



En evaluering av systemdynamisk modellering av logistikk

Hovedoppgave
ved
sivilingeniørutdanning i
informasjons- og kommunikasjonsteknologi

av
Anders Inderberg

Grimstad, juni 2000

Sammendrag

Denne oppgaven tar opp og peker på noen generelle logistikk problemer som produksjonsbedrifter kan møte. Flere bedrifter i elektronikk bransjen, særlig produsenter sliter med dekningsbidraget for det de produserer. Logistikk omhandler flyt av varer og råvarer til og fra bedriftene. Man skal sørge for å ha nok varer og råvarer til å dekke egne behov og innkommende bestillinger. I dag finnes det flere verktøy som gir støtte til bestillinger og beregninger på praktisk nivå, veldig få av disse støtter strategiske avgjørelser og vurderinger. Systemdynamisk modellering er en mulighet for å støtte opp under strategiske avgjørelser som blir tatt i forskjellige bedrifter.

Opgaven gir først en innføring i forskjellige aspekter ved logistikk og logistikk kjeder, her benyttes eksemplet "The Beer Game". Videre kommer oppgaven inn på hvordan man kan bygge en systemdynamisk modell av en produksjonsbedrift. Modellen som brukes er utviklet av R. G. Coyle. Teorien fra logistikk kjeden og produksjonsbedriften settes sammen til en systemdynamisk modell av en enkel logistikk kjede. Kjeden påføres forskjellige belastninger og dette fremprovoserer forskjellige reaksjoner. Disse reaksjonene og kunnskapene om strukturen i modellen brukes for å utvikle løsninger som kan gi en forbedret oppførsel.

Etter at det er bygd opp en generell logistikk kjede blir denne analysert og vurdert på forskjellige måter. Det blir utviklet forskjellige løsninger og forslag som er grunnlagt i modellen. Hver enkelt løsning blir testet og validert i forhold til kjente mønster og reaksjoner. De forskjellige løsningene utvikles fortløpende, og forbedringene blir gjort på grunnlag av ønsket om å finne fram til et mer robust og stabilt system.

Etter å ha sett på mulighetene som den systemdynamiske modellen gir legges det fram noen generelle forslag om hvordan og hvor man kan benytte seg av slike modeller. Utviklingen mot at stadig flere firma innfører ERP og APS systemer gjør at mulighetene og behovene for systemdynamiske modeller bare vil øke i framtida.

Forord

Denne besvarelsen er grunnlaget for bedømmelse i faget IKT6400 "Hovedoppgave" ved sivilingeniørutdannelsen innenfor Informasjon og kommunikasjonsteknologi (IKT) ved Høgskolen i Agder, institutt for informasjonsteknologi i Grimstad. Oppgaven tilsvarer et semesters arbeidsmengde, 10 vekttall.

Oppgaven "En evaluering av systemdynamisk modellering av logistikk" ble utarbeidet i samarbeid mellom kandidaten og Jose Gonzalez. Arbeidet med oppgaven har pågått fra januar 2000 og ut mai samme år.

Stadig flere bransjer sliter med at dekningsbidraget blir lite når de produserer varer på bestilling for andre. En mulig måte å kikke på hvordan dette kan forandres er ved systemdynamisk modellering. Veileders kunnskaper innenfor systemdynamisk modellering og hans interesse for nye anvendelser av dette var spiren til oppgaven.

Jeg vil takke Jose Gonzalez for all hjelp samt for gode råd og motivasjon under arbeidet med oppgaven.

Grimstad, 2. juni 2000

Anders Inderberg

1	INNLEDNING	2
1.1	PROBLEMDEFINISJON OG AVGRENSNING	2
1.2	METODIKK	2
1.3	BESVARELSENS FOKUS	2
1.4	BESVARELSENS OPPBYGNING	3
2	LOGISTIKK	4
2.1	”THE BEER GAME”	5
2.2	COYLES: DOMESTIC MANUFACTURING COMPANY (DMC)	9
3	PROBLEM/ CASE	13
4	MODELLEN	15
4.1	EN INNFORING I DYNAMISK MODELLERING	15
4.2	MODELL TRINN 1	15
4.2.1	<i>De forskjellige konstantene og deres verdier</i>	16
4.3	MODELLENS OPPFORSEL VED FORSKJELLIG PAVIRKNING	17
4.3.1	<i>Jevn pavirkning</i>	17
4.3.2	<i>Sprangpavirkning</i>	18
4.3.3	<i>Modellens oppforstel ved sinus pavirkning</i>	20
5	POLICY FORANDRINGER OG FORBEDRINGER	22
5.1	BRUK AV POWERSIM SOLVER PÅ KONSTANTENE	22
5.2	INNFORING AV MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM (MIS).....	24
5.3	INNFORING AV KOBLINGER MELLOM DE FORSKJELLIGE LEDDENE.....	25
5.4	POWERSIM SOLVER PÅ FORBEDRET MODELL	27
6	RESULTATER	32
7	KONKLUSJON	36
8	REFERANSER	37
	VEDLEGG A: CLD FOR COYLES ENKLE MODELL	39
	VEDLEGG B: CLD FOR COYLES UTVIDEDE MODELL	40
	VEDLEGG C: CLD FOR DETALJIST OG GROSSIST, ENKEL MODELL	41
	VEDLEGG D: CLD FOR DETALJIST OG GROSSIST, UTVIDET MODELL	42
	VEDLEGG E: FORLØP FOR BESTILLINGSRATER ETTER MIS BLE INNFORØRT	43
	VEDLEGG F: MODELL LIGNINGER	44

