

Einarsson, Tomas Ari
Wedul, Jonas Kringen

Koordinering av ordre og produktgrupper fra CML maskin til malingsstasjon hos Røros Dører og Vinduer AS ved bruk av diskret hendelsessimulering

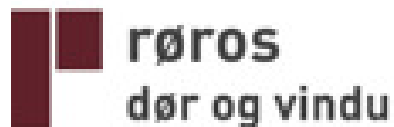
Bacheloroppgave i Logistikingeniør

Veileder: Tore Lennart Lauritzen

Mai 2022

Einarsson, Tomas Ari
Wedul, Jonas Kringen

Koordinering av ordre og produktgrupper fra CML maskin til malingsstasjon hos Røros Dører og Vinduer AS ved bruk av diskret hendelsessimulering



Bacheloroppgave i Logistikingeniør
Veileder: Tore Lennart Lauritzen
Mai 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for økonomi
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse



BACHELOROPPGAVE TLOG3001

| | |
|---|--|
| Tittel (norsk og engelsk): Koordinering av ordre og produktgrupper fra CML maskin til malingsstasjon hos Røros Dører og Vinduer AS ved bruk av diskret hendelsessimulering. Coordinating orders and product groups from CML machine to paint station at Røros Dører og Vinduer AS using discrete event simulation. | Prosjektnr.: 007 |
| Forfattere: Tomas Ari Einarsson Jonas Kringen Wedul | Dato: 20.05.2022 |
| | Gradering: Åpen |
| Studieretning: Logistikkingeniør (FTHINGLOG) | |
| Veileder internt: Tore Lennart Lauritzen | |
| Oppdragsgiver: Røros Dører og Vinduer AS | |
| Oppdragsgivers kontaktperson: Roger Berggård | |
| Sammendrag: Analyse av avdelingen mellom CML høvlemaskin og malingsstasjon hos Røros Dører og Vinduer AS. Bruk av diskret hendelsessimulering for å undersøke hvilke produksjonsplaner som gir bedre koordinerte ordre og mindre variasjon i produktenes gjennomløpstid. | |
| Stikkord: Diskret hendelsessimulering, produksjonsplan, logistikk | Keywords: Discrete event simulation, production schedule, logistics |

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Tomas Ari Einarsson og Jonas Kringen Wedul, og er et produkt av vår avsluttende oppgave for bachelorstudiet Logistikingeniør ved NTNU. Gjennom 3-år har vi opparbeidet oss god kunnskap og evner til problemløsning innen logistikkfeltet. I denne oppgaven benytter vi den kunnskapen for å se på produksjonen til Røros Dører og Vinduer AS.

Vi skrev en oppgave for Røros Dører og Vinduer AS høsten 2021 gjennom emnet TLOG3011 Prosjekt Logistikk. Etter et vellykket samarbeid bestemte vi sammen med bedriften at vi kunne videreføre samarbeidet til en bacheloroppgave i en annen del av fabrikk. Der har vi fått god hjelp til å finne en relevant og interessant oppgave for begge parter. Vi har vært fornøyd med samarbeidet og muligheten vi har fått hos bedriften.

Vi vil takke vår veileder Tore Lennart Lauritzen for gode innspill og veiledning gjennom hele prosjektperioden. Vi retter også en stor takk til Røros Dører og Vinduer AS for samarbeidet og en ekstra takk til logistikkleder Roger Berggård som har vært vår kontaktperson i bedriften. Takk til Rørosregionen Næringshage som har bistått med støtte til transport til og fra Røros.

Trondheim, 20.05.2022



Tomas Ari Einarsson



Jonas Kringen Wedul

Sammendrag

Røros Dører og Vinduer AS (RDV) produserer dører og vinduer fra råvare til ferdig produkt. Oppgaven tar for seg prosessene før produktet skal males, som hovedsakelig er impregnering, sortering og montering av dører og vinduer. En CML høvlemaskin produserer alle karm- og ramme-bitene til vinduene og dørene, som videre blir sendt inn til montering i to ulike avdelinger, ramme/karm/impregnering- og døravdelingen. Etter monteringen er vinduene eller dørene klar for maling.

Når en ordre kommer inn fra kunde blir den plassert på en dagsserie. Siden produktgruppene går gjennom forskjellige prosesser fører det til sprik mellom når produkter fra samme ordre ankommer malingsstasjonen. Det var derfor et ønske fra RDV å undersøke dette og bidra med data som kan bli brukt i kalkylene deres fremover.

For å løse og analysere oppgaven har det blitt benyttet diskret hendelsessimulering i 3D-simuleringsprogrammet FlexSim. Sammen med RDV har det blitt opprettet seks produktgrupper som dekker det meste av produksjonsvolumet. I løpet av prosjektperioden har rådata blitt samlet inn for de prosessene som produktene går gjennom og brukes i tilsvarende prosesser i simuleringsmodellen. Modellen har blitt brukt til å teste produksjonsplaner og finne en plan som gir bedre samling av ordre, og samtidig reduserer variasjon i gjennomløpstiden til produktene.

Abstract

Røros Dører og Vinduer AS (RDV) produces doors and windows from raw materials. The project includes the processes up until painting, which mainly consists of impregnation of wood, sorting and assembly of doors and windows. A CML wood planer produces all frame- and sill-pieces for the windows and doors. After this they are assembled in two different sections of the factory, which are frame/sill/impregnation of wood- and the door section. Finally, when the windows or doors are assembled, they are ready for painting.

When a purchase order is received from a customer it will be placed in a series, which contains all of the purchase orders for that specific day. Since product groups undergo different processes, the throughput time varies for different products. Because of this, products in the same purchase arrive at different points in time at the paint station. Therefore, RDV wished to further examine this issue, and also collect data which can be used for future calculations.

Discrete event simulation with the 3D-simulationtool, FlexSim, has been utilized to analyze and solve the issue. Together with RDV, six product groups have been made which cover most of their production volume. Through the timespan of the project, raw data has been collected for the processes that the product groups go through, which is then used in the simulation model. The model has been used to test production schedules, and to find a schedule with improved purchase order coordination, while also reducing variation in throughput time of the products.

Definisjoner/Ordliste

| | |
|------------------------|---|
| RDV | Røros Dører og Vinduer AS. |
| WBS | Work breakdown structure. |
| BIC | Bayesian information criterion. |
| AIC | Akaike information criterion. |
| ERP | Enterprise Resource Planning. |
| CML | Costruzioni Macchine Legno. |
| CalWin | ERP-system for produksjon av dører og vinduer. |
| Flaskehals | Stasjon eller operasjon som hindrer at andre ledd fungere optimalt. |
| Goodness of Fit | Beskriver hvor godt en statistisk modell passer et sett med observert data. |

Innholdsfortegnelse

| | |
|--|-----------|
| 1.0 INNLEDNING | 1 |
| 1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN | 1 |
| 1.2 PROSJEKTBEKRIVELSE OG AVGRENSING | 2 |
| 1.3 DAGENS SITUASJON | 3 |
| 1.4 OM BEDRIFTEN | 4 |
| 1.5 PROBLEMSTILLING..... | 4 |
| 1.6 MÅLFORMULERINGER..... | 5 |
| 1.7 PROSJEKTORGANISERING..... | 6 |
| 2.0 METODE | 7 |
| 2.1 DATAINNSAMLING | 7 |
| 2.2 LITTERATURSØK | 8 |
| 2.3 VISUALISERINGSVERKTØY..... | 9 |
| 2.4 PRODUKTGRUPPERING | 13 |
| 2.5 3D-MODELL | 14 |
| 3.0 TEORI | 23 |
| 3.1 PROSJEKTLEDELSE | 23 |
| 3.2 SIMULERING..... | 24 |
| 3.3 FLEXSIM..... | 26 |
| 3.4 PRODUKSJONSPLANLEGGING | 27 |
| 3.5 AKAIKE- OG BAYESIAN INFORMATION CRITERION..... | 28 |
| 4.0 ANALYSE | 29 |
| 4.1 PROBLEMBESKRIVELSE..... | 29 |
| 4.2 SIMULERING AV PRODUKTGRUPPER | 29 |
| 4.3 SIMULERING AV ORDRE | 32 |
| 4.4 FORSLAG TIL LØSNING | 37 |
| 4.5 RESULTAT | 38 |
| 5.0 DISKUSJON | 43 |
| 5.1 ANSATTE PÅ DØRAVDELING | 43 |
| 5.2 PÅVIRKNING AV NY REKKEFØLGE | 46 |
| 5.3 UTFORDRINGER OG SVAKHETER..... | 47 |
| 6.0 KONKLUSJON | 49 |
| 6.1 VIDERE ARBEID..... | 51 |
| REFERANSER | 52 |
| FIGURER | 54 |
| TABELLER | 54 |
| FORMLER | 55 |
| VEDLEGG | 55 |

1.0 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Gruppen ble kjent med bedriften gjennom emnet TLOG3011 Prosjekt Logistikk (høst 2021), hvor det ble skrevet en oppgave om Røros Dører og Vinduer AS (heretter RDV) sitt ferdigvarelager. Samarbeidet gjennom høsten 2021 førte til enighet om å gå videre med en bacheloroppgave for samme bedrift, men med fokusområde i en annen del av fabrikk. I et møte den 19. januar sammen med flere representanter fra RDV begynte utformingen av en problemstilling med fokusområde sentrert rundt produksjonsavdelingene før malingsstasjon. Endelig problemstilling ble ikke satt på det første møtet, men et grovt utkast.

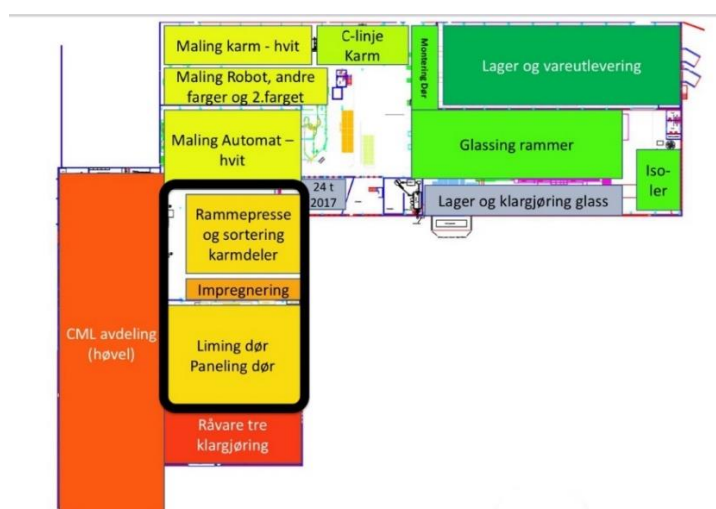
Den samme uke bestemte gruppen seg for problemstilling i samme fokusområde, etter vurdering rundt potensiale til oppgaven både for gruppe og bedrift. I tillegg var nødvendige verktøy for oppgaveløsning tilgjengelige og gjorde oppgaven gjennomførbar. Problemstillingen endte opp i området etter deres CML høvlemaskin frem til malingsstasjonen. I dette området er det mange prosesser og operasjoner som må gjøres med de ferdig høvlede trebitene som kommer fra CML, før de kan males. Området omfavner grovt sett impregnering, karm, ramme og dør.

På fabrikk har de opplevd at ulike produkter har kommet inn til maling (og dermed ferdigvarelager) til ulike tider, selv om de står på samme ordre. Dette er essensen i oppgaven, og for å løse den vil det være hensiktsmessig å kunne simulere produksjonen for å se når det er optimalt å begynne produksjon av de ulike produktene. I tillegg skal RDV installere en ny maskin i malingsavdelingen sin i løpet av sommeren 2022, som også er med å støtte problemstillingen. RDV opplever at de kan samkjøre produksjonen i operasjonene etter maling, slik at det ikke var nødvendig for prosjektet å omfavne disse delene. Målet er å få det inn til malingsstasjonen sammen, slik at det ender opp på ferdigvarelager og ut til kunde som en komplett ordre til rett tid.

1.2 Prosjektbeskrivelse og avgrensning

RDV ønsker å få en forståelse og oversikt over hvor lang tid ulike produkter bruker gjennom deler av fabrikk, slik at de kan produsere på en måte som tilfredsstillende både kunder og medarbeidere på fabrikk.

I dialog med RDV har det vært forståelse for hvor viktig en god avgrensning og problemstilling er for resultatet av oppgaven. En tydelig oppgave gir tydelige svar. Å ta for seg bare en del av fabrikk var nødvendig for at simuleringer skulle kunne gjenspeile fabrikk realistisk. Oppgaven tar for seg to avdelinger på fabrikk, Ramme/Karm/Impregnering og Dørpaneling (Figur 1). Disse deles videre opp i mindre avdelinger med hvert sitt fokusområde. I prosjektet antas det at produkter som kommer inn fra høvlemaskinen ikke har noen heftelser, og at det er tilgjengelig når det er planlagt tilgjengelig. Det antas også at produksjonen etter maling er koordinert slik at produkter som kommer inn til maling sammen til rett tid tilfredsstillende sluttkunden. I prosjektet kan malingsstasjonen ansees som “kunde” fra prosjektgruppens perspektiv.



Figur 1: Avgrensning for prosjektet markert i svart ramme

For å kunne simulere og skape oversikt over produksjonen til en fabrikk som tilbyr skreddersydde produkter er det fordelaktig å lage produktgrupper. Selv ved skreddersydde produkter er det aller meste likt i produksjonen, derfor er det mulig å gruppere produktene. Det er også en helt nødvendig forenkling for at man skal kunne ha nok datagrunnlag til å kunne simulere produksjonen. Grupperingene har blitt gjort i samarbeid med bedriften og dekker ikke hele produktutvalget til RDV. Bakgrunnen for dette er at fokuset er på de vanligste produktene som opptar størst produksjons- og salgsvolum for RDV. I tillegg har disse produktene et større datagrunnlag som er nødvendig for å simulere og trekke konklusjoner.

1.3 Dagens situasjon

Fabrikken i dag har en god flyt, men er preget av at ordre ofte ikke går sammen gjennom produksjonen, og dermed fører til tidvis ujevnt arbeid og unødvendig stress. Dette gjelder spesielt på ferdigvarelageret hvor de ofte har halvferdige ordre stående på lageret gjennom uka, fordi de mangler noen produkter som bruker lengre tid gjennom produksjonen. Det blir ikke tatt høyde for produksjonstiden til de ulike produktene i samme ordre når de legges inn i produksjonsplanen. Dermed blir de ferdige til ulike tidspunkt. Konsekvenser av dette er mindre oversikt, tidvis ujevn arbeidsmengde, og risiko for mer varer i arbeid.

Dører og skråkarmen tar lengre tid å produsere enn vindu. Produktene som tar lengre tid krever ofte flere operasjoner og mer arbeidskraft. Det er helt naturlig at visse produkter krever mer tid og ressurser, og det i seg selv er ikke problematisk. RDV har kalkyler på produksjonen som gir anslag på ledetider gjennom produksjonen for ulike produkter (*Vedlegg 1*). Kalkylene er faste og inneholder dermed ingen variasjon. Som observert i fabrikken kan det være store variasjoner på samme produkt, dermed er det hensiktsmessig med et annet datagrunnlag i tillegg.

Ønsket fremtid/situasjon vil være å få hele ordre inn til malingsstasjonen samtidig. Planen er at det vil gi mer forutsigbarhet for leveringspresisjon og jevnere ferdigstilling av ordre. Det vil være mindre behov for omstilling ved malingsstasjonen ettersom produkter på samme ordre ofte er i samme farge. Det er ønsket at dataen som prosjektgruppen har hentet ut og benyttet seg av blir verdifull for bedriften uansett om modellen og resultatene ikke blir optimale. Modellen skal kunne benyttes til å simulere hele ordre, en uke, en måned osv. for å planlegge produksjonen på best mulig vis. Hvis dette viser seg å være tidsbesparende og frigjøre kapasitet til tider, kan det benyttes til å øke produksjonsvolum for hele fabrikken ved ønske.

1.4 Om bedriften

Røros Dører og Vinduer AS er en moderne industribedrift med mer enn 100 års erfaring og kunnskap innen håndverk. Selv om RDV er den eldste industribedriften på Røros så fremstår bedriften som "ny" i dag på grunn av en betydelig satsing på moderne teknologi som gjør de til et av de flotteste industrianleggene for dør- og vindusproduksjon i landet. RDV driver med design, utvikling, produksjon og salg av vinduer og ytterdører i trykkimpregnert tre.

I et konkurranseutsatt marked har RDV utviklet bedriften i retningen masseprodusert skreddersøm som gir kunden en større mulighet til å komme med egne ønsker til utforming og farge. RDV strekker seg langt for å ivareta kundens behov og interesser, dette gjøres ved å levere håndverk av høy kvalitet slik at kundene mottar et solid produkt [1].

Som en industribedrift i verdensarven Røros er bedriften svært opptatt av å ta ansvar innen miljø og bærekraft, hvor produktene er laget på en måte som tilfører minimalt miljøfotavtrykk [2]. Hos RDV er det ikke bare kunden som står i sentrum, men også medarbeiderne. De ses på som medskaperne av sin egen arbeidsplass hvor det jobbes med å bygge på hver enkelt sin kompetanse for å styrke både personlig- og faglig utvikling. Dette er i deres øyne en forutsetning for å kunne levere produkter av høy kvalitet til kunder [3].

1.5 Problemstilling

Ideer til oppgaven ble utviklet sammen med RDV, men problemstillingen ble fastsatt av prosjektgruppen selv. Oppgaven kommer på bakgrunn av at RDV ønsker å få inn hele ordre til malingsstasjonen sammen, siden dette kan bidra til jevnere leveringspresisjon hver dag. Med dette tatt i betraktning ble følgende problemstilling utformet:

Koordinering av ordre og produktgrupper fra CML maskin til malingsstasjon hos Røros Dører og Vinduer AS ved bruk av diskret hendelsessimulering.

Tilhørende forskningsspørsmål ble også utarbeidet for å ytterligere bryte ned og belyse problemstillingen:

F1: Hvordan kan vi bruke simulering til å øke flyten hos en produksjonsbedrift?

F2: I hvilken grad påvirker type og antall produkt i en ordre gjennomløpstiden?

F3: Hvordan kan redusert variasjon gi et enklere utgangspunkt for produksjonsplanlegging?

RDV har kommet med suksesskriterier for å avgjøre om prosjektet er suksessfullt eller ikke:

- Visualisere hvordan fabrikken er i dag.
- Hvordan må produksjonsrekkefølgen være for at forskjellige typer varer fra samme ordre kommer inn til maling sammen.

