext och tydligare bilder. På Volvo Penta används inte den förtydligande texten i någon större utsträckning. Bilderna däremot används mer frekvent.

Hur ser inlärningsprocessen för en ny montör ut?
I början lär sig nya montörer snabbt och sedan går det långsammare innan montören är "fullärd". Det tar exempelvis ganska lång tid innan montörer lär sig att hitta sprickor i arbetsstycken och se skillnad på kvalitet i material. Efter ungefär ett halvår i monteringen har en montör troligtvis fått in känslan för om materialet känns rätt och ser riktigt ut och själv kan hitta kvalitetsbrister.

Hur ofta finns det nya montörer på monteringslinan?
Sedan två år tillbaka tar Volvo Penta in minst två nya montörer i sin produktion per år. Tidigare låg siffran på fem nya montörer per år. Uppskattningsvis tar de in mellan två och fyra personer per år.

Hur bra monterar bemanningspoolernas personalen? Glömmer de mellan gångerna? Väljer ni ut folk från poolen? Hur fungerar det vid behov av extrapersonal?
Vid behov av extrapersonal tar Volvo Penta in personer från en bemanningspool. Personal från poolen går bara in på de enklaste arbetsuppgifterna, exempelvis på förmonteringen eftersom beläggningen där inte är så hög. Förmonteringen är placerad vid sidan av monteringslinan och linan skulle därmed inte bli märkbart påverkad om förmonteringen inte kan hålla uppe arbetstakten. Monteringslinan är därmed inte störningskänslig för vad som sker i förmonteringen.

(Fastanställda)

Hur stor tidsskillnad är det mellan den snabbaste montören och den långsammaste bortsett från nyanställda? Skiljer sig den individuella arbetstakten mellan erfarna montörer?

Även om montören inte är ny eller oerfaren är det stor skillnad på arbetstakten mellan olika individer. Vissa montörer är normalsnabba, andra är mycket snabbare än så. Uppskattningsvis skiljer det sig upp mot 50% mellan en montör som arbetar i normal takttid och den som arbetar snabbast. Det framgår även att takttiden på 15 minuter på de flesta stationer är generös. De flesta montörer klarar en 10-minuterstakt.

Ser ni det som en möjlighet att man får olika cykeltider beroende på hur mycket text man väljer i Casat?
De använder som sagt inte textfunktionen så mycket överhuvudtaget i monteringen.

Hur ofta överskrids cykeltiden?
Det är en station på linan, station 150, som överskrids någon gång ibland. Utförandet på stationen är satt med SAM-analys, som dessvärre inte är så välfungerande på de operationer som utförs på den stationen. Annars överskrids cykeltiden i regel bara om någonting går fel eller krånglar.

(Ombalanseringsbedömningar)

Hur går ni tillväga om det under ett arbetspass finns för få montörer relativt vad som behövs på monteringslinan?
I första hand reduceras antalet motorer som ska tillverkas under arbetspasset. I dagsläget kan inte riktigt alla montörer alla stationer längs monteringslinan. Om detta utgör ett problem när monteringslinan blir en man kort kan omflyttning av personal ske på linan. Denna omflyttning görs och baseras på personlig erfarenhet. Som sista utväg, om exempelvis det pga. kundorder inte är möjligt att reducera antalet enheter som ska produceras, tas en sk. Andon in i monteringslinan. Andon är anställda som vanligtvis har andra uppgifter i anslutning till monteringslinan.

(Materialhantering)

Hur fylls materialställen längs monteringslinan på?
Materialavdelningen kommer med truck och fyller på material i materialfasaderna från sk. sekvensvagnar. När en order startas får de som arbetar med materialpåfyllningen sk. sekvenslappar där material som behövs i monteringen står angivet. Rätt material plockas sedan i rätt sekvens och körs ut till monteringslinorna.

Vad är det för materialställ i produktionen idag? Går de materialställ som används idag att dela på och/eller flytta?
De materialvagnar som används i produktionen idag är omoderna och sitter fast där de står.

Finns det möjlighet att utifrån den produktion som är idag dela på materialställ och flytta vissa delar?
Ja, om material står sektionsvis och man kan para ihop dem med “klämanordning”.