1 Innledning

1.1 Problemdefinisjon og avgrensning

Logistikk er en vesentlig problemstilling for de fleste bedrifter. Enhver bedrift må forholde seg til en eller flere av følgende: ordreinngang, produksjons- eller leveringsprosesser, råvarer, ulike typer lagre m. fl.

Logistiske problemer er ikke enkle. Bedrifter håndterer logistiske problemer gjennom ulike metodikk og verktøy med vekslende resultat. Mange bedrifter sliter med slike problemer.

Utgangspunktet for dette prosjektet er av de fleste logistiske verktøy er kjennetegnet ved at de retter sin oppmerksomhet mot:

- *Strukturell* kompleksitet – snarere enn ved *dynamisk* kompleksitet.
- Sekvensielle prosesser – i motsetning til situasjoner preget av tilbakekobling (*feedback*).
- Kort til mellomlang tidsaspekt – i stedet for mellomlang til lengre tidsramme.
- Vekt på operasjonelle aspekter – snarere enn på strategiske sådan.
- Avgrensede utfordringer («planlegging») – i motsetning til mer overgripende utfordringer («strategi»).

Systemdynamisk modellering er nettopp en disiplin for å takle strategiske problemstillinger ("*corporate issues*"), d.v.s. utfordringer som er karakterisert ved dynamisk kompleksitet, tilbakekobling, samt mellomlang til lang tidshorison.

Men systemdynamikk er forholdsvis lite utbredt – mange bedrifter har ikke medarbeidere med kjennskap til systemdynamikk. Konsekvensen er at potensielt gode løsninger overses eller neglisjeres.

Diplomprosjektets hovedmålsetting er å kartlegge momenter som står i veien for en systemdynamisk behandling av logistiske problemer i bedriftene på Sørlandet.

1.2 Metodikk

1. Det utarbeides en generisk systemdynamisk logistikkmodell som presenteres v.h.a. en stand på konferansen "Spydspisser i Syd" 23. mars 2000. I tillegg til presentasjonen utarbeides en dokumentasjon og en spørreundersøkelse.
2. Responsen evalueres og pløyes inn i en mer målrettet logistisk modell for en eller flere av de interessert bedriftene.
3. Basert på avsluttende arbeidsmøter med utvalgte bedrifter defineres relevante faktorer for simulering av aktuelle logistiske problemer hos de aktuelle bedriftene.
4. Resultatene søkes presentert hos IT-Ringen mot prosjektets slutt.

1.3 Besvarelsens fokus

Etter at oppgaven var ferdig definert og metodikken var avgrenset kom det noen skjær i sjøen. Det kom nye mennesker inn i organisasjonen rundt "Spydspisser i Syd". Denne forandringen førte til at hele seansen den 23. mars ble lagt på is. Hele konferansen ble utsatt på ubestemt tid. Dette medførte at den delen av oppgaven da, gikk ut. For at ikke hele oppgaven skulle falle ut ble da fokus flyttet over på en generell logistikk modell som skal kunne brukes som et utgangspunkt for videre arbeid. Det ble ikke etablert noen kontakt med bedrifter var det vanskelig å skaffe spesifikke data for enkelte spesifikke tilfeller, modellen ble derfor basert på generelle tall og fikk en generell oppbygning. Det hele har derfor fått en vridning mot generelle tanker rundt en modell av en logistikk kjede. Hva som hindrer at man tar i bruk dynamisk modellering av logistikk bedrifter på Sørlandet blir det ikke gitt

noe svar på. Når det gjelder presentasjon av arbeidet hos IT-Ringen blir ikke dette gjort på noen annen måte enn at oppgaven publiseres i de kjente kanaler for slike besvarelser.