1.6 Målformuleringer

Målformuleringene er delt i to deler, resultatmål og effektmål.

For dette prosjektet er det satt følgende resultatmål:

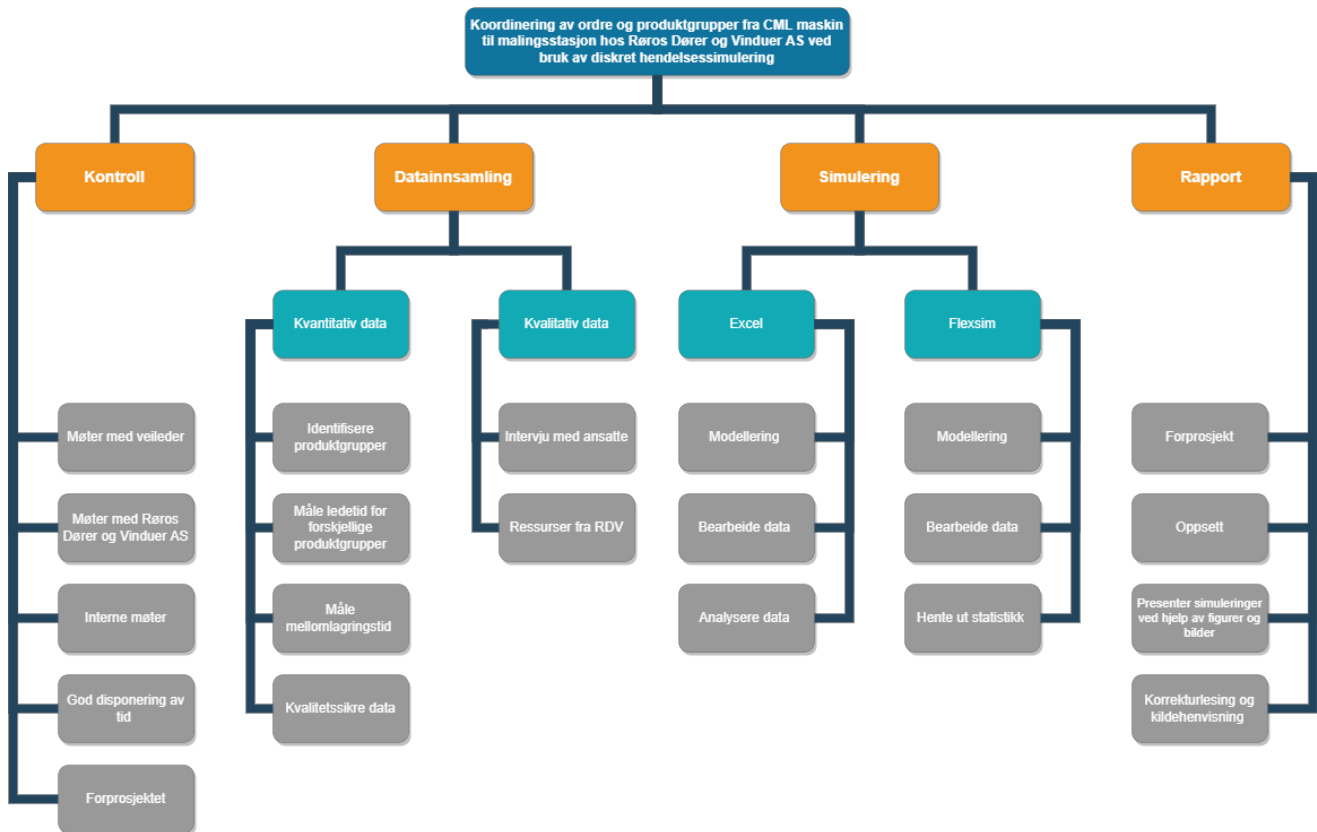
- Sette opp produktgrupper sammen med RDV.
- Skaffe et godt datagrunnlag for analyse og simulering fra CML til malingsstasjon.
- Oppnå bedre flyt ved at ordre kommer samlet inn til malingsstasjon.
- Simulering av typiske ordre gitt av RDV.
- Komme med data som RDV kan benytte til nye kalkyler.

For dette prosjektet er det satt følgende effektmål:

- Økt flyt av varer mellom CML maskin og malingsstasjon i form av koordinerte operasjoner basert på produktgruppe.
- Redusere tid mellom produkter som ankommer malingsstasjonen fra samme ordre.
- Bidra med kvantitativ data for bedre kalkyler for RDV.
- Redusere variasjon i gjennomløpstiden til de ulike produktene.

1.7 Prosjektorganisering

Ved hjelp av en work breakdown structure (WBS) er oppgavene som inngår i prosjektgjennomføringen visualisert i *Figur 2* nedenfor. WBS-en gir et forenklet innblikk i hva rapporten bygger på.



Figur 2: WBS for prosjektet.

2.0 Metode

Metodekapittelet tar for seg hvor og hvordan data har blitt hentet. Videre handler kapittelet om hvordan dataen har blitt brukt og analysert, og hvordan den blir benyttet i simulering.

2.1 Datainnsamling

For å kunne svare på problemstillingen og komme med tiltak/forslag til RDV var det nødvendig med datainnsamling. Både med tanke på det kvantitative rundt ledetider til maskiner og prosesser i de gjeldende avdelingene, men også det kvalitative ved bekjentskap til bedriften og hvordan fabrikken fungerer daglig. God kjennskap til bedriften og detaljer rundt produksjonen er kritisk for å gi resultater.

Bedriftsbesøk

Etter at gruppen tok kontakt med bedriften høst 2021 har det blitt gjennomført en rekke bedriftsbesøk. Høsten 2021 var fokuset på ferdiglageret til bedriften, men la også grunnlaget for dette prosjektet. Besøkene har vært nyttige for å bygge relasjoner innad i bedriften, men har også gitt gruppen en helhetlig forståelse av varestrømmen til bedriften. I løpet av prosjektperioden tilbragte gruppen en arbeidsuke fra 21.02.22 - 25.02.22 på Røros. I løpet av arbeidsuken ble hovedtyngden av dataen samlet inn, og dette la grunnlaget for dataen som blir brukt videre i prosjektet (*Vedlegg 2*). Dataen besto for det meste av kvantitativ data som ble manuelt registrert av prosjektgruppen gjennom tidtaking, men samtaler med medarbeidere ble også til god hjelp.

Manuell Registrering

Innsamling av data innebar manuell tidtaking for ulike deler av prosessene. Samsvarende format på dataen var viktig for at den kunne brukes sammen, og i FlexSim. I tillegg var det sentralt å holde et godt overblikk over fabrikken og prosessene som foregikk samtidig for å kunne innhente mest mulig relevant data. Ulike metoder ble testet for å finne det som fungerte best, og ville gi presist resultat når det skulle benyttes. Kun notering av klokkeslett var en av metodene som ble prøvd, men det ble ikke presist nok for alle operasjoner. Dette kommer av at det var så kortvarige operasjoner (1-3 minutt) som gjorde at heltall ble for upresis, i tillegg kunne den målte verdien bli null. For de lengre og mindre hyppige operasjonene var det ikke nok kapasitet til å få sekundering, dermed ble det brukt klokkeslett og heltall.

Heltallene her utgjorde lite når det er snakk om 60 minutter eller mer (på eksempelvis dører som kan sees i *Vedlegg 2, Dører*). Her ble også kontakt med medarbeidere på gulvet til god hjelp for bedre forståelse av prosessene som foregikk.

For å kunne få nok data for prosessene i døravdelingen så ble en del av registreringen outsourcet til de ansatte der. De registrerte klokkeslett inn og ut på relevante prosesser for oppgaven. Prosessen til skråkarm var for lite hyppig og svært varierende. Her ble de tidligere kalkylene til RDV benyttet (*Vedlegg 1, Døravd.*).

2.2 Litteratursøk

Litteraturen tilknyttet prosjektet er hovedsakelig hentet fra elektroniske dokumenter, artikler, fagbøker og tilhørende ressurser fra tidligere emner i logistikkingeniør-studiet. Litteratursøk ble gjort for å underbygge teorien, og gi et bredere grunnlag for å besvare problemstillingen og tilhørende forskningsspørsmål. Google Scholar er den akademiske søkemotoren som har blitt brukt i prosjektperioden. Søkemotoren tilbyr et bredt utvalg av akademiske tekster og inkluderer en liste med referanser under hver kilde. Deler av litteraturen har også blitt diskutert sammen med veileder. Mye av kunnskapen knyttet til prosjektet er kjent fra emner i logistikkingeniør-studiet, men det har likevel vært nødvendig med gjennomgang av kjent materiale for å kvalitetssikre teori.

2.2.1 Forum

FlexSim er et krevende program, og prosjektgruppen har hatt behov for å supplere informasjon om hvordan utføre og utforme visse handlinger i FlexSim gjennom deres forum: answers.flexsim.com. I forumet er det mulig å stille spørsmål og se svar. Utviklere og eksperter på programvaren gir kvalifiserte svar, som må godkjennes av den som stilte spørsmålet for å sikre at svaret er korrekt. Etersom prosjektgruppen bare hadde innledende kunnskap til programvaren i starten av prosjektet har forumet blitt benyttet hyppig for å sikre en velfungerende modell.

2.3 Visualiseringsverktøy

Å benytte ulike visualiseringsmetoder er praktisk og gir raskt oversikt over prosesser, flyt og arbeidsoppgaver knyttet til prosjektet. I tillegg er det nyttig for å presentere for eksterne parter. Visualisering har gjort at prosjektgruppen enkelt kunne identifisere problemer og ulikheter som kan benyttes til å ta valg for prosjektets fremgang.

2.3.1 Work breakdown structure

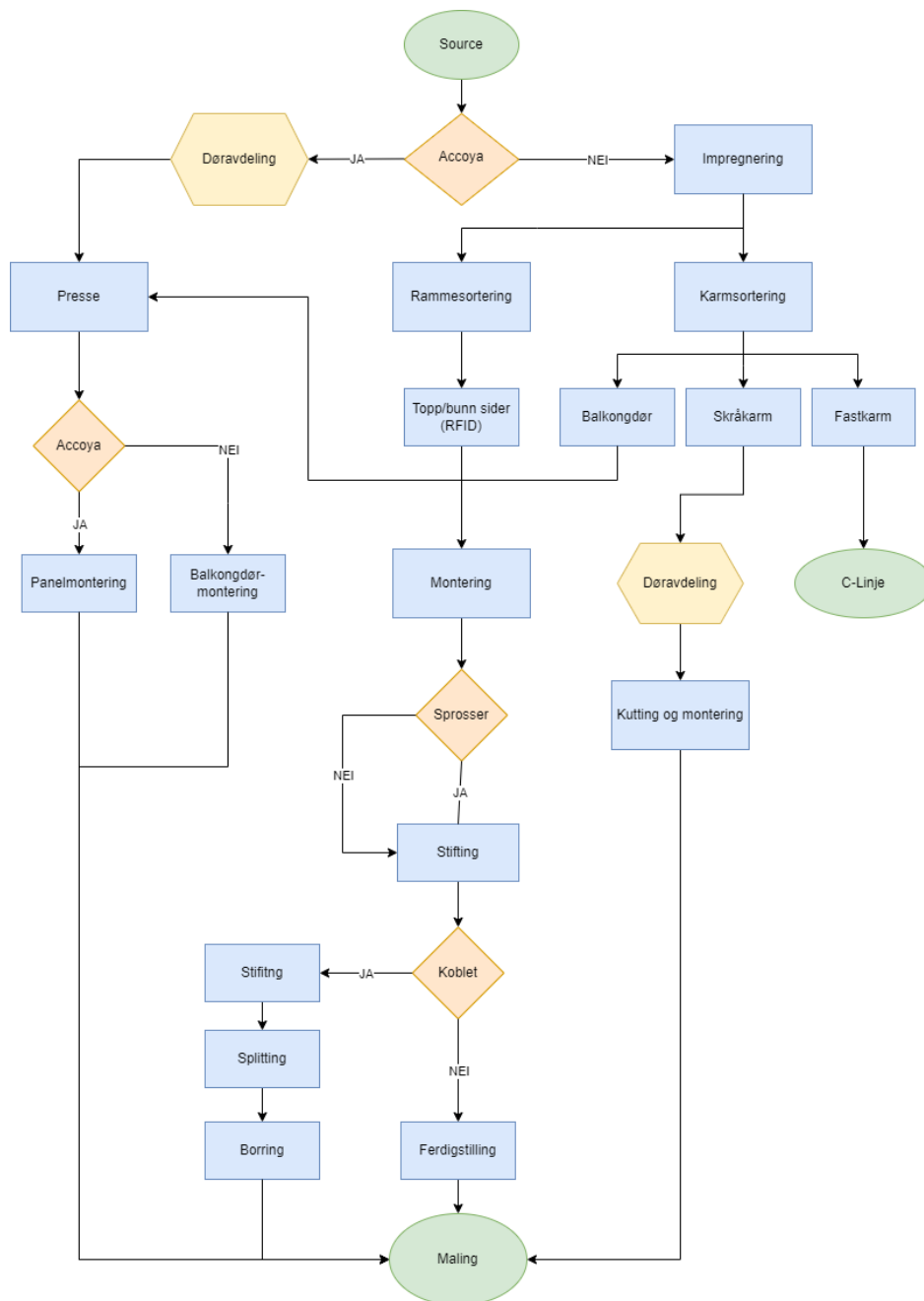
WBS ble brukt til å holde oversikt over aktivitetene som var nødvendig for å gjennomføre prosjektet. I tillegg har den fungert som en sjekkliste for hver av hovedoppgavene. WBS tilhørende denne rapporten er en-dimensjonal, ettersom prosjektgruppen hadde behov for at den skulle være enkel, konkret og synlig. Den er særlig nyttig sett sammen med milepælene og Gantt-diagrammet fra forprosjektet (*Vedlegg 3*), som spesifiserer tidsrom og frister til de oppgavene fra WBS-en.

2.3.2 AutoCAD

For å behandle layout tegninger fra RDV har gruppen benyttet seg av AutoCAD. Tegningene krever spesielle programmer, slik som AutoCAD for å kunne åpnes og leses. Tegningene er av hele fabrikk, men med AutoCAD kunne gruppen tilpasse og fjerne unødvendige deler etter behov. Layout tegningen måtte tilpasses slik at den kunne brukes i simuleringmodellen som en mal å bygge etter. Malen ga forhold og posisjonering av ulike stasjoner i modellen.

2.3.3 Flytskjema

Flytskjema har blitt benyttet til å sammenfatte og enkelt få oversikt over flyten inne på avdelingene i fabrikk. Flytskjemaet bruker ulike former som sier noe om hva som skjer ved et bestemt punkt. Oval betyr start/slutt for flytskjemaet. Diamant er et beslutningspunkt. Rektangel er prosess eller en handling. Heksagon er før-prosess, en nødvendig handling før en prosess. Flytskjema ble brukt til å utforme simuleringsmodellen, og sikret implementering av essensielle steg og rett rekkefølge på prosessene. *Figur 3* viser produksjonsflyten for produktgruppene.

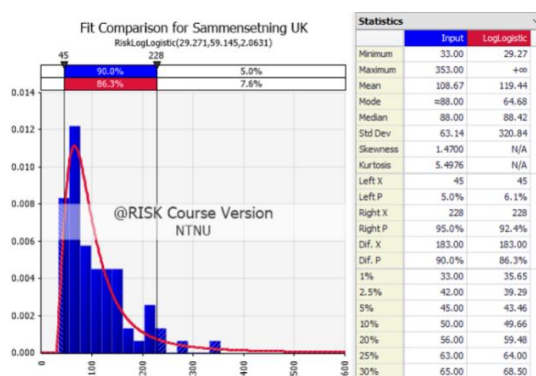


Figur 3: Flowchart for produksjon.

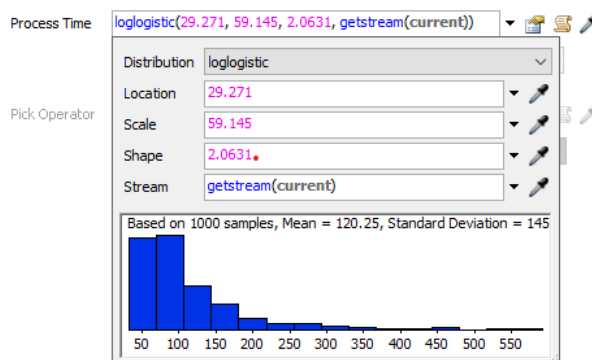
2.3.4 @RISK

@RISK ble brukt til visualisering av statistiske data (*Vedlegg 4*). Alle målinger med tilstrekkelig datamengde/behov ble fremstilt i @RISK for å se beste statistiske fordeling basert på Bayesian information criterion (heretter BIC) og Akaike information criterion (heretter AIC). I tillegg gir @RISK en enkel oversikt over minimum, maximum, mean, mode, median og standard deviation. Når en statistisk fordeling er valgt gis verdier som enten scale, shape eller location som kan brukes til å lage den valgte fordelingen i FlexSim. I *Figur 4* nedenfor som viser fit comparison for «Sammensetning UK» er LogLogistic-fordeling valgt. Den røde grafen er LogLogistic, og de blå søylene er input fra målingene. Til høyre i *Figur 4* finnes tabellen med oppsummering av ulike statistiske faktorer.

Figur 5 viser hvordan @RISK fungerer inn i en FlexSim prosess, utfra *Figur 4*. Verdiene for location, scale og shape kommer fra Excel-formelen til @RISK. Formelen er gitt nest øverst i *Figur 4* ved «RiskLogLogistic(29.271,59.145,2.0631)» som medfører location lik 29.271, scale lik 59.145 og shape lik 2.0631. Dette gir en tilsvarende fordeling som visualiseres nederst på *Figur 5*.



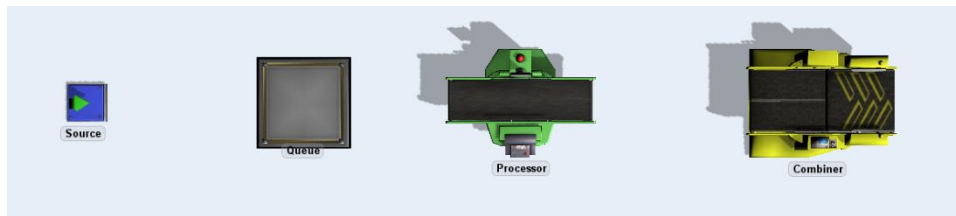
Figur 4: Eksempel på @RISK fordeling.