Hur stor möjlighet finns det till att flytta verktyg?
Det beror på. Det är inget problem att flytta vanliga verktyg. Vissa verktyg, exempelvis skruvdragare, som hänger i sladdar från taket kan flyttas lite grann beroende på hur lång sladden är. Man vill i produktionen införa fler trådlösa skruvdragare som har räckvidd på 70 meter. Idag finns 1 st sådan skruvdragare på monteringslinan. Det finns ett slags verktyg, limroboten som finns på linan för D4 och D6 motorn, som är stor och svår att flytta. Limrobotarna på linan behöver ha sin egna, anvisade plats.

Beskrivning av projektgruppens plan i syfte att få input och feedback

Tänk att Casat skulle kunna ombalansera en monteringslina i realtid, dvs. under dagen under pågående produktion. Hur tror ni att det skulle fungera?
Montören menar att det beror på. Det skulle kanske fungera på en mindre avdelning där det inte arbetar så många. Många och snabba förändringar gör att det blir risk för förvirring om det är många som arbetar på monteringslinan.

Produktionsteknikern tror inte på idéen med motiveringen att det krävs mer framförhållning. Det anses svårt med tanke på den kommunikation som den realtidsbaserade ombalanseringen kräver. Svårigheten ligger bland annat i att göra alla montörer införstådda med vad som händer och vilka förändringar som sker. Den dynamiska balanseringen kan göra att balanseringen blir olika vid varje ombalanseringstillfälle vilket leder till olika och stora förändringar i produktionen.

Tänk att ombalansering istället sker i början av ett skift, och inte kontinuerligt under arbetsdagen, och Casat dessutom tar då hänsyn till antal montörer på monteringslinan och deras kunskapsnivå. Dessutom är materialet förflyttningsbart så att det efter ombalanseringen och i början av skiftet förflyttas till rätt ställe på monteringslinan.

Vad ser ni för för- och nackdelar? Tror ni att de är genomförbart?
Frågor som kommer upp i samband med denna fråga är hur mycket verktyg och material som måste flyttas samt hur lång tid förflyttningen som sker i början av skiftet tar. Är det så smidigt och tar så kort tid att produktionen tjänar på det eller får det motsatt effekt?

Parentes: SAAB i Trollhättan hade liknande arbetssätt i sin produktion. De balanserade om linan och ändrade stationer i slutet av dagen för nästkommande arbetsdag eftersom de visste hur morgondagens produktion skulle se ut.

Ur materialsynpunkt tror produktionstekniker att denna lösning är möjlig om de förändringar som görs är förinställda så att det finns en färdig plan, dvs. att uppdelningen alltid blir densamma när monteringslinan exempelvis reducerar fyra stationer

ner till tre. Så att om det blir en ändring så vet alla precis vilka stationer som ska delas och hur den nya balanseringen ska bli, exempelvis genom att det alltid är samma aktiviteter som splittras. Produktionsteknikern tror dock inte på idéen om förändringarna som görs av Casat är helt slumpmässiga, eftersom det troligtvis bara kommer skapa förvirring hos montörerna.

Slutsats av ombalansering i realtid i början av ett skift
Det finns mer potential för att balansera om på morgonen än för att balansera utifrån realtid under dagen.

Vad tror ni om idéen om att balansera om monteringslinan med hänsyn tagen till olika montörers kunskapsnivå och arbetstakt?
Ålder på operatör spelar in för hur snabbt personen arbetar. En 60-åring jobbar inte lika snabbt som en 18-åring. Det betyder att vinningar kan göras genom implementering av idéen. Det finns dock en risk för utpekande mot individer. Vem blir exempelvis tilldelad längst cykeltid? Liknande frågor kan vara känsligt och påverka stämningen inom en grupp/arbetslag.

Vad händer idag om en montör arbetar snabbare än bestämd cykeltid?
Operatören kan om hen vill börja på nästa station om den är ledig och får då ett försprång i arbetet. I annat fall kan montören ta en paus för exempelvis toabesök eller en kopp kaffe. Det är dock bestämt att en montör inte får arbeta mer än en takt i förväg. Skulle montören jobba så pass snabbt att hen hamnar så pass mycket före så måste hen ta en paus.