1.4 Besvarelsens oppbygning

Besvarelsen er bygd opp med den hensikt i å presentere generelle tanker rundt logistikk og logistikk kjeder. Videre skal den presentere en modell som viser hvordan en slik oppstilling kan presenteres. Ut i fra denne modellen kan man da peke på eventuelle faktorer som er uheldige for sammenhengen. For å gi leseren en introduksjon begynner oppgaven med en generell presentasjon av logistikk. Etter dette kommer en presentasjon av "The Beer Game", MIT sin forenkling av en logistikk kjede. "The Beer Game" presenteres slik at man får et lite innblikk i hva som kan være problemene i slike kjeder. Så vris vinklingen over til å fokusere på et konkret eksempel. Da presenteres Coyles modell av "Domestic manufacturing company". Coyles modell presenterer en produksjonsbedrift som internt sliter med logistikken. Etter at modellen er forbedret og de forskjellige måtene for bedringer er presentert blir denne modellen satt inn i en større modell som er en avbildning av en logistikk kjede.

Den nye modellen består av tre ledd, påvirket av en ytre kraft. Hvordan denne modellen reagerer på forskjellige påvirkninger og om den er riktig bygd presenteres så i de neste kapitlene. I denne delen presenteres det en del hendelser som kan bringe systemet ut av balanse. Hvordan effekten av disse kan begrenses beskrives i neste del.

Besvarelsen ender med en vurdering og presentasjon om hvordan man kan begrense og kamuflere de effektene som framstår som faktorer for at systemet blir ustabil. I tillegg letes det etter parametere som vil gi et bedre resultat.

Til slutt presenteres resultatene og tankene som kom fram i forbindelse med arbeidet. Her kommer det litt om hvordan man kan ta med systemdynamisk modellering for å forbedre resultatene og minske risikoen.

2 Logistikk

I Norsk ordbok fra Kunnskapsforlaget fra 1998 beskrives logistikk på følgende måte:

Logistikk: 1. moderne formal (matematisk) logikk 2. Beregning og organisering av militær forsynings-, transporttjeneste o.l.; beregning og organisering av "materialflyten" gjennom en produksjonsbedrift (fra råvareleverandøren til kjøperen av det ferdige produkt); materialadministrasjon. [5]

Logistikk favner som sitatet viser vidt. Man kan bruke det om militære funksjoner eller i produksjonsindustrien. Uansett hvor det beskrives er det forflytning av materialer og informasjon man omtaler. Industrien har lenge sett på muligheter for å skaffe seg bedre oversikt over sin egen logistikk. Innenfor noen typer industri er dette viktigere enn andre. For bedrifter som leverer produkter med korte ledetider og gode marginer betyr det lite om lageret er litt for stort, eller i smaleste laget til tider. Andre nisjer sliter med at produktene skal leveres fort og det gis minimal fortjeneste på produktet. Noen leverandører møter problemer som at de må bestille råvarer før de har en reell bestilling liggende på bordet, da det tar for lang tid å skaffe råvarene etter at bestillingen er kommet inn. Slike produsenter baserer seg ofte på prognoser for bestillinger og bestiller råvarer ut fra kalkylene for neste periode. Å jobbe med logistikk i slike bedrifter krever stor innsats. Ofte støtter man seg på egne systemer som beregner og anbefaler bestillingsmengder. Disse systemene støtter bare bestillingsmengde avgjørelser, men de gir sjelden hjelp til det taktiske. Variasjonen i produktene som bedriften leverer spiller en aktiv rolle når det gjelder behovet for logistikk systemer og valgene av disse.

Elektronikk produsenter jobber mye med dette om dagen. Mange elektronikk bedrifter skilter med store omsetninger, men dekningsbidraget er lavt. Man sitter derfor igjen med lite penger når alt er solgt og betalt. I denne bransjen har man ikke råd til å ligge med store kapitalmengder bundet på lager over tid. Man må passe seg for å ta inn for store kvanta av råvarene i forhold til bestillingene slik at man sitter igjen med deler når produksjonen av den spesifikke leveransen er avsluttet. Det kan ta lang tid til neste produksjon med de samme delene, og det kan komme nye utgaver av råvarene før neste produksjonsoppdrag melder seg. Mulighetene til å kontrollere egne bestillinger og kontrollere egne råvare behov jobbes det stadig med. I tillegg til å se på egen logistikk forsøker man nå å kikke sine kunder og produsenter i kortene slik at man kan øke dekningsbidraget i forhold til dagens nivå. Flere og flere bedrifter vil basere sine bestillinger og kalkyler på informasjonen fra flere ledd enn tidligere. Å skaffe informasjon fra flere ledd vil kunne gi kunnskap om hvordan utviklingen blir før man får inn bestillingene, som igjen kan gjøre at man er bedre forberedt. Hver enkelt deltager og produsent blir en del av et større system der informasjonen og logistikken blir mer og mer felles. Man danner kjeder der informasjonen er tilgjengelig for alle. Kan man så tjene på dette, vil man kunne forbedre resultatene?