Figur 5: Eksempel på fordeling i FlexSim.

2.3.5 FlexSim

I prosjektet blir FlexSim brukt som simuleringsverktøy. Ved å bruke FlexSim har prosjektgruppen visualisert alt av prosesser, mellomlager og ferdigvarelager til RDV (Vedlegg 5).



Figur 6: Oversikt over moduler i FlexSim.

Figur 6 viser forskjellige moduler som har blitt brukt for visualisering av forskjellige stasjonene hos RDV. Fra venstre:

- Source: En source brukes til å lage produkter som sendes ut i modellen.
- Queue: En queue brukes til å lagre produkter imellom stasjoner, før den blir sendt videre i produksjonen.
- Processor: En processor brukes til å visualisere operasjoner som skjer i fabrikken, som f.eks. sortering.
- Combiner: En combiner brukes til å kombinere to produkter til et nytt produkt, som f.eks. montering av et vindu eller dør.



Figur 7: Fabrikkens layout til RDV i FlexSim.

2.4 Produktgruppering

Produktgrupper ble opprettet for å enklere kunne simulere og samle data, samt at det er mer oversiktlig. Produkter innen samme produktgruppe går gjennom samme prosesser og har som oftest neglisjerbare forskjeller. Grupperingen ble gjort i samarbeid med RDV hvor fokuset var på de mest hyppige produktene fra deres produksjon. Det vil si at gruppene ikke tar for seg hele produktkatalogen til RDV, det kommer av at det er spesielle ordrer som tar lengre tid enn et vanlig produkt og arbeides med utenfor produksjonslinjen. Det ble delt opp i totalt 6 grupper som vist nedenfor.

1. Koblet vindu

Et koblet vindu består av to rammer av trykkimpregnert, laminert, fingerskjøtt og kvistfri furu, som er montert sammen og skaper et isolerende luftlag imellom [4].

2. Ukoblet vindu/Standard Vindu

Et standard vindu består av en ramme av trykkimpregnert, laminert, fingerskjøtt og kvistfri furu. Videre leveres den som side- og topphengslet og side- og toppsving [4].

3. Fastkarm

Fastkarm består av karm av trykkimpregnert, laminert, fingerskjøtt og kvistfri furu og levers uten åpningsvindu [4].

4. Skråkarm

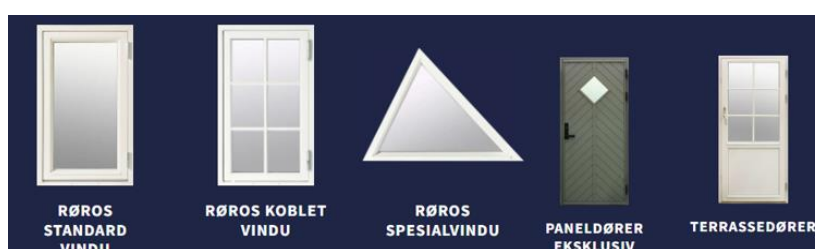
Skråkarm er likt som fastkarm men er vinduer som er utenfor standard mål og utforming [4].

5. Ytterdører/Paneldører

Paneldører lages med ramtre i accoya fylt med isolasjon. Med en trykkimpregnert karm og fingerskjøtt furu [5].

6. Terrassedører/Balkongdører

Terrassedører består av ramme og karm i trykkimpregnert, laminert, fingerskjøtt og kvistfri furu [5].

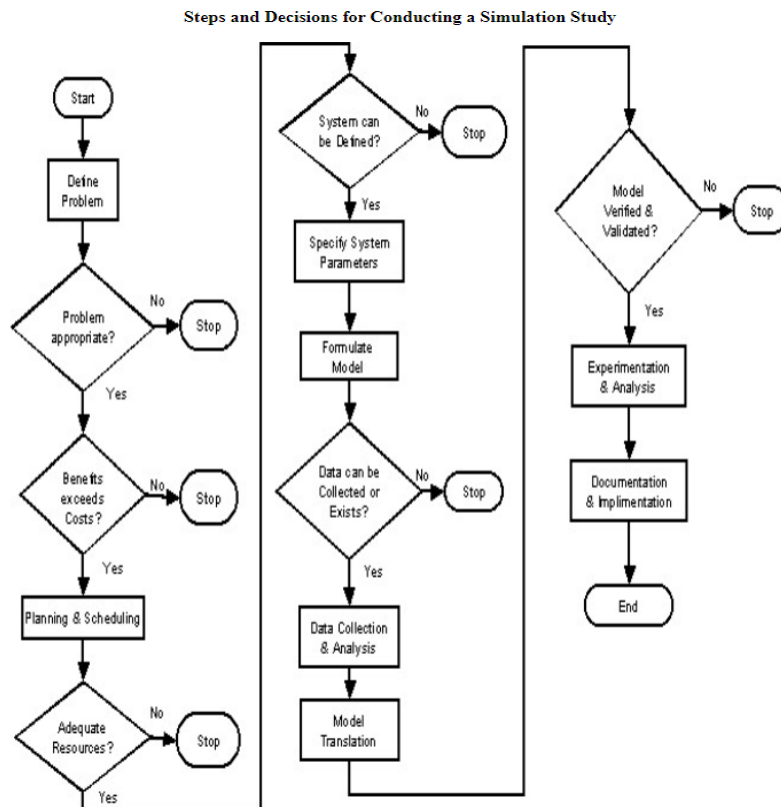


Figur 8: Oversikt over produktgruppene [4] [5].

Alle bitene (rammer og karrer) som kommer inn i produksjonen blir produsert i CML maskinen. Etter det må alle biter innom trykkimpregnering, utenom accoya bitene siden disse allerede er behandlet.

2.5 3D-Modell

For å kunne bygge en simuleringsmodell så vil startfasen bestå av å definere problemet som skal løses i oppgaven. Videre brytes prosjektet ned i arbeidspakker (*Figur 2: WBS for prosjektet.*), dette ble gjort i forprosjektet, hvor et Gantt-skjema også ble satt opp for å forsikre at prosjektgruppen hadde tilstrekkelig med tid for å kunne gjennomføre simuleringen (*Vedlegg 3*). Etter dette må systemet, altså fabrikken, analyseres og et flowchart settes opp for å forstå hvilke variabler som må tas i betraktning. Når variablene har blitt satt, bestemmes det hvilken type data som skal samles, enten eksisterende eller ny data. Fabrikken må deretter bygges opp i et program, i dette tilfellet FlexSim hvor dataen som har blitt samlet implementeres [6].



Figur 9: Simulering steg for steg [6]

Verifisering av 3D-modell

Verifisering av modellen er en viktig komponent for å forsikre at modellen utfører simuleringen riktig og uten feilmeldinger. Modellen tar for seg en rekke prosesser hvor to produkter blir sammensatt til et produkt. Her var det viktig å følge prosessene for å forsikre at riktige komponenter ble sammensatt. For å verifisere at modellen fungerte til sin hensikt ble det fullført en simulering på 5 arbeidsdager hvor input og output for modellen ble sjekket mot hverandre. Feilsøking og feilretting har vært en kontinuerlig prosess gjennom hele prosjektperioden.

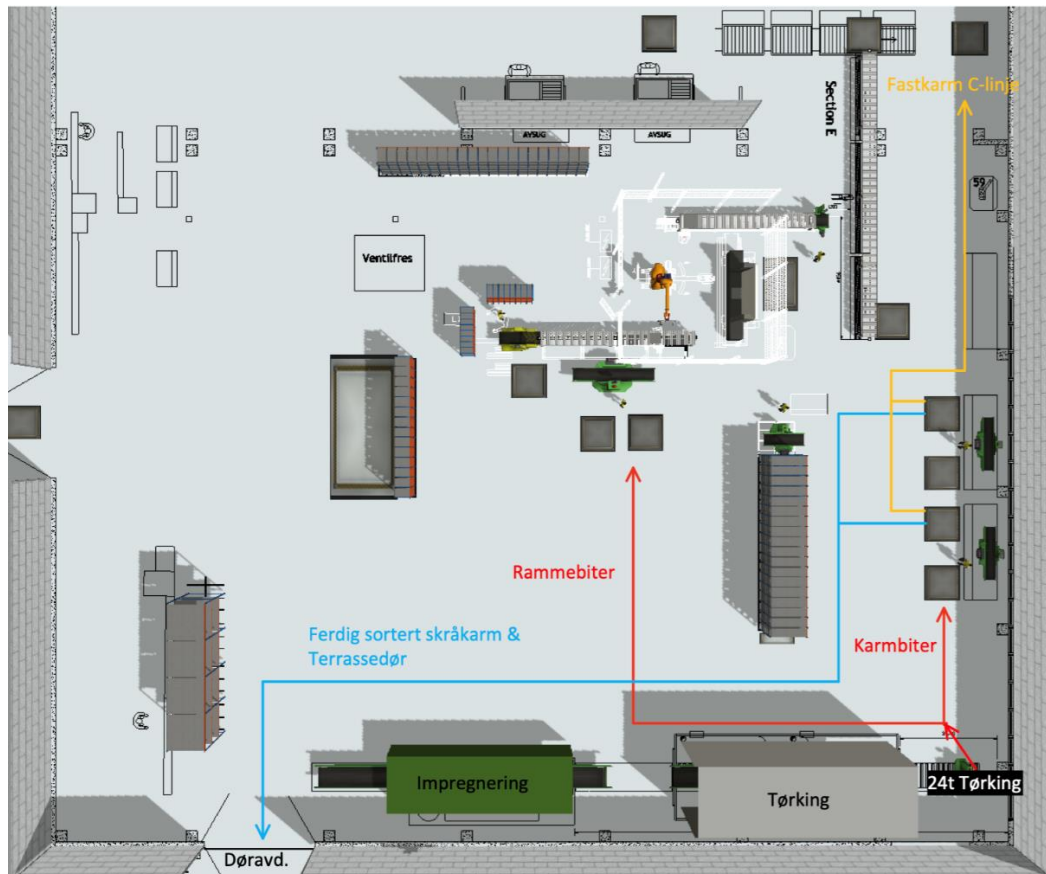
Modellens oppbygging

Modellen av fabrikken til RDV er bygget ved å bruke programmet FlexSim v. 20.0.10 (*Vedlegg 5*). Modellen bruker planløsningen til RDV som fundament og er bygget opp videre fra den. Tidligere ble oppgaven avgrenset til to avdelinger, og er dermed disse som blir visualisert i modellen (*Figur 1*).

Alle produkter som kommer inn i de to avdelingene kommer fra CML maskinen, dette er visualisert med tre Sources (Ramme, Karm og Dør) som bestemmer antall biter med materiale som kommer inn i fabrikken. Bitene kommer inn på et gitt tidspunkt (*Vedlegg 6*) hvor alle bitene må gjennom en impregneringsprosess (utenom accoya biter). Selve prosessen fra impregneringsstasjonen og tørking tar 4.5 timer, når denne prosessen er ferdig må bitene stå i 24 timer til tørking før de kan brukes videre i produksjonen. Etter denne prosessen sendes bitene til riktige stasjoner.

RammeKarmImpregnering

På RammeKarm avdelingen deles bitene inn til to stasjoner etter tørkeprosessen. Rammebiter blir sendt Sortering Ramme, imens karmbiter blir sendt til Sortering Karm.



Figur 10: Fordeling av produktgrupper etter impregnering i FlexSim.

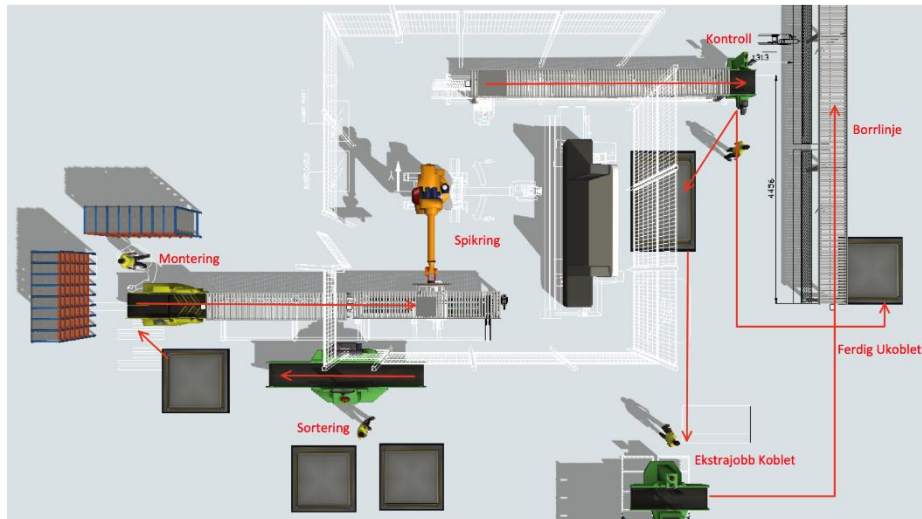
Ramme

Alle rammebiter som kommer fra tørking går gjennom en sorteringsprosess. Delene som kommer inn til sortering blir sjekket grundig for feil og mangler. Bitene blir sortert slik at tilsvarende topp og bunn ligger sammen i en tralle hvor de får et hyllenummer. Det samme blir gjort med siderammene som plasseres i en annen tralle som har samme hyllenummer som toppen og bunnen til vinduet som skal monteres. Her blir også sidene markert med en RFID for å kunne følge opp vinduet gjennom produksjonen.



Figur 11: Eksempel på ferdig sorterte rammer i en tralle. Topp og bunn til venstre, og sider til høyre.

Når bitene har blitt sortert flyttes de til monteringsprosessen (*Figur 12*). Her blir topp, bunn, sider og eventuelle sprosser samlet og limt sammen før de sendes på rullbånd inn til en robotpresse som spikrer hvert hjørne. Når vinduet er spikret sammen sendes det ut fra roboten, her blir vinduet kontrollert av en ansatt. Vinduet blir sjekket for feil, overflødig lim blir tørket av og diagonalen av vinduet blir sjekket for å forsikre at den har riktig form. Når kontrollen er ferdig er ukoblede vinduer klare til maling, imens koblede vinduer må gjennom en ekstraprocess bestående av spikring, splitting, stifting av sprosser og en ekstra sjekk av begge rammene. Videre sendes de gjennom en automatisk borrlinje, deretter er de klare til maling.



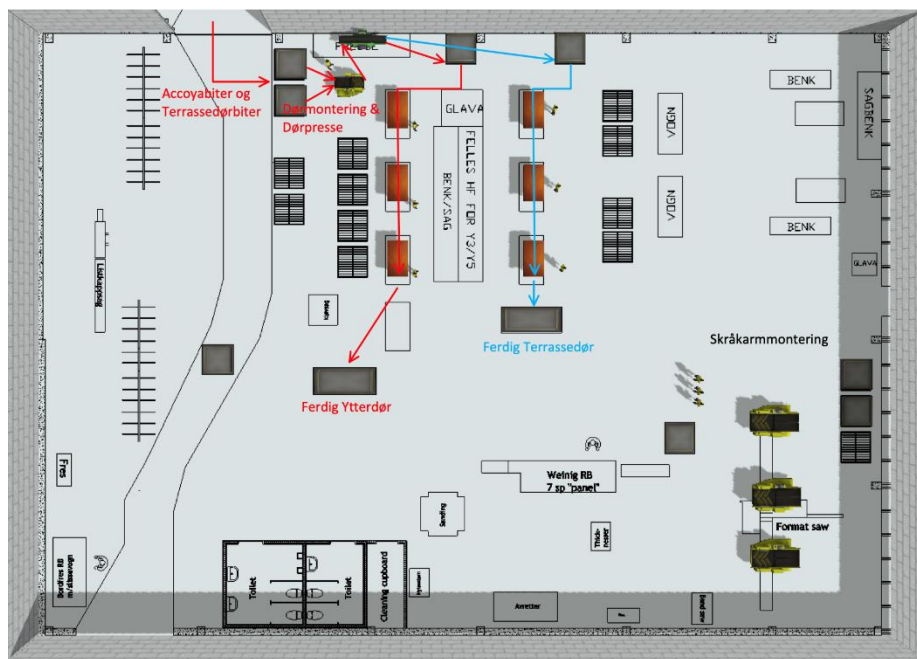
Figur 12: Oversikt over rammeavdelingen i FlexSim.

Karm

Alle karmbiter som kommer fra tørking går også gjennom en sorteringsprosess. Her har allerede bitene blitt delt opp i topp og bunn, og sider fra CML maskinen og sendes til tilsvarende stasjoner. Her blir bitene grundig sjekket for feil og mangler. Karmbitene består av fastkarm, skråkarm, dørrammer og dørkarmer. I oppgaven oppfattes dørkarmer som en del av fastkarmer siden stasjonen disse bitene blir sendt til etter sortering ikke er innenfor oppgavens avgrensinger. Fastkarmer og dørkarmer har ingen flere prosesser på denne avdelingen etter sortering og sendes til C-linjen til RDV, disse ses derfor på som klare til maling etter sortering. Skråkarmer og dørrammer blir sendt videre inn til døravdelingen. Siden skråkarmer er spesialbestilte vinduer krever de en rekke nøye og tidkrevende operasjoner, her må vinkler for vinduene kuttes manuelt før de kan monteres og sendes til maling.

Døravdeling

I denne oppgaven består døravdelingen hovedsakelig av fire prosesser (Figur 13). Som nevnt tidligere trenger ikke accoyabiter (Ytterdører) å impregneres. Siden de allerede er impregnert kan disse gå rett til første stasjon som er dørmontering og presse, i motsetning til terrassedører som først må gjennom karmsortering. Etter montering og dørpresse deles dørene inn til hver sin produksjonslinje. Her krever paneldører mer tid dersom dette er en mer krevende prosess med flere detaljer. Deretter sendes dørene til maling.