Hur ser ert produktionsbehov ut idag?
Vanligen ligger behovet på att producera en motor var 15e minut. Behovet är kundorderstyrt men större behov än detta finns normalt inte. Om det ändå skulle uppstå ett plötsligt behov av att producera mer kan fler personal sättas in på monteringslinan. Fyra personer har arbetsuppgifter i anslutning till monteringslinan och kan hoppa in någonstans om det behövs.

Saker som diskuterades vid rundvandringen längs monteringslinan för motorerna D4 och D6.

- Ofta sker två “monteringshändelser” ungefär vid samma station, men motorn flyttas en liten bit framåt mellan dessa monteringsoperationer.

- Vid eventuell förändring i monteringslinans utformning är det viktigt att behålla monteringssekvensen eftersom vissa saker måste monteras i en viss ordning.

Moa berättar om idéen med sk. ministationer som består av en eller flera aktiviteter. Exempel: “Efter ombalanseringen innan skiftstart så arbetar montör x på minista-

tionerna 1-5 idag". Produktionstekniker gillar idéen.

Det poängteras att viss förmontering sker precis vid linan, vid berörda stationer. Viktigt att tänka på vid införande av ministationer är att förmonteringen antingen måste vara nära linan och materialställningarna alternativt att förmonteringen får en egen lina. Från förmonteringens egen lina får isåfall materalhanteringspersonal sköta transport av förmonterat material till själva "huvudlinan", till rätt plats där materialet behövs. I nuläget är det två personer som sköter förmonteringen på linan. Vid förändring skulle dessa två personer i framtiden kunna flytta över och arbeta på förmonteringens egna lina.

- På linan finns det så kallade limrobotar. Dessa är stora och svårflyttade. De står helt enkelt där de står och måste tas hänsyn till vid förändring i linan. Linan får anpassas efter dem, inte tvärtom.

- I slutet av produktionslinan finns kontrollstation som är bemannad med 1 person/station. Kontrollstationen saknar personalrotering och produktionstekniker uppskattar att kontrollstationen har halvtidsbeläggning. Cykeltiden på kontrollstationen är idag generös för att det ska ginnas got tom tid om det skulle vara något fel på motorn. Produktionsteknikern tycker dock inte att man bör sätta takttiden efter förutsättning att det kommer att vara fel på motorn. Hon tycker att man bör tidsdimensionera kontrollstationen utifrån att motorn är felfri, och om den inte är det så får man ta tidskonsekvenserna som då uppkommer.

- Efter kontrollstationen ställs motorn på en avställningsplats i väntan på att bli hämtad och transporterad till måleriavdelningen. I dagsläget finns enbart en avställningsplats vilket betyder att de, pga. platsbrist, inte kan köra ut för många motorer utan att först ha pratat med måleriavdelningen och löst platsfrågan. Skulle de behöva köra ut fler motorer än vanligt behov går det självklart att lösa.

A.2 Cykeltider för Test 1

A.2.1 3 Montörer

	Cykeltider för test 1 tre Montörer					
	Legomodell 1					
	Station 1		Station 2		Station 3	
Försök 1	27,63	sek	22,26	sek	26,37	sek
Försök 2	35,05	sek	16,58	sek	24,63	sek
Försök 3	35,05	sek	16,58	sek	24,63	sek
Försök 4	32,84	sek	18,79	sek	24,63	sek
Försök 5	35,05	sek	14,84	sek	26,37	sek
Försök 6	42,26	sek	13,42	sek	19,58	sek
Försök 7	27,63	sek	25,26	sek	23,37	sek
Försök 8	27,63	sek	29,05	sek	19,58	sek
Optimalt	27,63	sek	22,26	sek	26,37	sek
	Cykeltider för test 1 tre Montörer					
	Legomodell 2					
	Station 1		Station 2		Station 3	
Försök 1	36,47	sek	18,47	sek	22,26	sek
Försök 2	38,68	sek	22,42	sek	16,11	sek
Försök 3	36,47	sek	18,47	sek	22,26	sek
Försök 4	32,68	sek	22,26	sek	22,26	sek
Försök 5	38,68	sek	16,26	sek	22,26	sek
Försök 6	38,68	sek	16,26	sek	22,26	sek
Försök 7	36,47	sek	25,89	sek	14,84	sek
Försök 8	26,68	sek	30,47	sek	20,05	sek
Optimalt	26,68	sek	26,05	sek	24,47	sek
	Cykeltider för test 1 tre Montörer					
	Legomodell 3					
	Station 1		Station 2		Station 3	
Försök 1	37,11	sek	18,47	sek	27,63	sek
Försök 2	29,53	sek	23,84	sek	29,84	sek
Försök 3	33,32	sek	20,05	sek	29,84	sek
Försök 4	37,11	sek	20,68	sek	25,42	sek
Försök 5	40,58	sek	15	sek	27,63	sek
Försök 6	40,58	sek	15	sek	27,63	sek
Försök 7	37,11	sek	23,68	sek	22,42	sek
Försök 8	27,32	sek	28,26	sek	25,42	sek
Optimalt	27,32	sek	28,26	sek	27,63	sek