Å se på hele logistikk kjeden under ett har man jobbet med tidligere, et kjent eksempel er "The Beer Game". "The Beer Game" er en enkel avbildningen av en virkelig logistikk kjede som ble utviklet ved Massachusetts Institute of Technologys Sloan School of Management (MIT) i 1960-årene. Målet av å vise hvordan den enkelte beslutning i kjeden vil påvirke de andre leddene uten at beslutningstaker er klar over det. Modellen ble laget for å isolere enkelte hendelser og minke kompleksiteten slik at læringsaspektene kom klarere fram enn det man oppnådde ved å benytte virkelige organisasjoner. Man ønsket fokus over fra organisasjonens struktur og handlingsplan til grunnleggende måter for tenking og samhandling. Ved å fokusere på tenking og samhandling ville man se om det var en spire til å få bedrifter til å se muligheter ved å forandre strukturen og handlingsplanen. Vi skal se litt nærmere på dette mot slutten av denne rapporten.

"The Beer Game" er en del av boka "Den femte disiplin, kunsten å skape den lærende organisasjon" av Peter M. Senge. Denne avbildningen av virkeligheten gir flere ideer om hvorfor logistikk kan være så vanskelig, samtidig som man kommer inn på ting som kan trekkes over i elektronikk bransjen. I

kapittel 2.1 kommer noen av de sentrale tankene om "The Beer Game", slik at dette kan brukes som et grunnlag for senere diskusjoner rundt logistikk kjeder.

2.1 "The Beer Game"

"The Beer Game" beskriver en logistikk kjede med fire aktører. Markedet etterspør en jevn mengde av varene, her et bestemt øl-merke, "Lover's beer" i hver periode. Detaljisten selger det samme antallet kasser hver uke. Detaljisten har fire ukers leveringstid på sine bestillinger. Han kjører med et lite lager til en hver tid, omtrent den mengden som han selger i løpet av to uker. Grossisten leverer til flere detaljister. Han sitter også med et lager som dekker opp for normal etterspørsel i to uker. Grossisten bestiller varer på samme måte som detaljisten, men han bestiller i større kvanta da han selger til flere detaljister. Den jevne bestillingsraten opprettholdes slik at lageret holder seg på samme nivå. For grossisten gjelder det også at det han bestiller i dag blir levert om fire uker. Bryggeriet som mottar jevne bestillinger hver uke har en jevn produksjon, en produksjon tilsvarende bestillingene. Produksjonen av øl tar den samme tiden uansett, man kan ikke produsere hurtigere uten å investere i mer utstyr, eller arbeidskraft. Det tar to uker å produsere en flaske øl.

I utgangspunktet blir det solgt den samme mengden av "Lover's beer" hver uke. Bestillingene i de enkelte leddene ligger jevnt på samme nivå. Så plutselig øker etterspørselen til det dobbelte, og blir på det nivået over en lengere periode. Hva skjer i de enkelte ledd da? La oss se på scenarioet litt mer detaljert. Her følger det en beskrivelse av de enkelte deltagerne fra detaljisten til produsenten. Vi ser på detaljisten først.