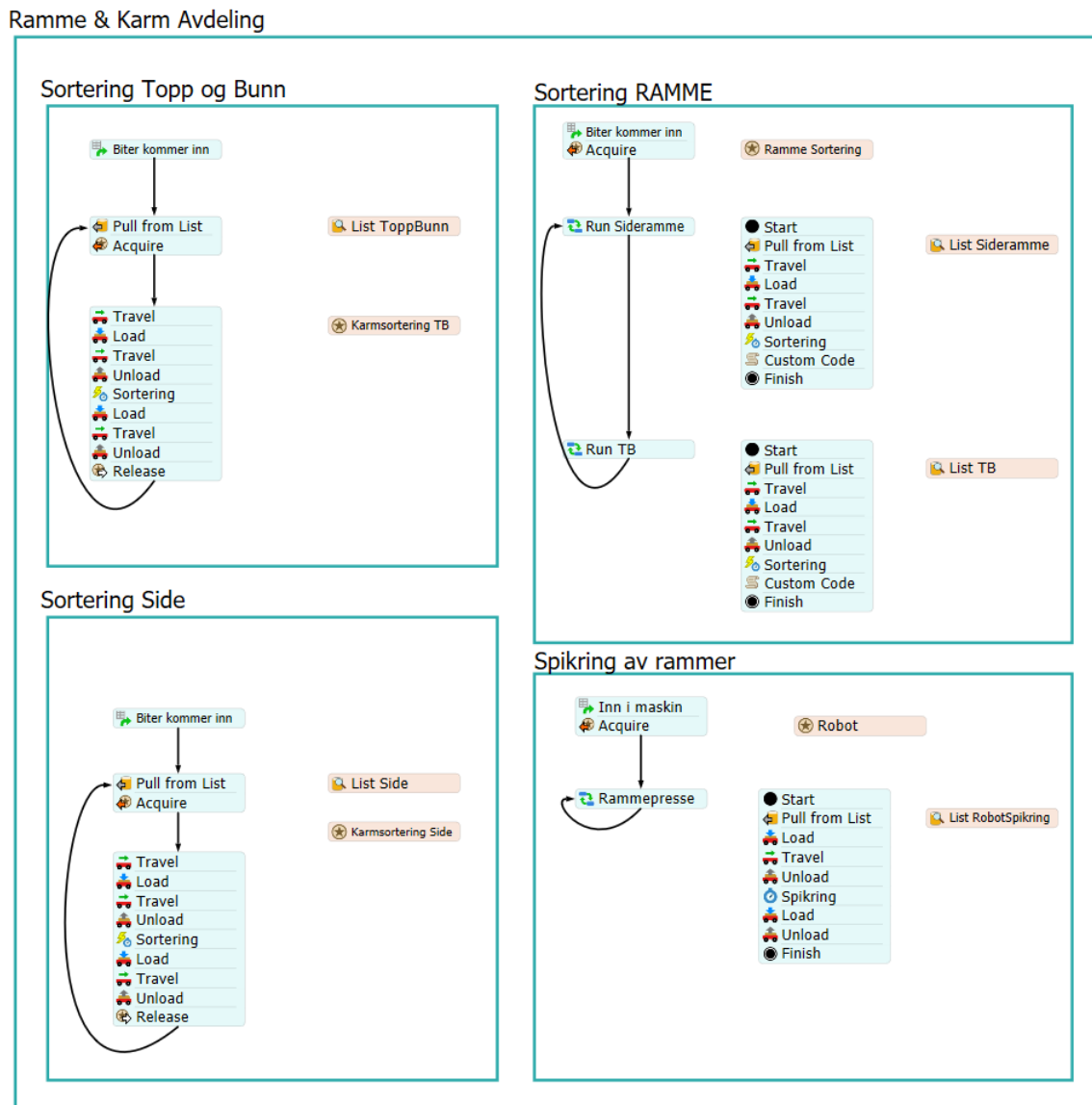


Figur 13: Oversikt over døravdeling i FlexSim.

Logikk i modellen

3D-modellen bruker en blanding av koblinger imellom stasjoner, Process flow og manuell programmering for å styre vareflyten i fabrikk. I modellen deles hvert produkt opp i to grupper, «XXX Side» eller «XXX TB», hvor TB står for Topp/Bunn. Her teller hver av gruppene som 2 biter, dvs. 1 Side og 1 TB utgjør 4 biter. Dette er gjort for å forenkle prosessene og noe som har blitt tatt hensyn til gjennom hele prosjektet. Når et produkt kommer ut fra CML i FlexSim modellen har alle forskjellige deler fått et eget tall som representerer produktgruppen (full oversikt i Vedlegg 6, Labels FlexSim). Dette gjøres for å holde en bedre oversikt over hvilke produkter som blir sendt hvor. Dette tallet avgjør om produktet er en toppbunn eller side, og hvilken produktgruppe produktet er en del av. Dette tallet brukes kontinuerlig gjennom hele modellen for å bestemme hvor produkter skal og hvor lang tid de bruker gjennom enkelte prosesser.

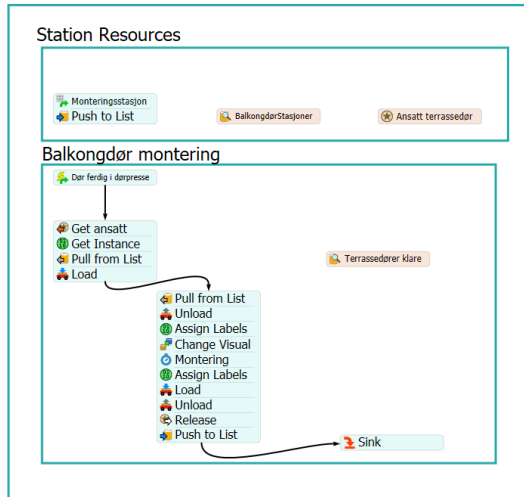
I modellen brukes Process Flow for sorteringsprosessene og robotspikring på RammeKarm avdelingen. På døravdelingen brukes Process Flow på begge produksjonslinjene (Ytterdør og Terrassedør).



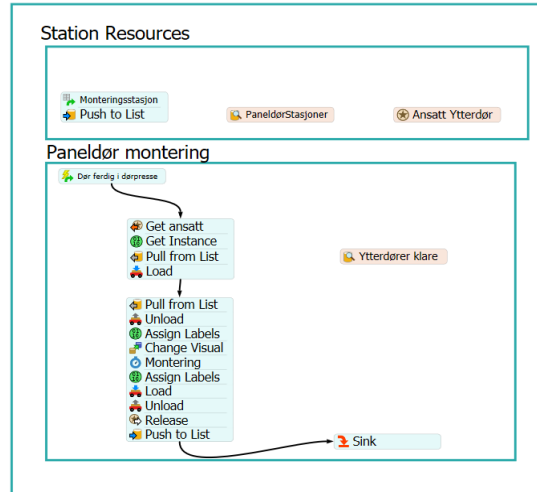
Figur 14: Process Flow for Ramme og Karm avdeling.

Figur 14 viser oversikten over Process Flow for RammeKarm avdelingen. Her består «Sortering Side», «Sortering Topp & Bunn», «Sortering Ramme» og «Spikring av rammer» av veldig like aktiviteter. Når biter kommer inn til mellomlager skal en ansatt plukke og prosessere biten på gitt stasjon og sende den videre i produksjonen.

Terrassedør avd.



Ytterdør avd.



Figur 15: Process Flow for døravdeling.

Figur 15 viser Process Flow for døravdelingen. De består av like aktiviteter, men ulike prosesseringstider. Når en dør kommer ut fra dørpressen deles de opp i ytterdør og terrassedør. Deretter sendes det et signal til en ansatt som henter døren og sjekker om det er en ledig plass på produksjonslinjen. Når døren er ferdig montert blir døren plassert på ferdig lager og et signal om at stasjonen er ledig sendes ut.

Uthenting av data

For å kunne utføre en analyse av de to avdelingene var det viktig å kunne hente ut data fra simuleringen. Ved å bruke Statistics Collector i FlexSim kunne relevant data hentes ut og analyseres. Statistics Collector noterer når produkter ankommer stasjoner og når de er ferdig prosessert. Videre ble dataen eksportert til Excel hvor den ble sortert og visualisert (Vedlegg 7, Vedlegg 8).

Avgrensinger og antakelser ved modellen

I 3D-modellen er mange av avgrensingene for å forenkle fabrikken til RDV og prosessene inne på de to avdelingene. Når produkter kommer inn i produksjonen kommer det i par som nevnt over. Dette gjøres for å forenkle vindu og dør montering dersom dette er en kompleks operasjon å gjøre i FlexSim. Impregneringsprosessen går kontinuerlig i modellen og tar ikke pause. Det vil si at alle produkter er klare til videre prosessering nøyaktig 28.5 time etter de kommer ut fra CML. I tillegg har alle stasjoner en medarbeider tilgjengelig til enhver tid, som gjør at modellen ikke tar hensyn til om medarbeidere trengs et annet sted, eller må utføre andre oppgaver i fabrikken.

I modellen produserer CML maskinen bare en serie hver dag (fra kl. 07 til kl. 15), dette er gjort for å ha en bedre oversikt over produkter som kommer inn og kunne sammenligne forskjellige dagers gjennomløpstid.

Sprosser og post er heller ikke tatt med i modellen siden disse ikke viser seg å være en avgjørende faktor for gjennomløpstiden til produkter som trenger disse.

3.0 Teori

I dette kapitlet introduseres begrep og teorier innen prosjektering, simulering, produksjon og statistikk.

3.1 Prosjektledelse

Prosjektledelse handler om å definere sluttresultat i detalj og angi hvordan det kan gjennomføres. I prosjektplanleggingen bestemmes hvilke aktiviteter som skal utføres, samt når, hvor og i hvilken rekkefølge [7]. Prosjekt iverksettes med utgangspunkt i et behov. Behov er nært beslektet både resultatmål og effektmål. Effektmålene beskriver hvilke virkninger som søkes oppnådd, og uttrykkes som oftest i form av kapasitet eller lignende. Resultatmålene beskriver sluttleveransen, og skal være konkrete og etterprøvbare for å gi god prosjektstyring. Når mål utformes bør de være SMART – Spesifikt i å nå et formål, målbare, ansvarlighetsfordelt, realistisk og tidsrelatert [8].

En forutsetning for prosjektstyring er oppdeling i avgrensede arbeidsoppgaver. Gjennom dette prosjektet har det blitt benyttet én-dimensjonal nedbrytningsstruktur kalt WBS (*Figur 2: WBS for prosjektet.*). WBS benyttes til å identifisere hovedsluttprodukt og handlinger som er nødvendig for å nå prosjektets mål. I tillegg utgjør WBS rammeverk for planlegging og tidssetning av de ulike oppgavene som skal utføres i løpet av prosjektperioden ned til et valgt detaljeringsnivå [9]. Tidsplanlegging kan settes opp på flere måter. I dette prosjektet er det hovedsakelig Gantt-diagram og milepælsplanlegging (*Vedlegg 3*) som er benyttet for å strukturere og planlegge tidsbruk i forhold til satte mål og arbeidsoppgaver. Gantt-diagram har en tidsakse som viser når og hvor lenge de enkelte aktivitetene på den andre aksene er. Milepæler kan integreres inn i Gantt-diagram som trekantede figurer inne i diagrammet.

Fire sentrale poeng i kvalitetsledelse er prosessfokus, riktig første gang, faktabasert styring og reduksjon av variasjon. Kvalitetsledelse har kunden i fokus, og benytter fakta for planlegging av tiltak. Å utnytte kunnskapen til de som står nærmest den daglige driften er kritisk for å sikre kvalitet i prosjektet, og mange gode innspill og mindre tiltak kan til sammen gi et stort bidrag til kvalitetsbilde. Selv om reduksjon av variasjon er et sentralt poeng i kvalitetsledelse så handler det ikke kun om å redusere variasjonen, men også kunne forutsi og håndtere den. Det er ønskelig å redusere variasjon til et minimum ved å finne årsakene til variasjonen [10].

I alle prosjekter er det usikkerhet. Usikkerhet ansees som manglende, eller ufullstendig kunnskap om utfallet av en hendelse eller beslutning [11]. Usikkerhet leder til risiko eller mulighet, blant de viktigste (spesielt for dette prosjektet) finnes usikkerhet for personell, økonomi og teknisk løsning. Usikkerheten i prosjekt kan deles inn i tre ulike typer [12]:

1. Operasjonell usikkerhet – Relatert til valg som gjøres av prosjektgruppen i planfasen og tekniske usikkerhetsforhold i gjennomføringsfasen (indre usikkerhet).
2. Strategisk usikkerhet – Relateres til eierens vekslende vurderinger angående strategi med hensyn på gevinstrealisering/resultat (ytre usikkerhet).
3. Kontekstuell usikkerhet – De ytre omgivelsene som prosjektet er en del av (ytre usikkerhet) [11].

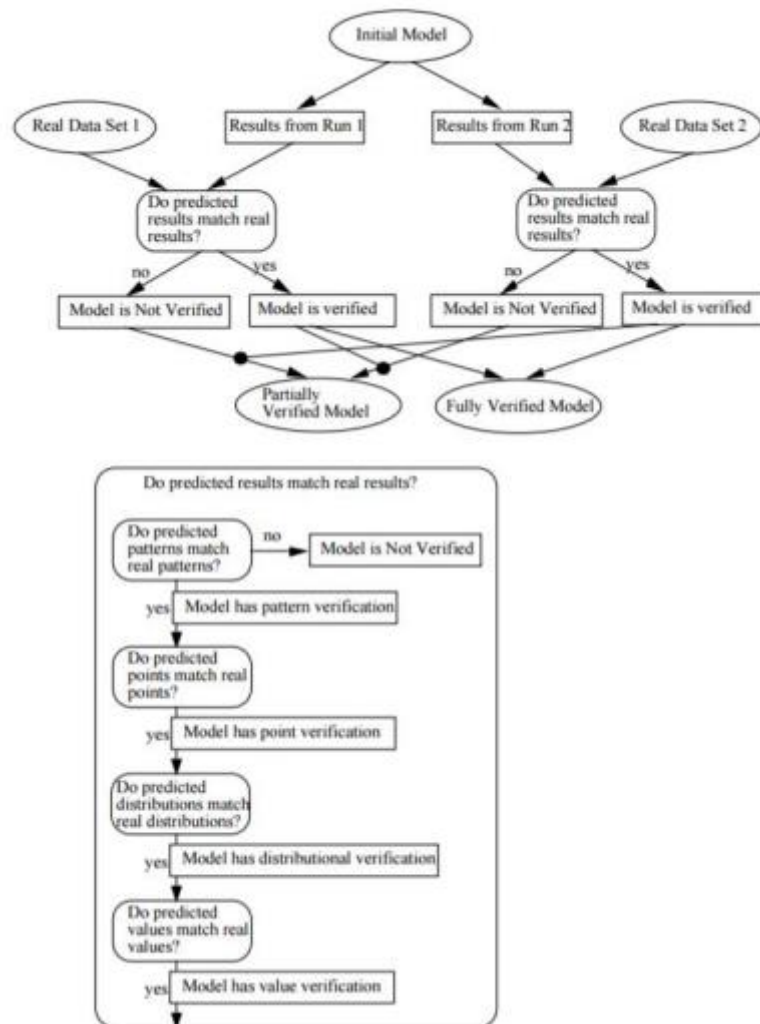
3.2 Simulering

Ved en simulering er målet å gjenskape eller etterligne en situasjon, prosess eller et hendelsesforløp [13]. I dette prosjektet simuleres deler av en fabrikk, som inneholder flere prosesser som påvirker hverandre. Gjennom prosjektarbeidet har det blitt utviklet en simulator, et apparat som etterligner prosesser og hendelser fra fabrikk til RDV.

For å kunne bygge en simulering må det først være definert et passende problem med et definerbart system, der ressursene ligger til rette. En simulering krever spesifiserte parametere som kan bruke data fra virkeligheten, og som kan endres på for å se virkning og effekt. Hvis data ikke eksisterer fra før, må det samles og analyseres slik at det er på et format som passer inn i modellen. Når modellen er validert kan eksprementeringen og analysen begynne, for å teste hypoteser eller situasjoner i en risiko-fri modell [14]. Testene bør dokumenteres og kan benyttes som grunnlag for endringer og implementering i virkeligheten.

Grunnen til at det er ønskelig å simulere er for å enkelt kunne endre på parametere og se påvirkning til et system. En simulering kan være tid- og ressurskrevende å lage, men kan benyttes med tilnærmet ingen ressursbruk, samt at den er risiko-fri og kan kjøres mange ganger på veldig kort tid sammenlignet med virkeligheten. Simuleringen kan avdekke flaskehalser som ikke ellers er lett synlig [14]. Hvis det er usikkerhet rundt hva som forårsaker en flaskehal er det mulig å teste så mange hypoteser som mulig, analysere og dokumentere, for så å gjøre endringer i virkeligheten etter hva resultatet ble.

Verifisering av en modell er teknikker for å validere en modell sine forutsigelser, relativt til et reelt datasett [15]. En verifisering endres ikke modellen, i motsetning til en kalibrering. Verifiseringen demonstrerer at modellens forutsigelser stemmer overens med reel data. Verifiseringen kan skje i ett eller flere steg (Se *Figur 16*). Et enkelt, reelt datasett kan ha noe form for partiskhet i seg. Dermed er verifisering mot flere datasett en sterkere validering enn mot et enkelt datasett, om flere sett er tilgjengelig [15].



Figur 16: Verifisering av simuleringsmodell [15].

3.3 Flexsim

FlexSim er en avansert 3D-simulerings- og analyse programvare. FlexSim kan simulere alt fra produksjon, materialhåndtering, sykehus, varehus, plukkoperasjoner og flyplasser, for å nevne noen applikasjoner. FlexSim sin egenskap til å tilpasse seg bedrifter er et viktig aspekt ved programmet. Brukeren kan tilpasse alt fra layout, grafisk design av produkter og prosesser ved å importere grafiske modeller fra andre programmer som AutoCAD. Prosesser og operasjoner kan enten bruke reell data hentet fra importerte datatabeller eller bruke FlexSim sine forskjellige statistiske fordelinger.

Simuleringer i FlexSim genererer mye statistiske data som kan hentes ut på forskjellige måter. Det kan entes visualiseres ved hjelp av Dashboard funksjonen til FlexSim eller eksportere det til Excel for videre analyse og visualisering. FlexSim gir muligheten for bedrifter til å prøve alt fra nye løsninger, layouts eller nytt utstyr i et risikofritt miljø for å forsikre at kostnader tilknyttet til tid, maskiner og andre investeringer blir vurdert og optimalisert [14].



Figur 17: Steg for modellering i FlexSim [16].

Process Flow

Process Flow er et verktøy i FlexSim som brukes for å visualisere logikken og flyten i modellen på en enklere måte. Brukeren kan både bruke Process Flow som et visuelt verktøy eller for å styre logikken i en 3D-modell. Det gir brukeren mer frihet, og modeller som trenger komplekse koder og logikk kan enkelt settes opp ved å bruke FlexSim sine ferdigprogrammerte kodeblokker. Process Flow åpner opp for flere tilpasningsmuligheter enn hva 3D-modelleringsdelen er kapabel til, og i en velfungerende modell kan anses som hjernen bak modellen.