Figur A.1: Cykeltiderna för test med minskning av antalet montörer till tre stycken

A.2.2 5 Montörer

	Cykeltider för test 1 fem Montörer									
	Legomodell 1									
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5	
Försök 1	13,11	sek	18	sek	14,37	sek	15	sek	15,79	sek
Försök 2	20,68	sek	16,58	sek	12,63	sek	10,58	sek	15,79	sek
Försök 3	31,11	sek	8,37	sek	10,42	sek	14,05	sek	12,32	sek
Försök 4	20,68	sek	16,58	sek	12,63	sek	14,05	sek	12,32	sek
Försök 5	27,63	sek	11,84	sek	12,16	sek	13,58	sek	11,05	sek
Försök 6	20,68	sek	16,58	sek	12,63	sek	14,05	sek	12,32	sek
Försök 7	13,11	sek	14,53	sek	15,63	sek	9,63	sek	13,37	sek
Försök 8	16,89	sek	15,95	sek	17,05	sek	15,32	sek	11,05	sek
Optimalt	16,89	sek	14,21	sek	14,37	sek	15	sek	15,79	sek
	Cykeltider för test 1 fem Montörer									
	Legomodell 2									
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5	
Försök 1	20,68	sek	15,79	sek	14,05	sek	16,84	sek	14,84	sek
Försök 2	18,47	sek	14,21	sek	15,63	sek	12,79	sek	16,11	sek
Försök 3	26,68	sek	17,21	sek	8,84	sek	8,37	sek	16,11	sek
Försök 4	20,68	sek	18	sek	11,84	sek	11,84	sek	14,84	sek
Försök 5	24,47	sek	19,42	sek	11,05	sek	10,89	sek	11,37	sek
Försök 6	26,68	sek	12	sek	11,84	sek	10,58	sek	16,11	sek
Försök 7	20,68	sek	18	sek	14,05	sek	9,63	sek	14,84	sek
Försök 8	16,26	sek	10,42	sek	17,21	sek	17,21	sek	16,11	sek
Optimalt	16,26	sek	16,42	sek	15,63	sek	14,05	sek	14,84	sek
	Cykeltider för test 1 fem Montörer									
	Legomodell 3									
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4		Station 5	
Försök 1	22,89	sek	14,21	sek	16,26	sek	12,16	sek	17,68	sek
Försök 2	20,68	sek	16,42	sek	14,05	sek	14,37	sek	17,68	sek
Försök 3	16,89	sek	16,42	sek	15,63	sek	11,84	sek	22,42	sek
Försök 4	25,11	sek	17,21	sek	11,05	sek	10,89	sek	18,95	sek
Försök 5	29,32	sek	17,21	sek	8,84	sek	12,16	sek	17,68	sek
Försök 6	25,11	sek	17,21	sek	13,26	sek	9,95	sek	17,68	sek
Försök 7	20,68	sek	16,42	sek	14,05	sek	9,63	sek	17,68	sek
Försök 8	16,89	sek	16,42	sek	17,84	sek	14,37	sek	17,68	sek
Optimalt	16,89	sek	16,42	sek	15,63	sek	16,58	sek	17,68	sek