Detaljisten bestiller som vanlig fire kasser for å dekke opp siste ukes salg, så plutselig en uke øker salget til åtte kasser. Som selger er detaljisten svært fornøyd, han klarer å kompensere for slaget ved hjelp av de kassene han hadde på lageret. For å kompensere for det økte salget bestilles det åtte kasser ved neste bestilling. I neste uke går ikke salget ned til det normale igjen, nye åtte kasser tar veien over disken. Nå gleder detaljisten seg til neste leveranse for han trenger sårt flere kasser øl, men hva får han levert, jo de fire kassene han bestilte for fire uker siden. Detaljisten føler at varelageret er lite og bestiller for å dekke opp forventet salg og lager 12 kasser på neste bestilling. Påfølgende uke tar markedet fortsatt unna åtte kasser, men neste levering blir en skuffelse, ølbilen kommer med fem kasser øl. Nå begynner detaljisten å bli bekymret siden ølet har blitt så populært og han ikke klarer å holde tritt med etterspørselen. For ikke å risikere noe blir neste bestilling på 16 kasser. Uka etter forsvinner det siste rest av lageret med en gang. Ølbilen bringer riktignok sju nye kasser slik at man dekker opp resten av uka, men nå er lagret tomt og neste bestilling blir på 16 kasser for detaljisten ønsker ikke å tape ansikt til kundene. I påfølgende uke dukker kundene opp med en gang og ønsker øl, men detaljisten har ikke noe å selge. Noen av kundene setter seg opp på bestilling slik at de skal få når det kommer inn. Nå stiger spenningen til om hva neste levering inneholder, seks kasser dukker opp. Neste bestilling blir på 16 kasser selv om lysten er stor til å gå for mer. Uka etter kommer det fem kasser. Nok en uke med tomme hyller. Nok en bestilling på 16 kasser blir effektivisert. Nå rettes oppmerksomheten for allvor mot dette ølmerket og neste uke bør de 16 kassene som ble bestilt for fire uker siden dukke opp, men nei det kommer fem kasser. Nå konfronteres sjåføren med fakta. Svaret er at han ikke vet, men de er sikkert på etterskudd. Lettere desperat følges denne samtale opp med en bestilling på 24 kasser.

Hvordan oppfattet grossisten det som skjedde?

Grossisten leverer øl til flere detaljister, men er ikke den eneste grossisten i området. For merket "Lovers Beer" er grossisten imidlertid eneleverandør. Grossisten bestiller sine varer fra de forskjellige bryggeriene, eneste forskjellen fra detaljisten er at grossisten bestiller i gross ikke i kasser. Et gross tilsvarende ett billass. I uke 8 er grossisten blitt like frustrert som detaljisten. I alle tid tidligere har "Lovers Beer" solgt den samme mengden i uke etter uke, men i uke 4 begynte bestillingene å stige sterkt. I begynnelsen var det enkelt å møte den økte etterspørselen fra de forskjellige detaljistene ved hjelp av lageret. I uke 6 var lageret tomt og grossisten klarte ikke å levere tilstrekkelig til detaljistene. Det ble levert det som fantes og resten av bestillingene ble satt opp som rest. Samme uke leste

grossisten en artikkel om en musikkvideo som virket som reklame for "Lovers Beer". Den spontane reaksjonen på dette var å bestille 20 billass i uke 6. Fem ganger så mye som normalt. Beroliget over at de ekstra bestillingene ville komme inn i løpet av et par uker ble ikke grossisten videre urolig over at lageret var slutt. I uke 8 ringer grossisten bryggeriet og forteller at neste bestilling blir på 30 billass. Under samtalen får grossisten greie på at bryggeriet ikke har startet økt produksjon før for to uker siden. Uke 9 kommer og detaljistene bestiller 20 billass, men grossisten kan fortsatt ikke levere. Overbevist om at bestillingen som ble gjort for en måned siden skal komme inn å redde neste levering gjør grossisten roligere, men da det kommer kun seks billass brer uroen seg. Neste uke blir fryktelig, alle detaljistene skal ha flere kasser øl en noen gang. Det kommer bestillinger på 26 billass. Lettere desperat blir neste bestilling satt til 40 billass. Nest ukens leveringer fra bryggeriet lyder på 12 billass. Nå gjør det vondt for nå ligger grossisten over 100 billass på etterskudd. 77 fra tidligere uker pluss bestillingen på 28 som kom denne uken. Redd for at man ikke skal kunne dekke etterspørselen bestilles det 40 billass ved neste bestilling. Nå følger flere uker med samme høye bestillinger fra detaljistene uten at bryggeriet kan levere i nærheten av det som er bestilt. Så endelig kommer bryggeriet etter, leveringene øker, men nå minker også bestillingene fra detaljistene. Etter 16 uker kommer nesten alt det ølet som var bestilt tidligere, nå stiger lageret og grossisten gleder seg til å kunne dekke bestillingene. Men detaljistene bestiller ingen ting. Alle bestillingene er null og atter null. Lettere frustrert skynder grossisten seg å kansellere sine egne bestillinger. De påfølgende ukene kommer det 60 billass fra bryggeriet og lageret til grossisten stiger stadig. Hvor lenge vil dette fortsette?

Hva skjedde i den andre enden av kjeden, hva foretok produsenten seg under veis?