Statistics Collector

Statistikken som er generert av FlexSim modellen er hentet ut ved bruk av Statistics Collector. Statistics Collector er et verktøy i FlexSim som samler inn data i løpet av en simulering gitt fra parametere satt av brukeren. Når simuleringen kjører samler den på dataen og legger det inn i en tabell som sporer tidspunkter når produkter går inn og ut av prosesser. Brukeren kan enkelt tilpasse Statistical Collectoren til sine behov og bestemme hvilke hendelser eller objekter dataen skal samles fra. Videre kan dataen eksporteres ut fra FlexSim til et regnearkprogram (Excel) for videre analyse eller visualisering.

3.4 Produksjonsplanlegging

Produksjonsplanlegging kan defineres som allokeringen av tilgjengelig produksjonsressurser over tid, som best mulig tilfredsstiller satte kriterier [17]. I planleggingsarbeidet er produksjonsplanen viktig. Når en ordre kommer inn fra kunde vil den settes inn i produksjonsplanen og vil vise nøyaktig når ordren kjøres gjennom produksjonen. Formålet med produksjonsplanlegging er å minimere produksjonstiden og dermed effektivisere ressursbruken i hele fabrikken. For oppgaven betyr dette å koordinere hvilke produktgrupper som må prioriteres først i produksjonen. Med hensikt om å redusere tiden mellom produkter fra samme ordre ankommer ferdigvarelageret. For å kunne utføre dette er det viktig med god oversikt over bedriftens produksjonskapasitet og hver operasjon sin kapasitet, med hensyn til både maskiner og personell [18]. God produksjonsplanlegging bidrar til en større forutsigbarhet, for både kunder og ansatte.

3.5 Akaike- og Bayesian information criterion

AIC og BIC er estimatorer for forutsigelsesfeil, og gir dermed relativ kvalitet av statistiske modeller for et gitt datasett. Begge benyttes som kriterier til valg av modell, hvor modeller med lav AIC- eller BIC-verdi er generelt bedre [19]. Når statistiske modeller blir brukt til å representere data vil det nesten aldri være fullstendig korrekt. En del av dataen blir tapt som følge av å bruke en statistisk modell til å fremstille observerte data. Både AIC og BIC vurderer hvor mye av dataen som har gått tapt, mindre tap betyr at modellen har høyere kvalitet. AIC og BIC tar hensyn til under- og overfitting i vurdering av best passende modell [20]. AIC og BIC deler samme “goodnes-of-fit”, men straffen for om modellen passer, er større for BIC. Dette kommer av formlene som er gitt nedenfor i *Formel 1* og *Formel 2*. Differansen i modellvalg er særlig stor i store datasett, noe som ikke er tilfelle for de fleste datasettene i dette prosjektet [20].

Formel 1: AIC

$$AIC = 2k - 2 \ln(\hat{L})$$

Formel 2: BIC

$$BIC = k \ln(n) - 2 \ln(\hat{L})$$

4.0 Analyse

I analysen presenteres funn og resultater fra oppgaven.

4.1 Problembeskrivelse

Produktgruppene som har blitt laget dekker en stor del av RDV sitt produktsortiment. Gjennomløpstiden til de ulike produktgruppene er forskjellig, og produktgruppene har intern variasjon som har blitt tatt hensyn til i modellen ved bruk av statistiske fordelinger. For å kunne koordinere produktgruppene gjennom produksjonen er det viktig med relevant data, en modell som klarer å prosessere dataen på riktig vis, og en generell forståelse for produksjonsflyten i bedriften. I *kapittel 2.4 Produktgruppering* vises produktgruppene som har blitt laget sammen med RDV, og i *kapittel 2.5 3D-Modell* forklares de forskjellige prosessene produktene krever før de kan sendes inn til maling. Siden omstilling hos CML maskinen er en komplisert prosess og den må utføres imellom de forskjellige produktgruppene, må det settes en plan for hvilke deler som skal produseres først og sist.

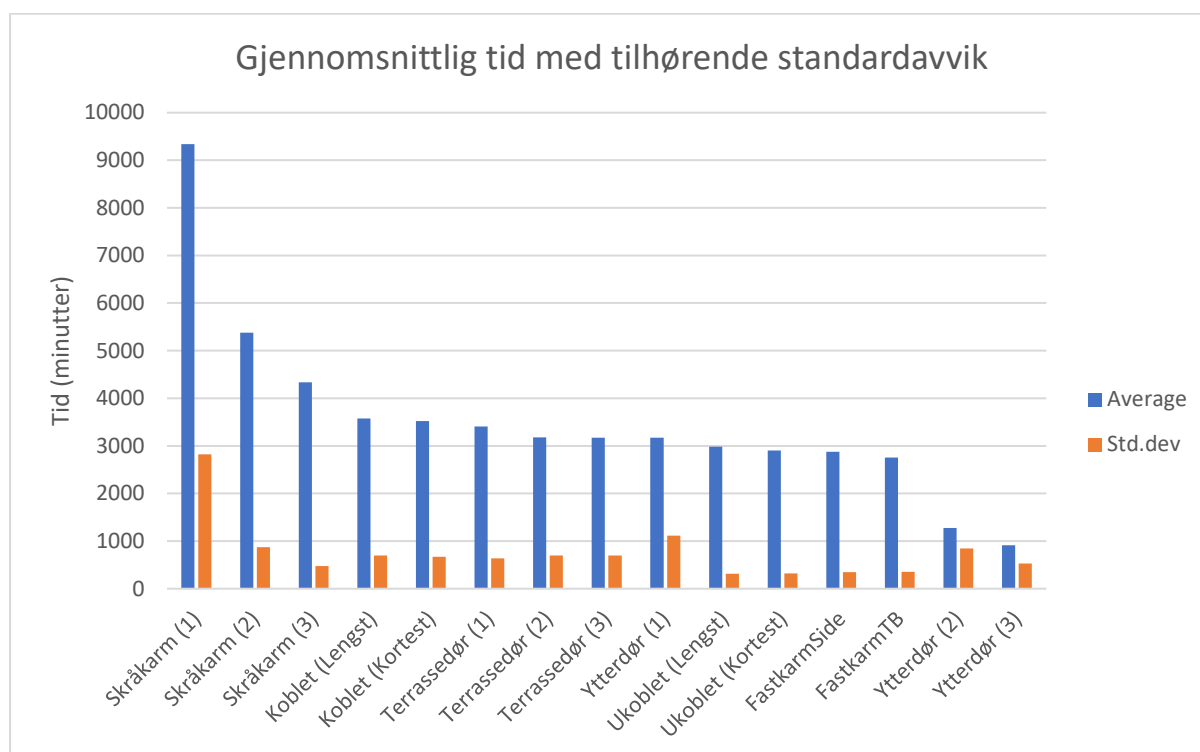
Analysen tar for seg de ulike gjennomløpstidene for produktgruppene for å se om en forbedring kan være oppnåelig ved endringer i produksjonsplanen. I analysen defineres antall ansatte som jobber på en stasjon ved enten (1), (2) eller (3).

4.2 Simulering av produktgrupper

De seks produktgruppene koblet, ukoblet, fastkarm, terrassedør, ytterdør og skråkarm har blitt simulert tilsvarende en hel ukes produksjon. For terrassedør, ytterdør og skråkarm har det også blitt simulert med ulikt antall ansatte på de manuelle monteringsstasjonene (fra en til tre ansatte). For koblet og ukoblet er det to tider basert på når første eller siste nødvendige bit kommer inn fra CML. Som oftest kommer en batch med side-bitene til koblet eller ukoblet inn før batchen til topp/bunn-bitene, og dermed er det to ulike gjennomløpstider til de ferdige koblet og ukoblet vinduene.

Den gjennomsnittlige gjennomløpstiden i produksjonen har blitt fulgt for hele uken, som vist i *Figur 18*. En gjennomsnittlig Fastkarm TB bruker 2753 minutter gjennom produksjonen, mens en gjennomsnittlig Koblet (Lengst) bruker 3577 minutter gjennom produksjonen. Innenfor denne differansen finner vi 10 av 15 målinger som alle er innenfor et intervall på 824 minutter. Dette viser at de fleste produktene vil være ferdig og klar til maling enten på samme eller påfølgende dag.

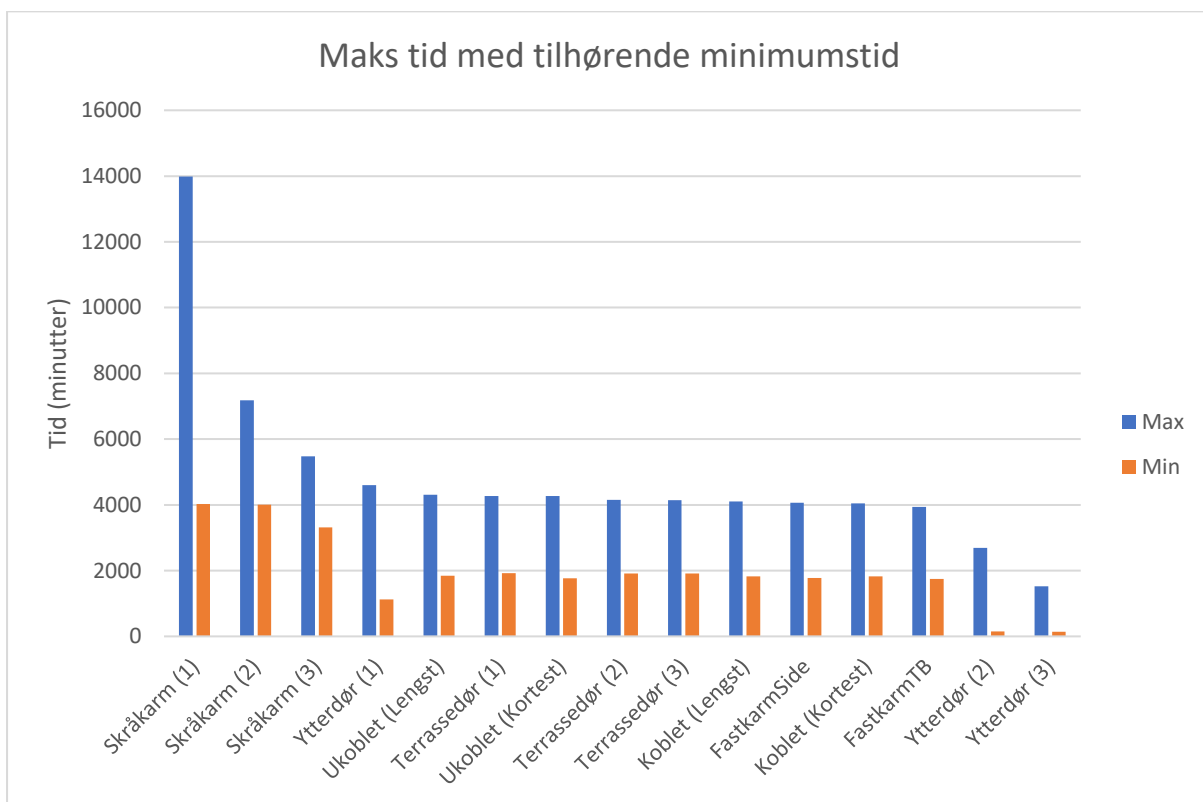
Ytterpunktene i *Figur 18* er fordelt på to forskjellige produkter på ulike ender av skalaen. Skråkarm (1), (2) og (3) har høyest gjennomsnittstid, og Ytterdør (2) og (3) har lavest. Grunnen til at ytterdør har lavest gjennomsnittstid er fordi de ikke trenger å impregneres. Grafen viser påvirkningen av antall ansatte på stasjonene. I tillegg visualiserer den hvilke produktgrupper som bør tas ekstra hensyn til når man planlegger serieproduksjonen, spesielt skråkarm og ytterdør skiller seg ut med tanke på gjennomsnittstiden.



Figur 18: Gjennomsnittlig tid med tilhørende standardavvik.

Standardavviket er også visualisert sammen med tilhørende gjennomsnitt i *Figur 18*. Standardavviket til Ytterdør (2) og (3) er høyt relativt til gjennomsnittet, som gjør at planlegging av produksjonen til ytterdører kan bli feil om avviket ikke tas hensyn til. En del av standardavviket kommer av variasjoner i prosessene og kø i fabrikken. Hovedparten av standardavviket vil komme av at noen produkter må ligge en hel natt ekstra (fra stenging kl. 15 til åpning kl. 07), som er 960 minutter. Dermed er standardavviket en indikator på hvor ofte eller sjeldent de ulike produktene i en produktgruppe blir ferdig på samme dag, basert på hvor høyt eller lavt det er.

Grafen i *Figur 19* fremstiller maksimal med tilhørende minimal gjennomløpstid. Alle målingene til ytterdør er blant de minste, igjen på grunn av at de ikke må gjennom impregnering. Grunnen til at Ytterdør (2) og (3) har veldig lav tid kommer av at de blir sortert og sendt videre med en gang, så umiddelbart inn til dørpresse og montering. For Ytterdør (1) så har det samme skjedd i sorteringen og dørpressen, men det har vært kø inn til montering, som gjør at den ikke har fått like kort gjennomløpstid som de to andre. De fleste minimumstider er like siden det er impregnering og tørking som tar mye av tiden, dermed er det kun produksjonsløpet og variasjonen etter tørking som er forskjellen i minste tid hos de ulike produktgruppene.



Figur 19: Maks tid med tilhørende minimumstid.

Køen hos Skråkarm (1) får et maksimum som er over tre ganger større enn de fleste målingene. Kødannelsen foran montering av Skråkarm (1) gjør at den siste skråkarmen kommer noen dager senere, men det blir halvert i Skråkarm (2), og videre redusert i Skråkarm (3). Ellers er det jevnt mellom produktene på omtrent 4000 minutter, hvor kun Ytterdør (2) og (3) skiller seg ut.

4.3 Simulering av ordre

Differansen på tid inn til malingsstasjonen er fast (med hensyn til antall ansatte på jobb) på ordre med kun koblet, ukoblet eller fastkarm på seg. Differansen på produkter i en ordre med enten terrassedør, ytterdør eller skråkarm varierer med antall ansatte på stasjonene.

I modellen ble det lagt inn en hel ukes produksjon (5 dagsserier) for de produktgruppene som oppgaven dekker. På den fjerde dagen ble ti ulike ordrer fulgt (*Vedlegg 7*), de ti ordrene var kombinasjoner av ulike produktgrupper med varierende antall produkter. Blant de ti seriene hadde syv av de produkter fra enten skråkarm, terrassedør eller ytterdør. Det vil si at syv av ordrene hadde en ekstra parameter i variasjon mtp. antall ansatte på jobb. Dette er tatt hensyn til i analysen av ordrene, hvor simuleringen er gjennomført med både en, to og tre ansatte på gjeldende stasjoner.

Flere ansatte gjør at gjennomløpstiden til produktene går raskere siden det er flere stasjoner som blir brukt, men det gir ikke nødvendigvis bedre koordinerte ordre. Blant de syv ordrene ga fire av de høyere differanse med tre ansatte. Bakgrunnen for dette er at produktene går raskere gjennom, og kommer unødvendig tidlig inn til maling. Tre av ordrene hadde mindre enn 60 minutter forskjell fra en til tre ansatte. Denne tiden er tilnærmet neglisjerbar når man ser på helhetlig produksjon og variasjon.

Tre av ordrene hadde kun ukoblet og fastkarm. De hadde henholdsvis 19 minutter, 47 minutter og 11 minutter differanse fra første til siste ferdig. Dette tyder på at problemet ikke ligger hos de to produktgruppene, som også står for det største volumet av vareflyten. Like observasjoner blir gjort inne i andre ordre når det gjelder koblet og fastkarm. Eneste forskjell på ukoblet og koblet i praksis er ekstraarbeid etter kontroll, for koblede vinduer. Det ekstraarbeidet utgjør noen minutter ekstra per koblet vindu.

Hvilke ordrer inneholder størst differanse

Tabell 1: Største differanse for ordre 468667.

| Ordre 468667 | | |
|---|---------|---------|
| Største differanse med ulikt antall ansatte på stasjonene | | |
| 3 | 2 | 1 |
| 1222.32 | 1222.32 | 1222.32 |

Ordre 468667 (Tabell 1) (tidene er gitt i minutter for alle ordre) inneholder 15 ukoblet, en terrassedør og 16 fastkarmer. Her er det stor forskjell siden fastkarm kommer i to ulike batcher som gjør at omtrent halvparten av de blir ferdig sent 6. mai i simuleringen, mens de andre blir ferdig tidlig 7. mai. Det utgjør 960 minutt av tiden siden fabrikken er stengt. Realistisk sett er det bare overkant av 240 minutter forskjell fra første til siste ferdig i aktiv produksjon (tiden fabrikken produserer). Grunnen til at noen blir ferdig dagen før er at de kommer tidlig inn fra CML. Det er verdt å nevne at antall ansatte ikke utgjør noe forskjell på største differanse, men ved to og tre ansatte blir den ene terrassedøren ferdig sent 6. mai, sammenlignet med en ansatt som fullfører tidlig 7. mai. Det utgjør ca. 1000 minutter totalt, men kun overkant av 60 minutter i aktiv produksjon. Dermed lyver den store differansen til ordren, ettersom produktene faktisk blir ferdigstilt tett etter hverandre, men de kommer sent en dag og tidlig neste.

Tabell 2: Største differanse for ordre 468682.

| Ordre 468682 | | |
|---|---------|---------|
| Største differanse med ulikt antall ansatte på stasjonene | | |
| 3 | 2 | 1 |
| 3081.30 | 3081.30 | 1386.33 |

Ordre 468682 (Tabell 2) inneholder fire koblet, to ytterdører og syv fastkarmer. Ordren er et godt eksempel på at ytterdører har en kortere gjennomløpstid gjennom produksjonen enn andre produktgrupper. Derimot, så er det kun problematisk med to eller tre ansatte på stasjonene. Ved en ansatt på ytterdører så blir dørene ferdig 70 minutter før siste koblet, i motsetning til to og tre ansatte som gjør ferdig dørene en hel arbeidsdag tidligere (derav differansen).