Figur A.2: Cykeltiderna för test med ökning av antalet montörer till fem stycken

A.3 Uträknade värden Test 1

A.3.1 3 Montörer

Tabell A.1: Redovisning av balanseringsförluster för hyffsning till tre stationer för de olika ombalanseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Balanseringsförluster	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**8,0 %**	**3,5 %**	**1,9 %**
Ombalansering 1	8,0 %	29,4 %	25,3 %
Ombalansering 2	27,5 %	33,5 %	7,0 %
Ombalansering 3	27,5 %	29,4 %	16,8 %
Ombalansering 4	22,6 %	21,3 %	25,3 %
Ombalansering 5	27,5 %	33,5 %	32,5 %
Ombalansering 6	41,2 %	33,5 %	32,5 %
Ombalansering 7	8,0 %	29,4 %	25,3 %
Ombalansering 8	8,0 %	15,5 %	6,1 %
Medel avvikelse i procent-enheter från optimallösning	**13,30**	**19,45**	**24,70**
Median avvikelse i procent-enheter från optimallösning	**17,05**	**27,95**	**23,4**

Tabell A.2: Redovisning av ledtider för hyffsning till tre stationer för de olika ombalanseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Ledtider	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**82,89 s**	**80,04 s**	**84,78 s**
Ombalansering 1	82,89 s	109,41 s	111,33 s
Ombalansering 2	105,15 s	116,04 s	89,52 s
Ombalansering 3	105,15 s	109,41 s	99,96 s
Ombalansering 4	98,52 s	98,04 s	111,33 s
Ombalansering 5	105,15 s	116,04 s	121,74 s
Ombalansering 6	129,78 s	116,04 s	121,74 s
Ombalansering 7	83,04 s	109,41 s	111,33 s
Ombalansering 8	87,15 s	91,41 s	88,59 s
Medelavvikelse i sekunder från optimallösning	**16,71**	**28,19**	**22,16**
Medianavvikelse i sekunder från optimallösning	**18,95**	**29,37**	**26,55**

Tabell A.3: Redovisning av möjliga att producera under en arbetsdag på 8h för hyffsning till tre stationer för de olika ombalanseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Antal möjliga att producera (på 8h)	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**1043 st**	**1080 st**	**1020 st**
Ombalansering 1	1043 st	790 st	777 st
Ombalansering 2	822 st	745 st	966 st
Ombalansering 3	822 st	790 st	865 st
Ombalansering 4	877 st	882 st	777 st
Ombalansering 5	822 st	745 st	710 st
Ombalansering 6	666 st	745 st	710 st
Ombalansering 7	1043 st	790 st	777 st
Ombalansering 8	992 st	946 st	976 st
Medelavvikelse i antal från optimallösning	**157**	**275**	**200**
Medianavvikelse i antal från optimallösning	**193**	**290**	**199**

A.3.2 5 Montörer

Tabell A.4: Redovisning av balanseringsförluster för hyffsning till fem stationer för de olika ombalanseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Balanseringsförluster	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**9,7 %**	**6,0 %**	**5,9 %**
Ombalansering 1	15,3 %	25,3 %	27,3 %
Ombalansering 2	26,2 %	16,4 %	19,5 %
Ombalansering 3	51,0 %	42,1 %	25,8 %
Ombalansering 4	26,2 %	25,3 %	33,7 %
Ombalansering 5	44,8 %	36,9 %	39,1 %
Ombalansering 6	26,2 %	42,1 %	33,7 %
Ombalansering 7	34,7 %	25,3 %	25,8 %
Ombalansering 8	10,5 %	10,3 %	6,7 %
Medelavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**19,66**	**19,06**	**20,55**
Medianavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**16,5**	**19,3**	**24,6**

Tabell A.5: Redovisning av ledtider för hyffsning till fem stationer för de olika ombalanseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Ledtider	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**84,45 s**	**82,1 s**	**88,4 s**
Ombalansering 1	90,0 s	103,4 s	114,45 s
Ombalansering 2	103,4 s	80,55 s	103,4 s
Ombalansering 3	155,55 s	133,4 s	112,1 s
Ombalansering 4	103,4 s	103,4 s	125,55 s
Ombalansering 5	138,15 s	122,35 s	136,6 s
Ombalansering 6	103,4 s	133,4 s	125,55 s
Ombalansering 7	116,85 s	103,4 s	112,1 s
Ombalansering 8	85,25 s	86,05 s	89,2 s
Medelavvikelse i sekunder från optimallösning	**29,11**	**28,2**	**30,09**
Medianavvikelse i sekunder från optimallösning	**20,51**	**23,36**	**28,50**