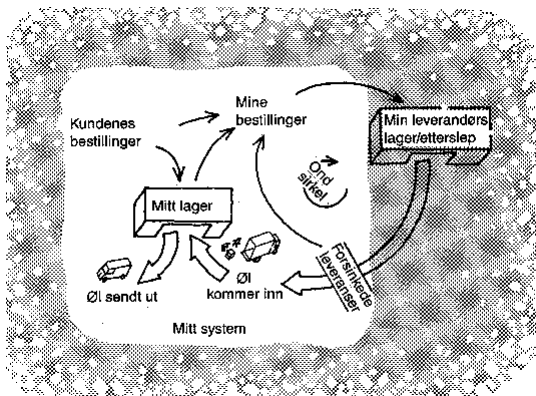
Bryggeriet er et lite bryggeri kjent for sin kvalitet. Bryggeriet kan komme på etterskudd. Det tar to uker å brygge en flaske øl, målt fra man beslutter å brygge til den står i kassen. Nå hadde man et lite lager da bestillingen begynte å stige, men i uke 7 var det slutt på lageret. I den påfølgende uken hadde bryggeriet restbestillinger på ni lass samtidig som det kom inn bestilling på 24 nye billass, men de kunne bare levere 22 billass. Nye uker går og bryggeriet sliter med å komme à jour med ordrene. Man har planer og ønsker om å produsere nærmere 70 billass pr uke. Endelig i uke 16 var bryggeriet kommet på høyden, økt produksjon hadde gjort at bryggeriet hadde dekt etterspørselen. Uka etter kommer det inn bestillinger på 19 billass, og i uke 18 var alle bestillingene null. I uke 19 sitter bryggeriet med et lager på 100 billass, nok en gang bestilles det ikke varer. Lageret fylles da produksjonen fortsetter på et høyere nivå enn etterspørselen. Mønsteret gjentar seg i de påfølgende ukene.

Nå tar en av bryggeriets markedsansvarlige en tur ut til grossistene for å se hva som er skjedd. Den første grossisten hilser surt og tar med seg bryggeriets representant inn på lageret der han viser fram 220 billass. I fellesskap kommer de to representantene fram til at markedet har svingt opp for så å synke kraftig igjen. Ustadike kunder må være grunnen. På veien hjem vil representanten sjekke innom en detaljist også. Her treffer representanten butikkinnehaveren. De begynner å prate og under samtalen kommer det fram at detaljisten sitter med 93 kasser på lager. Dette dekker salget i lang tid framover. Første bestilling fra detaljisten kommer nok ikke før om 6 uker. Et granskende blikk etterfølges av det forventede spørsmål; "Hvordan kunne dette skje?". Detaljisten mener de ikke kan trekkes til ansvar. I uke 1 solgte de fire kasser øl, så i uke 2 gikk det åtte kasser. Å fra da har det gått åtte kasser hver uke. Når vi bestilte for å dekke økningen fra fire til åtte kasser leverte dere ikke, derfor måtte vi bestille mer for å dekke opp slik at vi skulle få tilstrekkelig. Markedet etterspør fortsatt åtte kasser pr uke. Noen dramatisk økning med etterfølgende nedgang har det ikke vært. Lettere betenkt reiser bryggeriets mann videre, overbevist om at det må finnes en rasjonell forklaring på det hele. Det er tydelig at detaljisten vil skylle på grossisten og grossisten på bryggeriet, men behøver det å være slik?

"The Beer Game" brukes som ett rollespill. Deltagerne trekker en av rollene som da enten er detaljist, grossist, eller bryggeri. Læringssituasjonen kommer når spillet settes i gang. Man skal da dekke etterspørselen av varer til en hver tid. Hvordan man løser problemene er opp til hver enkelt spiller. Man vet hvor mye man har, hvor mye man tror vil selges, og hvor mye som er bestilt av leddet under i kjeden. Ut fra dette skal de bestille neste leveranse. Problemene begynner når man glemmer tidsforsinkelsene på leveringene og når leverandøren ikke kan levere den bestilte mengden varer.

De enkelte ledd i kjeden har ingen kommunikasjon med de andre, utover bestillingsskjemaene. Det er ikke forsinkelser i modellen utover leveringsforsinkelsen på henholdsvis 4, 4 og 2 uker som det tar og effektivisere en bestilling. For de fleste som prøver spillet vil scenarioet utvikle seg til en berg og dalbane hva varelager angår. Slik berg og dalbane oppførsel er kjent fra flere tjenesteytende næringer. Peter M. Senge bruker i boka "Den Femte Disiplin" [2] "The Beergame" som en innledning til en diskusjon rundt hvordan man bør skape en lærende organisasjon.