Tabell 3: Største differanse for ordre 468684.

| Ordre 468684 | | |
|---|---------|---------|
| Største differanse med ulikt antall ansatte på stasjonene | | |
| 3 | 2 | 1 |
| 3007.42 | 2820.87 | 2487.15 |

Ordre 468684 (Tabell 3) inneholder ti ukoblet, to ytterdører, en terrassedør og 13 fastkarmer. Her er ukoblet og fastkarm relativt samkjørt, forskjellen kommer av at både side og topp/bunn bitene til ukoblet kommer sent i forhold til fastkarm sine side og topp/bunn biter. Som Figur 20 viser, er ytterpunktene (Exittime) sentrert rundt ytterdør og terrassedør for ordren.

| Ordre 468684 | | | | |
|--------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| | ItemName | Entertime Side | Entertime TB | Exittime |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:09 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:11 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:14 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:16 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:18 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:21 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:23 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 11:25 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:25 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 12:05 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:27 |
| | Ukoblet-468684 | 05.05.2022 12:05 | 05.05.2022 12:45 | 07.05.2022 11:31 |
| | ItemName | Entertime Side | Entertime TB | Exittime |
| 1 PERS | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 07.05.2022 14:17 |
| | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 08.05.2022 08:12 |
| | Terrassedør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 07.05.2022 08:26 |
| 2 PERS | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 12:30 |
| | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 12:37 |
| | Terrassedør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 07.05.2022 07:33 |
| 3 PERS | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 09:23 |
| | Ytterdør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 12:30 |
| | Terrassedør-468684 | 05.05.2022 07:00 | 05.05.2022 07:00 | 07.05.2022 07:33 |
| | ItemName | Entertime Side | Entertime TB | Exittime TB |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 08:15 | 05.05.2022 09:55 | 07.05.2022 08:07 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 08:15 | 05.05.2022 09:55 | 07.05.2022 08:07 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 08:15 | 05.05.2022 09:55 | 07.05.2022 08:07 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 08:15 | 05.05.2022 09:55 | 07.05.2022 08:07 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 08:15 | 05.05.2022 09:55 | 07.05.2022 08:07 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |
| | Fastkarm-468684 | 05.05.2022 07:50 | 05.05.2022 09:30 | 06.05.2022 14:44 |

Figur 20: Fullstendig oversikt for ordre 468684.

Med en ansatt (1 PERS som det er benevnt i *Figur 20*) på stasjonene kommer ytterdør desidert sist, selv om den ikke impregneres. Dette kommer av at en person ikke klarer å ta unna mange ytterdører om det er flere på en dagsserie/kø fra tidligere dager. En ytterdør tar alt fra 2-4 timer kun på montering (uten dørpresse), dermed er det gitt at en ansatt ikke kan ta mange på en 8 timers arbeidsdag. Det som har skjedd er at det har vært kø på ytterdør for den ene ansatte, i motsetning til simuleringen med to eller tre ansatte. De har derimot det problemet at de blir ferdig veldig tidlig i forhold til resten av produktene. Dette peker mot et dynamisk system for hvor mange ansatte som bør være på ytterdør.

Tabell 4: Største differanse for ordre 468691.

| Ordre 468691 | | |
|---|--------|--------|
| Største differanse med ulikt antall ansatte på stasjonene | | |
| 3 | 2 | 1 |
| 377.72 | 356.68 | 356.68 |

Ordre 46891 (*Tabell 4*) inneholder fire koblet, en terrassedør og fem fastkarmer. Alle produkter ferdigstilles samme dag, som er ønskelig. Likevel er det 6 timer forskjell fra første til siste produkt, som hovedsakelig kommer av at de tre produktgruppene ikke kommer sammen på en batch fra CML. Omstillingen på CML gjør at den ikke er egnet til småserie eller one-piece flow, derfor kommer bitene som trengs til ordrene ulikt uansett om det hadde vært optimalt å få alt på samme batch. Hvis CML har begynt å produsere eksempelvis sidebitene til koblet vindu, vil de produsere ferdig alle tilsvarende biter for hele dagsserien før de omstiller og fortsetter med en ny type biter.

Tabell 5: Største differanse for ordre 468706.

| Ordre 468706 | | |
|--------------------|---------|---------|
| Største differanse | | |
| 3 | 2 | 1 |
| 1296.88 | 2976.58 | 9955.90 |

Ordre 468706 (Tabell 5) inneholder en ukoblet, en fastkarm og to skråkarmer. Denne ordren har desidert størst differanse fra første til siste produkt, samt størst variasjon fra en, to og tre ansatte. Ukoblet og fastkarm i ordren ankommer maling ti minutter mellom hverandre, som er ideelt. Her er problemet gjennomløpstiden til skråkarm, spesielt når det er en ansatt på skråkarm, og i mindre grad ved to og tre ansatte. Dette viser hvor stor påvirkning variasjon i ansatte har for kødanning og gjennomløpstid. Skråkarm er en kritisk produktgruppe for koordinering av ordre slik at de ender opp samtidig, ikke bare må de komme tidlig inn fra CML, men det må også sørges for at det er tilgjengelige ansatte til å bistå på stasjonen.

4.4 Forslag til løsning

Når produktene kommer inn i produksjonen kommer de i en rekkefølge bestemt av CML maskinen. Her blir like produkter laget etter hverandre for å minimere omstillingstidene. I modellen blir rekkefølgen vist i *Tabell 6* brukt, hvor den begynner med 1-6 første dagen, og deretter 6-1 neste dag.

Tabell 6: Oversikt over rekkefølge fra CML.

| Rekkefølge | | | | | |
|------------|---------|----------|----------|-------------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Koblet | Ukoblet | Fastkarm | Skråkarm | Terrassedør | Paneldør |

Her vil et forslag være å se på rekkefølgen produktgruppene kommer inn i produksjonen og om dette kan påvirke tiden mellom ordre blir klare for maling. Gjennom dataen samlet inn fra simuleringen kan det antas at produktgrupper som trenger impregnering er de som bruker lengst tid gjennom produksjonen. Disse produktgruppene må prioriteres for at de skal være tilgjengelig tidligere i produksjonen.

I *Figur 18* ser vi gjennomsnittlig tid med tilsvarende standardavvik for hver av produktgruppene. Når en ny rekkefølge ble satt opp ble det tatt hensyn til disse tallene og ut ifra *Figur 18* satt opp en ny rekkefølge som vist i *Tabell 7*. Rekkefølgen vil kunne bidra til mindre variasjon mellom produksjonstidene innad i produktgruppene, men også en mindre differanse på ordre som er simulert. Dette skjer fordi produktene som bruker lengst tid gjennom produksjonen prioriteres.

Tabell 7: Forslag til ny rekkefølge ut fra CML.

| Rekkefølge | | | | | |
|-------------|----------|---------|--------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Terrassedør | Skråkarm | Ukoblet | Koblet | Fastkarm | Paneldør |

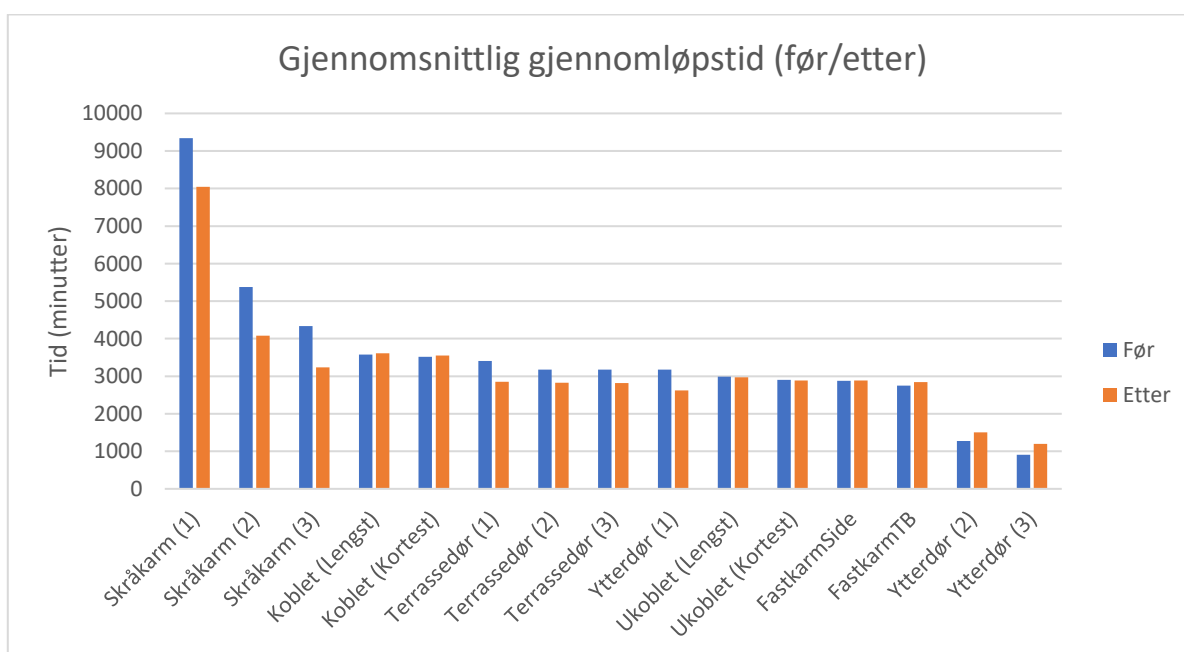
I motsetning til rekkefølgen vist i *Tabell 6* går ikke rekkefølgen i *Tabell 7* frem og tilbake, men vil alltid gå fra 1-6. Forslaget tar også hensyn til CML sin omstilling og derfor starter rekkefølgen med dør og avslutter med dør.

4.5 Resultat

Endring av produksjonsrekkefølge gir mindre kø på stasjoner når den ikke blir kjørt etter hverandre, men følger en fast rekkefølge 1-6 hver dag. Forslaget fører ikke til at produktene blir ferdig raskere, men arbeidsflyten blir jevnere. Produktene har et mindre avvik på når de ankommer maling, og intervallet produktene blir ferdig innen blir redusert (*Vedlegg 9, Sammenligning produktvis*).

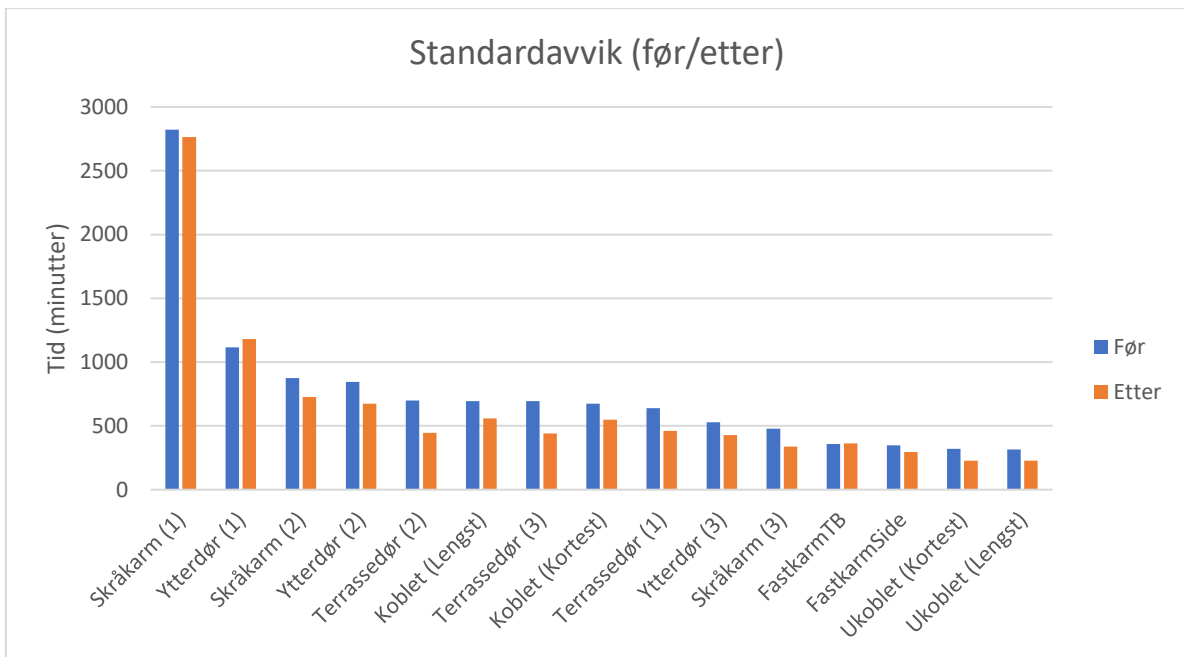
Sammenligning produktgrupper

Figur 21 viser den gjennomsnittlige gjennomløpstiden til hver produktgruppe før og etter rekkefølgen ble endret. Generelt sett er det likt, og de som har større endringer er redusert, utenom Ytterdør (2) og (3) som har en beregnet økning for å redusere andre steder.



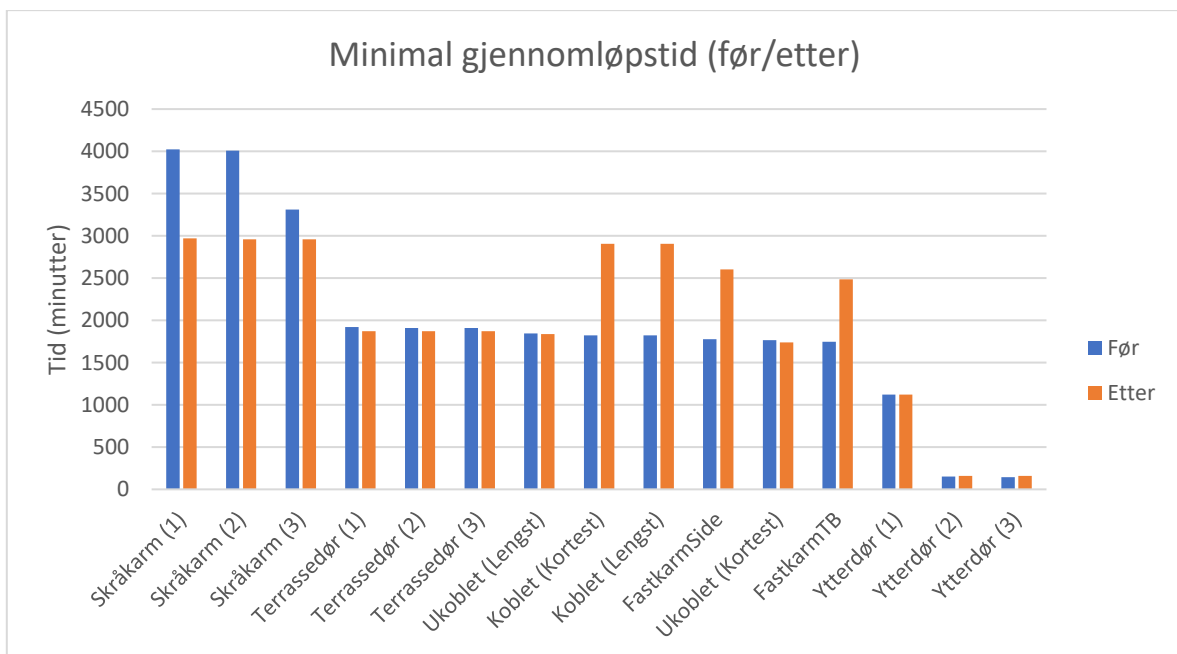
Figur 21: Gjennomsnittlig gjennomløpstid for produktgruppene før og etter.

Alle produkter utenom Ytterdør (1) og FastkarmTB har fått redusert standardavvik, vist i *Figur 22*. Redusert standardavvik gjør at produktene oftere kommer inn til maling når de er forventet, som gjør det enklere å planlegge produksjonen.



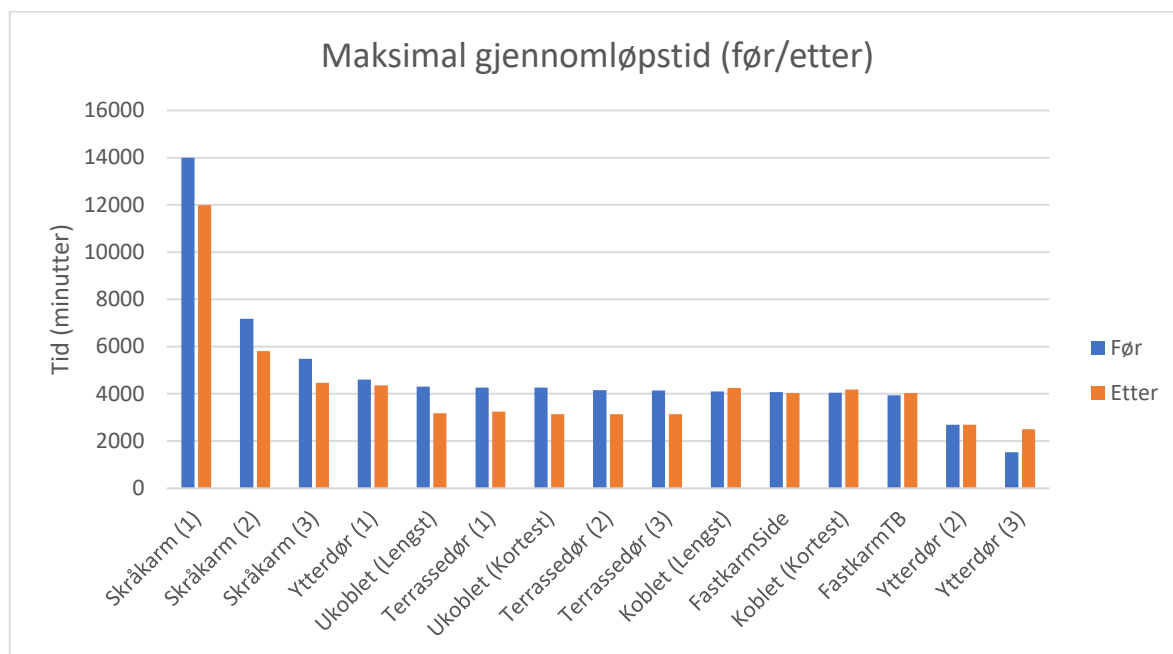
Figur 22: Standardavvik for produktgruppene før og etter.

For å minske standardavviket har høyeste og laveste verdi endret seg. Spesielt koblet har høyere minsteverdi på sin gjennomløpstid, som vist i *Figur 23*. Etersom koblet ikke har økt gjennomsnittlig gjennomløpstid så er intervallet til gjennomløpstiden redusert.



Figur 23: Minimums tid for produktgruppene før og etter.

Maksimal gjennomløpsti tid vist i *Figur 24* er generelt bedre, utenom tre målinger som har fått økning på maksimalt 140 minutter og Ytterdør (3) som har økt med 975 minutter. Dette skyldes at ytterdører kommer inn sent på dagen, og må ligge over natten (til neste arbeidsdag) som tilsvarer 960 minutter. Dette er tid som de andre produktene (utenom Ytterdør (1) og (2)) benytter til impregnering og tørking.