Tabell A.6: Redovisning av möjliga att producera under en arbetsdag på 8h för hyffsning till fem stationer för de olika ombalnseringar som gjorts samt den optimala lösningen gjord i Casat

Antal möjliga att producera (på 8h)	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering	**1706 st**	**1754 st**	**1629 st**
Ombalansering 1	1600 st	1393 st	1259 st
Ombalansering 2	1393 st	1560 st	1393 st
Ombalansering 3	926 st	1080 st	1285 st
Ombalansering 4	1393 st	1393 st	1147 st
Ombalansering 5	1043 st	1177 st	1055 st
Ombalansering 6	1393 st	1080 st	1147 st
Ombalansering 7	1233 st	1393 st	1285 st
Ombalansering 8	1690 st	1674 st	1615 st
Medelavvikelse i antal från optimallösning	**372**	**410**	**355**
Medianavvikelse i antal från optimallösning	**313**	**361**	**344**

A.4 Cykeltider för Test 2

A.4.1 200% av cykeltiden (MTM 50-takt)

	Cykeltider för test 2, 200 % av cykeltiden							
	Legomodell 1							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	41,36	sek	18,79	sek	17,21	sek	19,58	sek
Ovan station 2	20,68	sek	37,58	sek	17,21	sek	19,58	sek
Ovan station 3	20,68	sek	18,79	sek	34,42	sek	19,58	sek
Ovan station 4	20,68	sek	18,79	sek	17,21	sek	39,16	sek
Optimal ovan station 1	18,63	sek	21,79	sek	21,79	sek	23,27	sek
Optimal ovan station 2	20,68	sek	20,84	sek	21,79	sek	23,37	sek
Optimal ovan station 3	20,68	sek	22,58	sek	19,26	sek	23,37	sek
Optimal ovan station 4	20,68	sek	22,58	sek	21,95	sek	22,11	sek
	Cykeltider för test 2, 200 % av cykeltiden							
	Legomodell 2							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	41,36	sek	18	sek	18,47	sek	20,05	sek
Ovan station 2	20,68	sek	36	sek	18,47	sek	20,05	sek
Ovan station 3	20,68	sek	18	sek	36,94	sek	20,05	sek
Ovan station 4	20,68	sek	18	sek	18,47	sek	44,84	sek
Optimal ovan station 1	18,63	sek	23,37	sek	22,26	sek	22,26	sek
Optimal ovan station 2	24,47	sek	20,84	sek	22,26	sek	22,26	sek
Optimal ovan station 3	20,68	sek	23,68	sek	21,16	sek	24,47	sek
Optimal ovan station 4	24,47	sek	21,63	sek	21,95	sek	22,47	sek
	Cykeltider för test 2, 200 % av cykeltiden							
	Legomodell 3							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	41,36	sek	19,89	sek	20,21	sek	22,42	sek
Ovan station 2	20,68	sek	39,78	sek	20,21	sek	22,42	sek
Ovan station 3	20,68	sek	19,89	sek	40,42	sek	16,42	sek
Ovan station 4	20,68	sek	19,89	sek	20,21	sek	44,84	sek
Optimal ovan station 1	18,63	sek	24	sek	24,47	sek	25,42	sek
Optimal ovan station 2	25,11	sek	24	sek	22,42	sek	23,68	sek
Optimal ovan station 3	22,89	sek	23,84	sek	22,11	sek	25,42	sek
Optimal ovan station 4	25,11	sek	23,84	sek	24,47	sek	19,58	sek

Figur A.3: Cykeltiderna för test med en ovan montör som montörer på 200% av cykeltiden

A.4.2 150% av cykeltiden (MTM 75-takt)