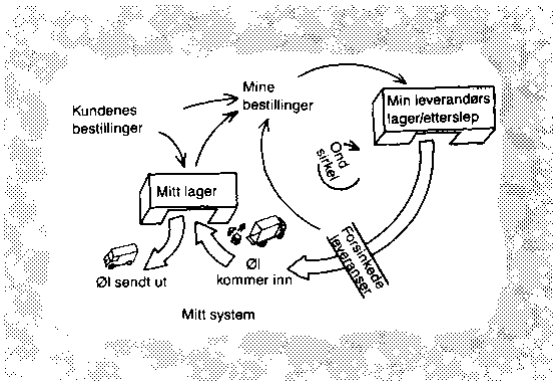
Hva er grunnen til at systemet blir ustabil, Senge peker på at hvert enkelt ledd i kjeden ikke ser annet enn sitt eget indre. Varebestilling baseres på hva man har på lager, hvor mye ønsker man å ha på lager og hvor mye kan man selge om fire uker. Ut fra dette settes neste bestilling opp. Man har liten forståelse for hvordan denne bestillingene vil påvirke neste periode. Egne bestillinger har du bare en vag anelse om hvordan blir behandlet. Man forventer bare at det skal dukke opp en leveranse som stemmer overens med denne innen rimelig tid. En slik forståelse av systemet er grafisk beskrevet i figur 1. Her vil den hvite firkanten i figuren beskrive hvordan den enkelte deltager forstår hendelsesforløpet i egen bedrift. Man kjenner ikke til hvordan de andre leddene i kjeden oppfører seg og man kjenner ikke deres struktur. Kommer ikke varene som er bestilt til den tiden man forventer vil man bestille ytterligere varer da man allerede er på etterskudd. Behovet for større leveringer blir påtrengende, og man bestiller store mengder uten tanke for at man sliter med store restorder fra tidligere bestillinger. Det bestilles større kvanta for å dekke opp avviket som er oppstått. Dette vises som den onde sirkel på figur 1. Med denne oppførselen vil spilleren styre sin egen situasjon der man reagerer på de ytre forandringene som mottatte bestillinger, ankommet øl og leverandørens forsinkelser.



Figur 1: "The Beer Game" slik hver enkelt spiller ser seg selv i forhold til sine omgivelser

Ved denne forståelsen av systemet mister man oversikten over hvordan egne bestillinger samspiller med andres bestillinger og lager, samt hvordan de påvirker faktorene som oppfattes som "eksterne". Hvert enkelt ledd samspiller i et større system som spillerne bare har en vag oppfatning av. Hvis det sendes en stor bestilling kan denne tømme leverandørens lager. Dermed vil det bli økte forsinkelser i leveransene. Hvis spillerne da møter denne situasjonen med å øke bestillingene ytterligere skaper det en ond sirkel med økende problemer i hele systemet. Den onde sirkelen kan startes av alle leddene i kjeden hvis de får panikk for ikke dekke etterspørselen. Dette gjelder også bryggeriet, hvis de ikke produserer tilstrekkelig med øl.

Hvis hvert enkelt ledd i systemet fikk større innblikk i de andre leddene ville man fått en bedre stabilitet i systemet. At leveranser uteble ville få en naturlig forklaring, samtidig som det ville være lettere å sjekke ut hva som skjedde i de andre leddene. Hvis man klarer å gå inn i spillet med figur 2 i tankene og man har forstått denne vil man kunne oppnå bedre resultat. Man er imidlertid avhengig av at de andre deltagerne også forstår denne figuren og dens oppbygning. Som nevnt tidligere er det nok at et ledd i systemet får panikk.



Figur 2: "The Beer Game" slik spillerne burde se seg selv i forhold til omgivelsene

Oppsummert vil dette kunne underbygge følgende:

1. Struktur påvirker adferd
Mennesker innenfor samme struktur har en tendens til å produsere kvalitativt likeverdige resultater. Når problemer oppstår, eller resultatene ikke er som forventet, er det lett å finne noen eller noe å legge skylden på. *Men oftere enn vi er klar over, er det ikke utenforliggende krefter eller enkeltmenneskers tabber, men systemene selv som skaper sine egne kriser.*
2. Strukturen i et system av mennesker er meget nyansert
Vi tenker ofte på "struktur" som noe udefinert som skaper begrensninger for enkeltmennesker. Med *struktur* i komplekse, levende systemer (som for eksempel blodomløpet eller nervesystemet hos mennesket) *menes de innbyrdes relasjoner som kontrollerer adferd*. I systemer av mennesker omfatter struktur også hvordan man fatter beslutninger – hvordan vi omgjør informasjon, mål, regler og normer til praktisk handling.
3. Nye måter å tenke på gir makt
I menneskelige systemer har folk ofte en potensiell makt som de ikke er klar over fordi de bare konsentrerer seg om sine egne beslutninger og overser hvordan de påvirker andre. I ølspillet har deltagerne makt til å eliminere de ustabile situasjonene som alltid vil oppstå, men de unnlater å gjøre det fordi de ikke forstår hvordan de selv har skapt denne ustabiliteten.