Figur 24: Maksimal tid for produktgruppene før og etter.

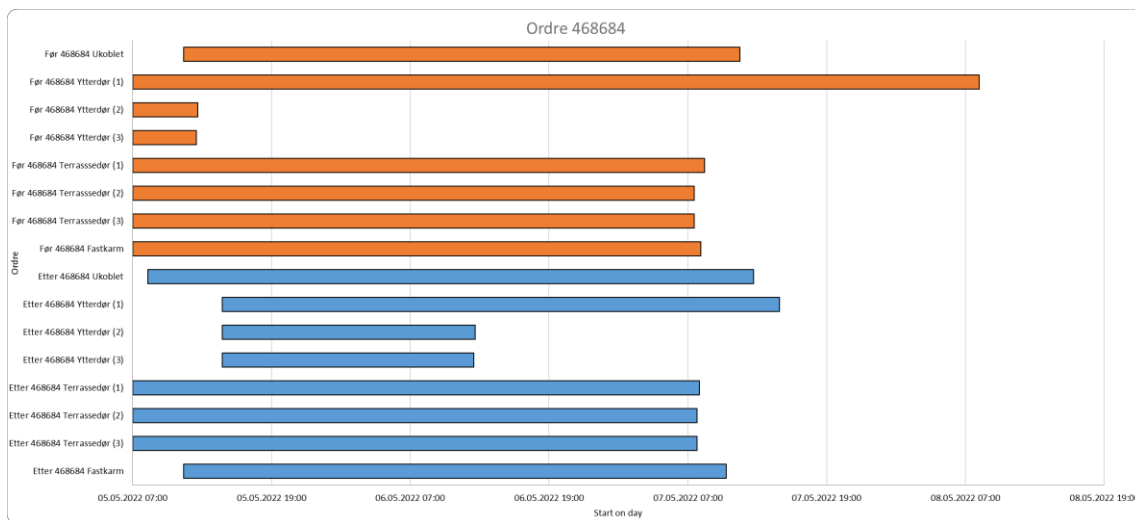
Sammenligning ordre

Tabell 8 viser endringen av differansen mellom når produkter på en ordre er klar til maling. Når rekkefølgen endrer seg synker den gjennomsnittlige differansen for ordrene med 25% (*Vedlegg 9, Sammenligning Ordre*). Det vises en tydelig forbedring på ordre som inneholder tre eller flere av produktgruppene. Imens ordre som bare inneholder to av produktgruppene får en økning på rundt 2 timer (*Vedlegg 10*)

Tabell 8: Oversikt gjennomsnittlig differanse før og etter.

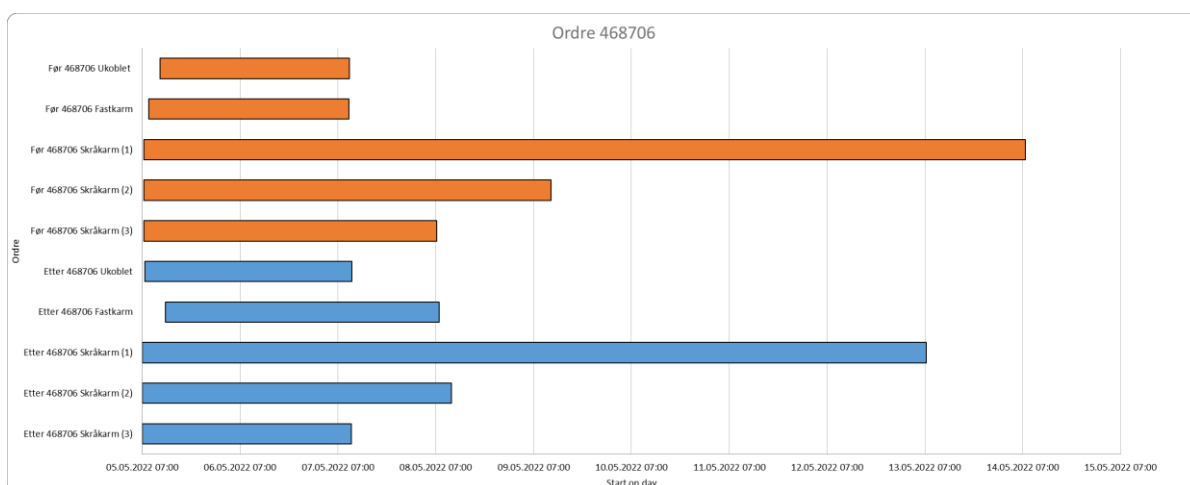
| Oversikt | | |
|----------|---------------------------|-----------------------------|
| | Gjennomsnittlig Diff. Før | Gjennomsnittlig Diff. Etter |
| Minutter | 1776.28 | 1327.74 |
| Endring | 25 % | |

To ordrer som opplever store forskjeller er ordre 468684 og 468706. Ordre 468684 inneholder fire av produktgruppene som har blitt laget for prosjektet. Dagens situasjon viser at ytterdører enten er ferdig før eller etter de andre produktene. Innføring av ny rekkefølge fra CML bidrar til et mindre intervall imellom produktgruppene er klare for maling (*Figur 25*). På denne ordren er det størst forskjell på Ytterdør (1), siden i den nye rekkefølgen vil ytterdører komme ut som siste batch fra CML og ikke etter hverandre. Dette gjør at denne stasjonen opplever mindre kødannelse og når det bare er en person som jobber på stasjonen kan CML prioritere å produsere produkter til stasjoner som klarer større batch størrelser.



Figur 25: Oversikt over tidsbruk for ordre 468684 før og etter.

Ordre 568706 viser en stor forskjell på skråkarmen. Forskjellen jevner seg ut og minsker intervallet imellom ferdig produkter på ordren i den nye produksjonsrekkefølgen. Selv når det bare er en person på jobb forbedres tiden med 24 timer, imens med to personer på stasjonen blir skråkarmene ferdig samme dag som fastkarmene (*Figur 26*).



Figur 26: Oversikt over tidsbruk for ordre 468706 før og etter.

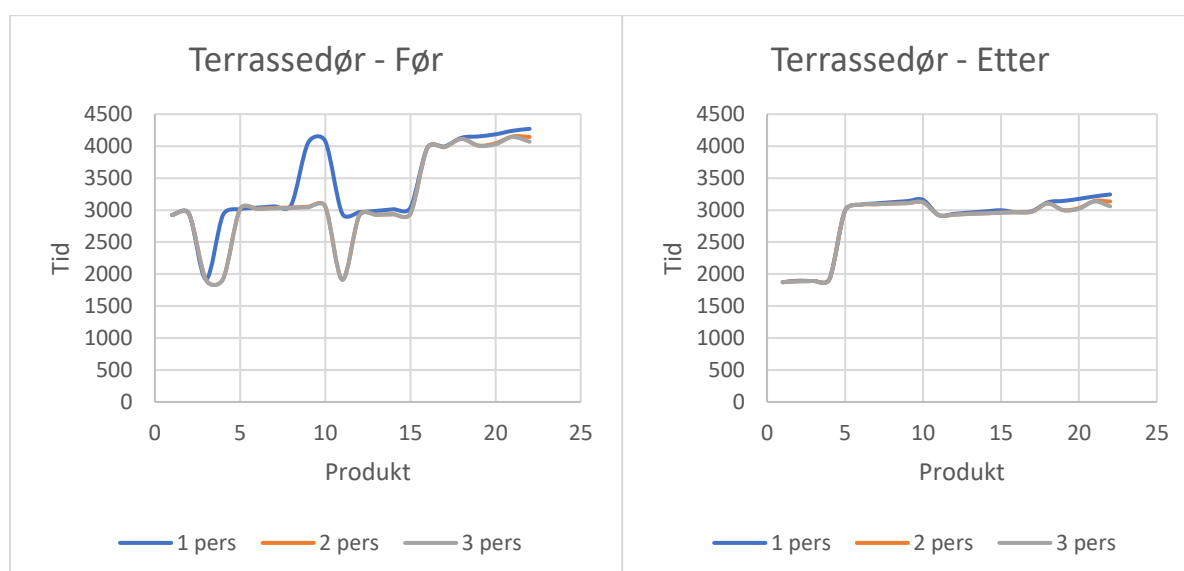
De to ordrene viser hva som skjer med forskjellige produktgrupper i forslaget over. Forslaget tar bedre hensyn til gjennomløpstid og variasjon, og prioriterer ut ifra dette. Det betyr at produkter som Terrassedører og Skråkarmer kommer først inn, siden disse må både impregneres og sorteres før de sendes inn til døravdelingen. Ytterdører kan sendes direkte til døravdelingen fra CML og kan derfor komme sent på dagen. Selv om noen ordre bruker litt lengre tid, så vil helheten forbedres.

5.0 Diskusjon

I diskusjonen diskuteres resultatene fra analysen og faktorer som har vært med å påvirke både resultat og gjennomføring av oppgaven.

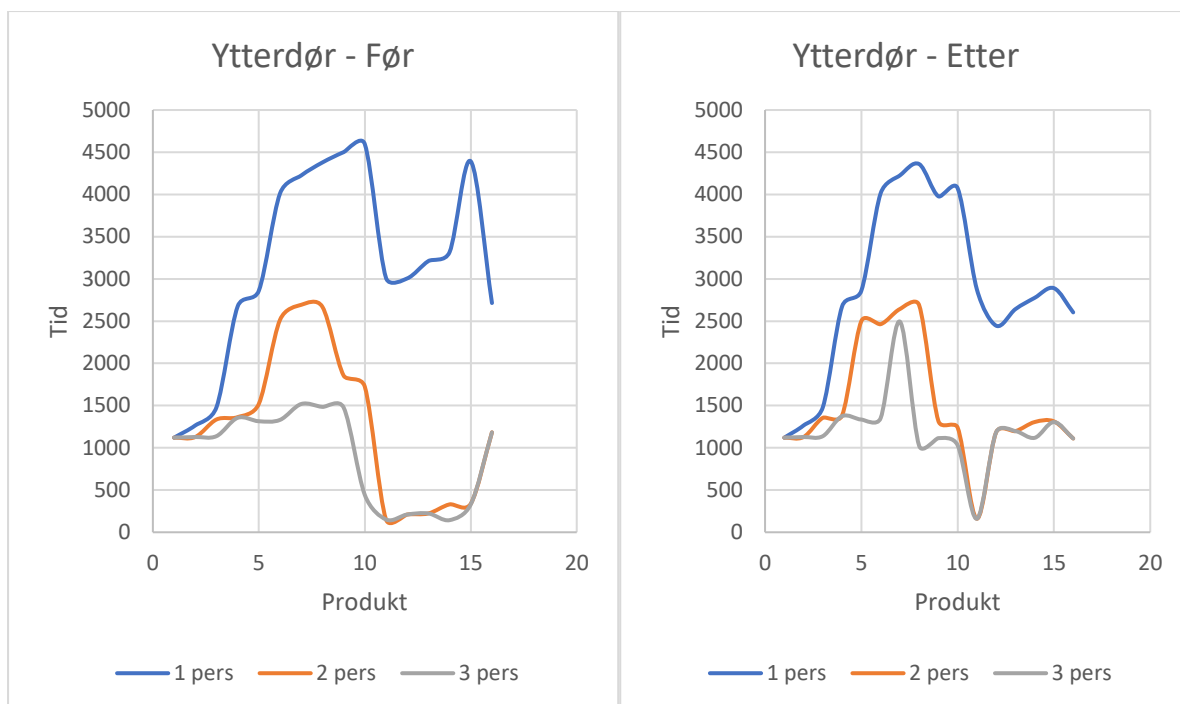
5.1 Ansatte på døravdeling

Siden det kan være ulikt antall ansatte på stasjonene i døravdelingen vil også den beste arbeidsfordelingen påvirkes av en endring i produksjonsrekkefølgen. Rekkefølgen trebiter ankommer avdelingen påvirker kødannelsen og tomgangstiden for de individuelle stasjonene, og er et aspekt som også må hensyntas etter en endring er implementert. I *Figur 27* nedenfor visualiseres gjennomløpstiden til hver terrassedør både før og etter endring av produksjonsrekkefølge.



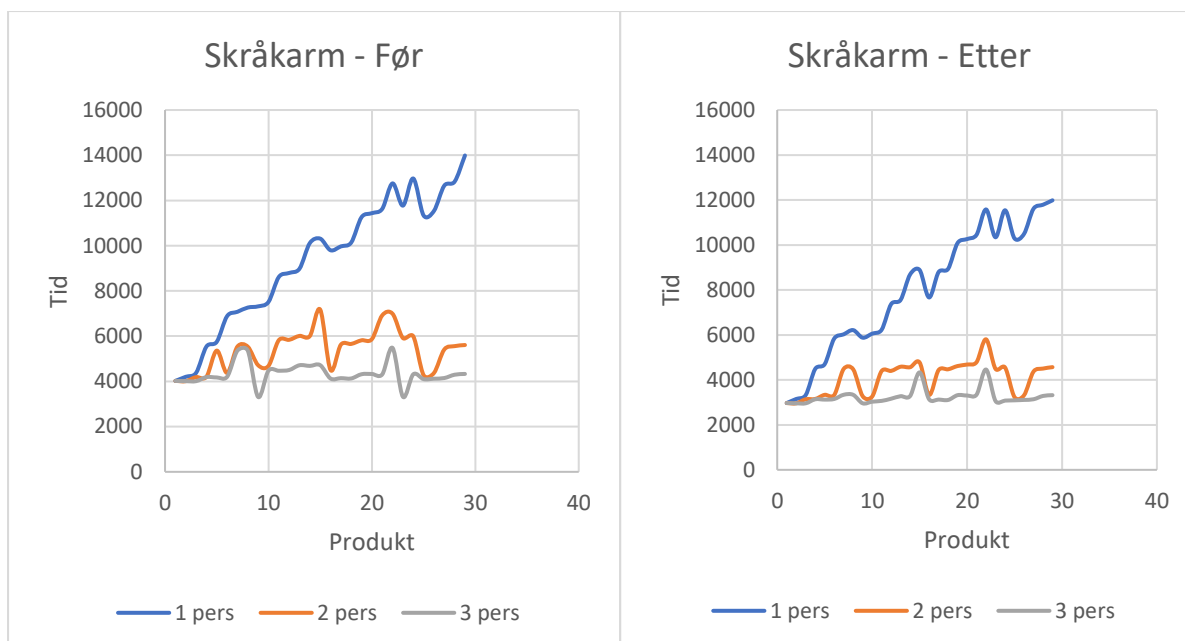
Figur 27: Sammenligning Terrassedør før og etter.

Variasjonen blir flatet ut. De tre målingene (etter endring) er nesten helt lik, siden de ansatte alltid får en hel dag når rekkefølgen alltid går 1 til 6. Etter endringen kommer det like stort volum, men volumet er fordelt slik at arbeidsmengden blir jevnere. Om det er reelt at både en, to og tre ansatte er like effektive er usikkert. Derimot, på akkurat denne serien hvor det ikke er et stort volum av terrassedører, går det for en ansatt å montere uten kødannelse. Monteringen til ytterdør påvirkes også positivt som vist i *Figur 28*.



Figur 28: Sammenligning Ytterdør før og etter.

Variasjonene er mindre, spesielt har to og tre ansatte mindre avvik mellom hverandre. Dette tyder på at to personer som regel vil være tilstrekkelig, men en tredje person kan komme inn og hjelpe ved stor pågang uten at det blir overflødig. Skråkarm har lik utvikling som Ytterdør etter endringen, som vist i *Figur 29*. Problemet er at Skråkarm (1) fortsatt vil ha nesten like stor kødannelse som tidligere, men maksimumstiden er redusert med 2006 minutter. Siden grafen til to og tre ansatte er mer lik etter endringen betyr at man ikke trenger å bruke tre ansatte like ofte på stasjonen. Med dette følger besparelser, jevnere arbeidsmengde og frigjort arbeidskraft. Det er en del andre operasjoner som gjennomføres på døravdelingen som ikke modellen tar hensyn til, men som prosjektgruppen ellers må vurdere aktivt. I tillegg så kan en tredje person bli satt inn for å håndtere store volum, som på ytterdør.

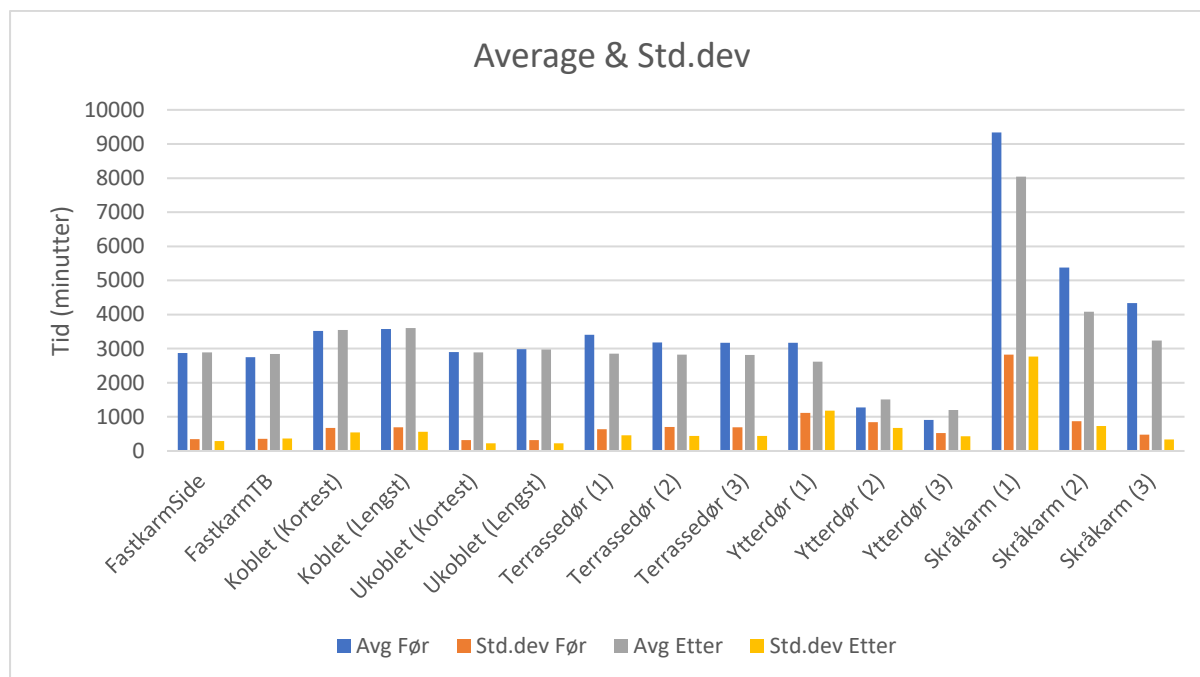


Figur 29: Sammenligning Skråkarm før og etter.