	Cykeltider för test 2, 150 % av cykeltiden							
	Legomodell 1							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	31,02	sek	18,79	sek	17,21	sek	19,58	sek
Ovan station 2	20,68	sek	28,19	sek	17,21	sek	19,58	sek
Ovan station 3	20,68	sek	18,79	sek	25,82	sek	19,58	sek
Ovan station 4	20,68	sek	18,79	sek	17,21	sek	29,37	sek
Optimal ovan station 1	19,66	sek	21,95	sek	21,63	sek	19,58	sek
Optimal ovan station 2	20,68	sek	21,55	sek	21,63	sek	19,58	sek
Optimal ovan station 3	20,68	sek	22,58	sek	20,13	sek	19,58	sek
Optimal ovan station 4	20,68	sek	22,58	sek	20,68	sek	18,47	sek
	Cykeltider för test 2, 150 % av cykeltiden							
	Legomodell 2							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	31,02	sek	18	sek	18,47	sek	20,05	sek
Ovan station 2	20,68	sek	27	sek	18,47	sek	20,05	sek
Ovan station 3	20,68	sek	18	sek	27,71	sek	20,05	sek
Ovan station 4	20,68	sek	18	sek	18,47	sek	30,08	sek
Optimal ovan station 1	24,4	sek	20,21	sek	20,68	sek	20,05	sek
Optimal ovan station 2	20,68	sek	23,68	sek	20,68	sek	20,05	sek
Optimal ovan station 3	20,68	sek	21,47	sek	19,18	sek	22,26	sek
Optimal ovan station 4	20,68	sek	21,47	sek	20,21	sek	20,37	sek
	Cykeltider för test 2, 150 % av cykeltiden							
	Legomodell 3							
	Station 1		Station 2		Station 3		Station 4	
Ovan station 1	31,02	sek	19,89	sek	20,21	sek	22,42	sek
Ovan station 2	20,68	sek	29,84	sek	20,21	sek	22,42	sek
Ovan station 3	20,68	sek	19,89	sek	30,32	sek	22,42	sek
Ovan station 4	20,68	sek	19,89	sek	20,21	sek	33,63	sek
Optimal ovan station 1	25,34	sek	23,68	sek	20,21	sek	22,42	sek
Optimal ovan station 2	22,89	sek	21,32	sek	22,42	sek	23,68	sek
Optimal ovan station 3	22,89	sek	23,34	sek	21,08	sek	22,42	sek
Optimal ovan station 4	22,89	sek	21,63	sek	22,89	sek	20,37	sek

Figur A.4: Cykeltiderna för test med en ovan montör som montörer på 150% av cykeltiden

A.5 Uträknade värden Test 2

A.5.1 200% av cykeltiden (MTM 50-takt)

Tabell A.7: Redovisning av balanseringsförluster för optimal balasering i Casat samt för ingen ombalansering för montering på 200% av cykeltiderna på de olika stationerna (MTM 50-takt).

Balanseringsförluster	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	4,5 %	7,4 %	9,0 %
Optimal, ovan montör station 2	7,3 %	8,2 %	5,2 %
Optimal, ovan montör station 3	8,3 %	8,1 %	7,3 %
Optimal, ovan montör station 4	3,3 %	7,2 %	7,4 %
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	41,4 %	40,8 %	37,2 %
Ovan montör station 2	36,8 %	33,9 %	35,2 %
Ovan montör station 3	32,1 %	35,3 %	39,7 %
Ovan montör station 4	38,8 %	39,4 %	41,1 %
Medelavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**31,4**	**29,6**	**31,1**
Medianavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**32,5**	**29,7**	**31,2**

Tabell A.8: Redovisning av ledtider för optimal balasering i Casat samt för ingen ombalansering. Siffrorna gäller för montering i MTM 50-takt, dvs. 200% av cykeltiderna på de olika stationerna.

Ledtider	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	93,48 s	93,48 s	101,68 s
Optimal, ovan montör station 2	93,48 s	97,88 s	100,44 s
Optimal, ovan montör station 3	93,48 s	97,88 s	101,68 s
Optimal, ovan montör station 4	90,32 s	97,88 s	100,44 s
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	165,44 s	165,44 s	165,44 s
Ovan montör station 2	150,32 s	144,0 s	159,12 s
Ovan montör station 3	137,68 s	147,76 s	161,86 s
Ovan montör station 4	156,64 s	160,4 s	179,36 s
Medel avvikelse i sekunder från optimallösning	**59,83**	**57,62**	**65,39**
Median avvikelse i sekunder från optimallösning	**61,58**	**56,2**	**61,97**

Tabell A.9: Redovisning av möjliga enheter att producera under en arbetsdag på 8h. Beräkningarna är gjorda för optimal balasering i Casat samt för ingen ombalansering för montering på 200% av cykeltiderna på de olika stationerna, dvs. MTM 50-takt.

Antal möjliga att producera (på 8h)	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	1233 st	1232 st	1132 st
Optimal, ovan montör station 2	1233 st	1176 st	1146 st
Optimal, ovan montör station 3	1233 st	1176 st	1132 st
Optimal, ovan montör station 4	1276 st	1176 st	1146 st
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	697 st	697 st	697 st
Ovan montör station 2	767 st	800 st	724 st
Ovan montör station 3	837 st	780 st	713 st
Ovan montör station 4	736 st	719 st	643 st
Medelavvikelse i antal från optimallösning	**484**	**441**	**444**
Medianavvikelse i antal från optimallösning	**501**	**426**	**428**

A.5.2 150% av cykeltiden (MTM 75-takt)

Tabell A.10: Redovisning av balanseringsförluster för optimal balasering i Casat samt för ingen ombalansering. Siffrorna gäller för montering i MTM 75-takt, dvs. för 150% av cykeltiderna på de olika stationerna.

Balanseringsförluster	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	5,7 %	12,6 %	9,6 %
Optimal, ovan montör station 2	3,6 %	10,2 %	4,7 %
Optimal, ovan montör station 3	8,1 %	6,1 %	5,4 %
Optimal, ovan montör station 4	8,7 %	3,7 %	4,2 %
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	30,2 %	29,4 %	24,6 %
Ovan montör station 2	24,0 %	20,2 %	21,9 %
Ovan montör station 3	17,8 %	22,0 %	23,0 %
Ovan montör station 4	26,8 %	27,5 %	29,8 %
Medelavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**18,18**	**16,63**	**18,1**
Medianavvikelse i procent-enheter från optimallösning	**19,25**	**16,35**	**17,4**

Tabell A.11: Redovisning av ledtider för optimal balasering i Casat samt för ingen ombalansering för montering på 150% av cykeltiderna på de olika stationerna (MTM 75-takt).

Ledtider	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	87,79 s	97,58 s	101,37 s
Optimal, ovan montör station 2	86,53 s	94,74 s	94,73 s
Optimal, ovan montör station 3	90,32 s	89,04 s	95,35 s
Optimal, ovan montör station 4	90,32 s	85,89 s	91,58 s
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	124,08 s	124,08 s	124,08 s
Ovan montör station 2	112,74 s	108 s	119,34 s
Ovan montör station 3	103,26 s	110,82 s	121,26 s
Ovan montör station 4	117,48 s	120,3 s	134,52 s
Medelavvikelse i sekunder från optimallösning	**25,68**	**23,99**	**29,04**
Medianavvikelse i sekunder från optimallösning	**26,74**	**24,14**	**25,26**

Tabell A.12: Redovisning av möjliga enheter att producera under en arbetsdag på 8h. Siffrorna gäller för optimal balansering i Casat samt för ingen ombalansering för montering på 150% av cykeltiderna på de olika stationerna, dvs. MTM 75-takt.

Antal möjliga att producera (på 8h)	Legomodell 1	Legomodell 2	Legomodell 3
Optimal balansering			
Optimal, ovan montör station 1	1312 st	1180 st	1136 st
Optimal, ovan montör station 2	1331 st	1216 st	1216 st
Optimal, ovan montör station 3	1275 st	1293 st	1208 st
Optimal, ovan montör station 4	1275 st	1341 st	1257 st
Ingen ombalansering			
Ovan montör station 1	929 st	929 st	929 st
Ovan montör station 2	1022 st	1067 st	966 st
Ovan montör station 3	1116 st	1040 st	951 st
Ovan montör station 4	981 st	958 st	857 st
Medelavvikelse i antal från optimallösning	**286**	**259**	**278**
Medianavvikelse i antal från optimallösning	**301**	**252**	**253**