Endringene fører generelt til at to personer på en stasjon er nesten like effektivt som tre personer, slik at en tredje ansatt kun er nødvendig i spesielle situasjoner. Døravdeling har en del mindre operasjoner som ikke hensyntas i simuleringsmodellen, derfor er det alltid lurt å kunne være så få som mulig på de simulerte stasjonene slik at resten av prosessene i avdelingen går som de skal, og heller ikke er til hinder. Ellers vil det kunne redusere behovet for overtid, om man er kjent med variasjonene og effekten av hvor mange som er på jobb. Hvis effekten er større enn antatt her, kan også økning av produksjonsvolum eller minking av arbeidstimer på avdelingen være mulig, som gir økt fortjeneste i bedriften.

5.2 Påvirkning av ny rekkefølge

Forslaget som er presentert i *kapittel 4.4 Forslag til løsning* viser en endring i gjennomløpstiden til produktgruppene. I *Figur 30* vises det tydelig endring på døravdelingen hos RDV hvor gjennomsnittlig tid gjennom produksjon synker for de fleste scenariene i tillegg til at standardavvik minker. Dette medfører mindre variasjon når produkter anses å være klare til maling og vil gjøre det enklere å planlegge produksjonen.



Figur 30: Oversikt over gjennomsnitt og standardavvik før og etter.

5.3 utfordringer og svakheter

Gjennom arbeidet har det blitt oppdaget utfordringer og svakheter ved arbeidet. Å skaffe data manuelt og få oversikt over en fabrikk på kort tid kommer med hindringer.

Generelt

Den eneste kvantitative bunnlinjen i prosjektet er rådata som prosjektgruppen selv har hentet og simulert, så utgangspunktet for forbedring er selvlagd og ikke gitt fra bedriften selv. Ved bedre kjennskap til RDV sitt ERP-system CalWin kunne det kanskje gitt et bredere datagrunnlag. Problemet er at det er stort og krevende program å sette seg inn i, og det er ikke mulig å benytte uten å være på fabrikk. Produksjonen til RDV er større enn de 6 produktgruppene som prosjektet fokuserer på, og det har ikke kommet et tydelig svar på akkurat nøyaktig hvor mye av produksjonsvolumet det dekker. Det som kan sies er at det dekker det aller meste av produksjonsvolumet. Dermed er det vanskelig å anslå hvor mye av det som havner utenfor de gruppene påvirker resultatet. I tillegg er det variasjoner på produktene i produktgruppene som er generalisert for å kunne ha et stort nok datagrunnlag. At fabrikkens produserer skreddersydde produkter kommer ikke tydelig frem fra modellen, men er en variasjon som er bakt inn i hver produktgruppe.

Både ukoblede og koblede vinduer kan ha sprosser. Sprossene er en del av sammensetningen før robotpresse. Rådata som viser med og uten sprosser er lik, dermed er det ikke en faktor som er tatt høyde for. Sprosser kommer inn fra CML-avdelingen, og det er ytterst sjeldent at de ikke er på plass til rett tid. Prosessene som blir gjort for å sette sammen og sortere sprosser skjer uavhengig av oppgavens avdelinger.

Statistiske data

Fordelingen hos de statistiske dataene er vist i *Vedlegg 4*. Den statistiske dataen som prosessene i modellen benytter er lagd fra rådataen i @RISK. I vurderingen av hvilke statistiske distribusjoner som passer best til rådataen bruker @RISK, AIC og BIC som vurderingskriterier (*kapittel 2.3 Visualiseringsverktøy og kapittel 3.5 Akaike- og Bayesian information criterion*). @RISK har flere statistiske distribusjoner enn FlexSim. Ved noen tilfeller var ikke «best-fit» fra @RISK tilgjengelig på FlexSim, og dermed fikk ikke modellen den optimale distribusjonen på alle prosesser. På de prosessene dette gjaldt ble alltid den beste distribusjonen som FlexSim hadde innebygd brukt. Det var ingen kritiske avvik, men heller noe som sto i veien for en optimal simulering. Det bør også nevnes at noen distribusjoner går fra minus uendelig til pluss uendelig. For at ikke lengden til en prosess kunne være urimelig lenge så ble det manuelt programmert tilpassede minimum- og maksimumsverdier til de prosessene hvor det var behov.

Modellen

Modellen som har blitt laget til prosjektet er en representativ modell som tar for seg de viktigste egenskapene til produksjonen hos RDV, men modellen har sine begrensninger og antakelser. Siden fabrikken til RDV er en komplisert fabrikk med mange prosesser og operasjoner som må gjøres før er produkt er ferdig, blir det vanskelig å få en modell som representerer alt som skjer i fabrikken til enhver tid. Modellen viser hvordan fabrikken fungerer optimalt, med en person tilgjengelig til hver tid på hver stasjon, og uten forstyrrelser eller mulighet for å brukes på andre steder. Spesielt byr dette på vanskeligheter med simulering av døravdelingen som ofte har ansatte på andre steder og bistår der. Hvis det skulle vært mulig måtte det blitt programmert manuelt, men mangel på tid gjorde at det ikke ble gjennomført. Døravdelingen har i tillegg annet ekstraarbeid som foregår simultant med selve monteringen av dørene.

6.0 Konklusjon

Gjennom analyse av ramme/karm/impregnering- og døravdelingen er det konkludert med at endring i produksjonsrekkefølgen til RDV vil redusere tid mellom produkter fra samme ordre ankommer malingsstasjonen. Simuleringen av ny produksjonsrekkefølge ga gjennomsnittlig en 25% tidsreduksjon i differansen mellom første og siste produkt ankom malingsstasjonen. Endringen ga generelt mindre standardavvik på gjennomløpstiden til de ulike produktene, og gjør det enklere å forutsi når et produkt er klar til maling. Analysen viste at mange produktgrupper har lik gjennomløpstid, men at det er nødvendig å ta ekstra hensyn til Ytterdør og Skråkarm når ordre koordineres i en dagsserie. Påvirkningen av antall ansatte på stasjoner i døravdelingen har blitt kartlagt og visualisert for å undersøke en viktig parameter for produksjonsplanlegging. One-piece flyt er ikke gjennomførbart med tanke på hvordan CML høvlemaskinen i fabrikken fungerer.

F1: Hvordan kan vi bruke simulering til å øke flyten hos en produksjonsbedrift?

Ved simulering av produksjon er det mulig å teste endringer risikofritt, uten samme tidsbruk og kostnad som fysisk testing krever. Etter en simuleringsmodell er utarbeidet, så er det enkelt å teste endringer med mange ulike parametere. For eksempel posisjonering av ulike stasjoner, produksjonsplan og antall operatører på en stasjon. Simuleringer er egnet for å hente ut data for å undersøke og begrunne en endring i den ekte produksjonen. 3D-simulering gir gode visualiseringer av produksjonen, som kan være et godt verktøy til å identifisere og finne årsak til flaskehalser.

F2: I hvilken grad påvirker type og antall produkt i en ordre gjennomløpstiden?

Flere typer produkt i en ordre øker kompleksiteten til ordren. Likevel er det ikke alltid slik at flere typer produkter bidrar til vanskeligere produksjonsplanlegging. Derimot er det to produkttyper (Skråkarm og Ytterdør) som skiller seg ut og krever større hensyn. Antallet produkt påvirker også ordrekoordineringen. Hvis det kommer en ordre med mange av samme produkt er det ikke mulig å få alt inn til maling samtidig ettersom alle må gjennom de samme operasjonene, og det kan føre til kødannelse.

F3: Hvordan kan redusert variasjon gi et enklere utgangspunkt for produksjonsplanlegging?

For å pålitelig kunne planlegge produksjonen hos RDV er det fordelaktig med lavest mulig variasjon i gjennomløpstiden for de ulike produktene. Ved redusert variasjon vil produksjonsplanen oftere være korrekt med tanke på den faktiske produksjonen. For å koordinere ordre slik at produkter ender opp på malingsstasjonen samtidig er det kritisk å ha lite variasjon, slik at det ikke blir store forskjeller i ankomsttiden. I tillegg er det ikke nødvendig å planlegge for store avvik i produksjonen grunnet usikkerhet for når et produkt er ferdigstilt.

Suksesskriteriene fra RDV gikk ut på å visualisere fabrikken og undersøke hvordan produksjonsrekkefølgen bør være for at forskjellige typer produkter fra samme ordre kommer inn til maling sammen. Visualiseringen av fabrikken kommer i form av en 3D-simulering i FlexSim. Simuleringen har blitt benyttet til å begrunne en ny produksjonsrekkefølge som gir bedre samling av ordre inn til malingsstasjonen. Med dette tatt i betraktning kan prosjektet ansees som vellykket.

6.1 Videre arbeid

Modellen som har blitt lagd i prosjektarbeidet er en representativ modell som tar for seg de viktigste egenskapene ved gjeldende avdelinger i produksjonen hos RDV, men den er noe begrenset. Vedlikehold kan implementeres, men det kommer med et behov om data for hyppighet og varighet av vedlikeholdet. En del av prosessstidene på døravdelingen er faste og krever et større datagrunnlag for å videreutvikles. Logikken til modellen kan videreutvikles og forbedres for å gjøre simuleringen mer robust. Blant dette er dynamiske ansatte som kan hjelpe til på andre stasjoner om det ikke er noe å gjøre på deres stasjon.

En bedre forståelse for hvordan biter kommer ut fra CML vil være fordelaktig i å gi en mest mulig realistisk simulering. I tillegg har det kun blitt simulert en hel uke, hvor ordrene fra kun en dag ble fulgt. En videreføring bør ta med flere uker og ordre i simuleringen for å bedre kunne sikre resultatene.

Siden produktgruppene ikke dekker hele produksjonsvolumet er det mulig å forbedre både modell og resultat ved å ta alle produkter med i simuleringen. For at dette skal være gjennomførbart trengs datagrunnlag for prosesser som de gjenstående produktene går gjennom. I tillegg er det også mindre arbeidsoppgaver rundt i avdelingene som simuleringene ikke tar for seg. Disse er ikke fullstendig kartlagt og dermed er det usikkerhet knyttet til hvor mye de påvirker produksjonen, selv om de ikke er direkte knyttet til den delen av produksjonen.

Referanser

- [1] Røros Dører og Vinduer AS, «Historien,» Røros Dører og Vinduer AS, [Internett]. Available: <https://rorosdv.no/dette-er-rdv/historien>. [Funnet 19 April 2022].
- [2] Røros Dører og Vinduer AS, «Miljø,» Røros Dører og Vinduer AS, [Internett]. Available: <https://rorosdv.no/dette-er-rdv/miljo>. [Funnet 19 April 2022].
- [3] Røros Dører og Vinduer AS, «Etikk,» Røros Dører og Vinduer AS, [Internett]. Available: <https://rorosdv.no/dette-er-rdv/etikk>. [Funnet 19 April 2022].
- [4] Røros Dører og Vinduer AS, «Vinduer,» Røros Dører og Vinduer AS, [Internett]. Available: <https://rorosdv.no/vinduer>. [Funnet 3 mai 2022].
- [5] Røros Dører og Vinduer AS, «Dører,» Røros Dører og Vinduer AS, [Internett]. Available: <https://rorosdv.no/d%C3%B8rer>. [Funnet 3 mai 2022].
- [6] University of Houston, «Basic Steps and Decisions for Simulation,» University of Houston, [Internett]. Available: <https://uh.edu/~lcr3600/simulation/steps.html>. [Funnet 28 April 2022].
- [7] A. Rolstadås et al., «Prosjekt som arbeidsform» i *Praktisk Prosjektledelse*, Trondheim, Fagbokforlaget, 2020, pp. 23-24.
- [8] A. Rolstadås et al., «Mål og interessentanalyse» i *Praktisk Prosjektledelse*, Trondheim, Fagbokforlaget, 2020, pp. 67-71.
- [9] A. Rolstadås et al., «Prosjektnedbrytning» i *Praktisk Prosjektledelse*, Trondheim, Fagbokforlaget, 2020, pp. 161-167.
- [10] A. Rolstadås et al., «Kvalitet i prosjekter» i *Praktisk Prosjektledelse*, Trondheim, Fagbokforlaget, 2020, pp. 257-269.
- [11] A. Rolstadås, «Usikkerhet (prosjektledelse),» Store Norske Leksikon, 2020 Juni 3. [Internett]. Available: https://snl.no/usikkerhet_-_prosjektledelse. [Funnet 8 Mai 2022].
- [12] A. Rolstadås et al., «Usikkerhet og risiko» i *Praktisk Prosjektledelse*, Trondheim, Fagbokforlaget, 2020, p. 311.
- [13] A.Z. Persvold, «Simulere,» Store Norske Leksikon, 8 November 2021. [Internett]. Available: <https://snl.no/simulere>. [Funnet 27 April 2022].
- [14] «Manufacturing Simulation,» FlexSim, [Internett]. Available: <https://www.flexsim.com/manufacturing-simulation/>. [Funnet 28 April 2022].

- [15] K.M. Carley, «Validating Computational Models,» 28 April 2017. [Internett]. Available: <http://reports-archive.adm.cs.cmu.edu/anon/anon/home/ftp/usr0/ftp/isr2017/CMU-ISR-17-105.pdf>. [Funnet 28 April 2022].
- [16] FlexSim, «FlexSim,» FlexSim Software Products Inc., [Internett]. Available: <https://www.flexsim.com/flexsim/>. [Funnet 4 mai 2022].
- [17] S.C. Graves, «A Review of Production Scheduling,» 1 August 1981. [Internett]. Available: <https://doi.org/10.1287/opre.29.4.646>. [Funnet 28 April 2022].
- [18] Norsk Industri, «Produksjonsplanlegging,» [Internett]. Available: https://ressurs.norskindustri.no/html/dBRK5oi8YIBCoVNKItMSog/107/Produksjonsplanlegging_ny/story_content/external_files/Produksjonsplanlegging.pdf. [Funnet 8 mai 2022].
- [19] K. Aho, D. Derryberry og T. Peterson «Model Selection for ecologist: the worldviews of AIC and BIC,» 1 Mars 2014. [Internett]. Available: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1890/13-1452.1>. [Funnet 26 April 2022].
- [20] J.E. Cavanaugh og A.A. Neath, «The Akaike information criterion: Background, derivation, properties, application, interpretation, and refinements,» 28 Januar 2019. [Internett]. Available: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/wics.1460>. [Funnet 26 April 2022].

Figurer

| | |
|--|----|
| Figur 1: Avgrensning for prosjektet markert i svart ramme | 2 |
| Figur 2: WBS for prosjektet..... | 6 |
| Figur 3: Flowchart for produksjon..... | 10 |
| Figur 4: Eksempel på @RISK fordeling..... | 11 |
| Figur 5: Eksempel på fordeling i FlexSim..... | 11 |
| Figur 6: Oversikt over moduler i FlexSim..... | 12 |
| Figur 7: Fabrikken til RDV i FlexSim..... | 12 |
| Figur 8: Oversikt over produktgruppene [4] [5]. | 13 |
| Figur 9: Simulering steg for steg [6]..... | 14 |
| Figur 10: Fordeling av produktgrupper etter impregnering i FlexSim..... | 16 |
| Figur 11: Eksempel på ferdig sorterte rammer i en tralle. Topp og bunn til venstre, og sider til høyre. | 17 |
| Figur 12: Oversikt over rammeavdelingen i FlexSim..... | 18 |
| Figur 13: Oversikt over døravdeling i FlexSim..... | 19 |
| Figur 14: Process Flow for Ramme og Karm avdeling..... | 20 |
| Figur 15: Process Flow for døravdeling..... | 21 |
| Figur 16: Verifisering av simuleringsmodell [15]. | 25 |
| Figur 17: Steg for modellering i FlexSim [16]. | 26 |
| Figur 18: Gjennomsnittlig tid med tilhørende standardavvik..... | 30 |
| Figur 19: Maks tid med tilhørende minimumstid..... | 31 |
| Figur 20: Fullstendig oversikt for ordre 468684..... | 34 |
| Figur 21: Gjennomsnittlig gjennomløpstid for produktgruppene før og etter..... | 38 |
| Figur 22: Standardavvik for produktgruppene før og etter..... | 39 |
| Figur 23: Minimums tid for produktgruppene før og etter..... | 39 |
| Figur 24: Maksimal tid for produktgruppene før og etter..... | 40 |
| Figur 25: Oversikt over tidsbruk for ordre 468684 før og etter..... | 41 |
| Figur 26: Oversikt over tidsbruk for ordre 468706 før og etter..... | 41 |
| Figur 27: Sammenligning Terrassedør før og etter..... | 43 |
| Figur 28: Sammenligning Ytterdør før og etter..... | 44 |
| Figur 29: Sammenligning Skråkarm før og etter..... | 45 |
| Figur 30: Oversikt over gjennomsnitt og standardavvik før og etter..... | 46 |

Tabeller

| | |
|--|----|
| Tabell 1: Største differanse for ordre 468667..... | 33 |
| Tabell 2: Største differanse for ordre 468682..... | 33 |
| Tabell 3: Største differanse for ordre 468684..... | 34 |
| Tabell 4: Største differanse for ordre 468691..... | 35 |
| Tabell 5: Største differanse for ordre 468706..... | 36 |
| Tabell 6: Oversikt over rekkefølge fra CML..... | 37 |
| Tabell 7: Forslag til ny rekkefølge ut fra CML..... | 37 |
| Tabell 8: Oversikt over gjennomsnittlig differanse før og etter..... | 40 |

Formler

| | |
|---------------------|----|
| Formel 1: AIC | 28 |
| Formel 2: BIC | 28 |

Vedlegg

Vedlegg 1

Rørøs Dører og Vinduer Kalkyle (Excel)

Vedlegg 2

Rådata (Excel)

Vedlegg 3

Forprosjekt (PDF)

Vedlegg 4

@RISK (Excel)

Vedlegg 5

RDV fabrikk (FlexSim)

Vedlegg 6

Inputs (Excel)

Vedlegg 7

Data Før (Excel)

Vedlegg 8

Data Etter (Excel)

Vedlegg 9

Sammenligning Før Etter (Excel)

Vedlegg 10

Oversikt alle ordrer (Diagram)