Fra "Den femte disiplin"[2]

Som vi helt tydelig ser ut fra "The Beer Game" kan en logistikk kjede uten styring resultere i store uønskede svingninger og lagermengder som kommer ut av kontroll. For en elektronikk produsent med marginer som nevnt i innledningen ville en slik situasjon bety kroken på døra. Man kan ikke leve med slike hendelser. Hva skjer da om vi tenker oss en elektronikk bedrift i en slik kjede? Hvis vi lager en modell der en elektronikk produsent blir den produserende enheten på slutten av kjeden, vi benytter ledetider og forsinkelser fra elektronikk bransjen, kan vi da bygge en modell som illustrerer måter å forbedre situasjonen på?

R. G. Coyle har gitt ut boka "System dynamics modelling"[1], i denne boka er det ett eksempel som illustrerer en produksjonsbedrift, "Domestic Manufacturing Company" (DMC). DMC produserer vaskemaskiner. Salget går bra, men til tider opplever produsenten svingninger i markedet. Disse svingningene takler deler av bedriften, men ikke alle er like fornøyde til en hver tid. Problemet er at produksjonsavdelingen takler de forskjellige svingningene godt, men råvarelageret svinger så mye til tider at produksjonen må reduseres fordi lageret er tomt. For å sette fokus på hva som er galt i bedriften lager Coyle en systemdynamisk modell av bedriften. Denne modellen blir da en avbildning av virkeligheten som man kan analysere og forbedre på forskjellige måter. Eventuelle antagelser om forbedringer blir testet før de settes ut i livet. Modellen blir verifisert, validert og testet i boka. Det vil være trygt å benytte denne modellen som et ledd i en større logistikk kjede, da den inneholder mange av de aspektene som elektronikk produsenter også står over for. For at leseren skal kjenne modellen til Coyle før den omtales som et ledd i den generelle logistikk kjeden presenteres modellen her. Neste kapittel omhandler Coyles modell; "Domestic Manufacturing Company".

2.2 Coyles: Domestic manufacturing company (DMC)

”The domestic manufacturing company (DMC)” produserer vaskemaskiner for salg til forskjellige store grossister i markedet. De bestiller varer fra forskjellige leverandører. Råvarene har forskjellige leveringstider, men felles for alle er at leveringstidene er forholdsvis lange. Det som bestilles i dag leveres ikke før om 6 uker. DMC er en forenklet modell av en bedrift basert på erfaringer Coyle gjorde under et konsulent oppdrag for en tilsvarende bedrift. Hva bedriften produserte og navnet er forandret, men ledetider og interne policyer er like.

Kundene bestiller store mengder maskiner i gangen. Varene leveres seks uker etter de er bestilt. Produksjonen har kort ledetid, men bestilling av råvarer tar seks uker. Selskapet har aldri klart å lage veldig gode prognoser på hva som kommer til å bli bestilt og har derfor levd med ustabile bestillingsmønstre. Hver nye bestilling legges til i ”etterslepsbunken”, (engelsk; ”backlog”). Denne bunken skal holde seg stabilt på ett nivå. Produksjonsavdelingen anser to faktorer før de fastsetter produksjonsraten. Avviket mellom skalverdi og erverdi på etterslepet og gjennomsnittet av bestillingsraten. De vil fjerne et eventuelt avvik mellom skalverdi og erverdi på etterslepet, avviket fjernes over fire uker. Nye bestillinger blir det tatt et gjennomsnitt av over de siste fire uker. Etterslepets skalverdi settes til seks uker med gjennomsnitts bestillingsrate. Faktor nummer to er at de trekker med siste ukes bestillingsnivå.

For å bestille nok råvarer bruker man en referanseverdi basert på bestillingsraten og avviket mellom denne hva som ligger på lager. Råvarelageret prøver å holde lagermengden opp til en gitt skalverdi. Det bestilles råvarer etter denne mengden og et eventuelt avvik mellom skalverdi og erverdi skal fjernes i løpet av fire uker. Skalverdien settes på grunnlag av en glatting av produksjonsvariasjonene i løpet av de siste fire ukene. Målet er å ligge inne med et lager som dekker åtte uker gjennomsnittsproduksjon. Avdelingen tar også hensyn til forbruket akkurat nå.

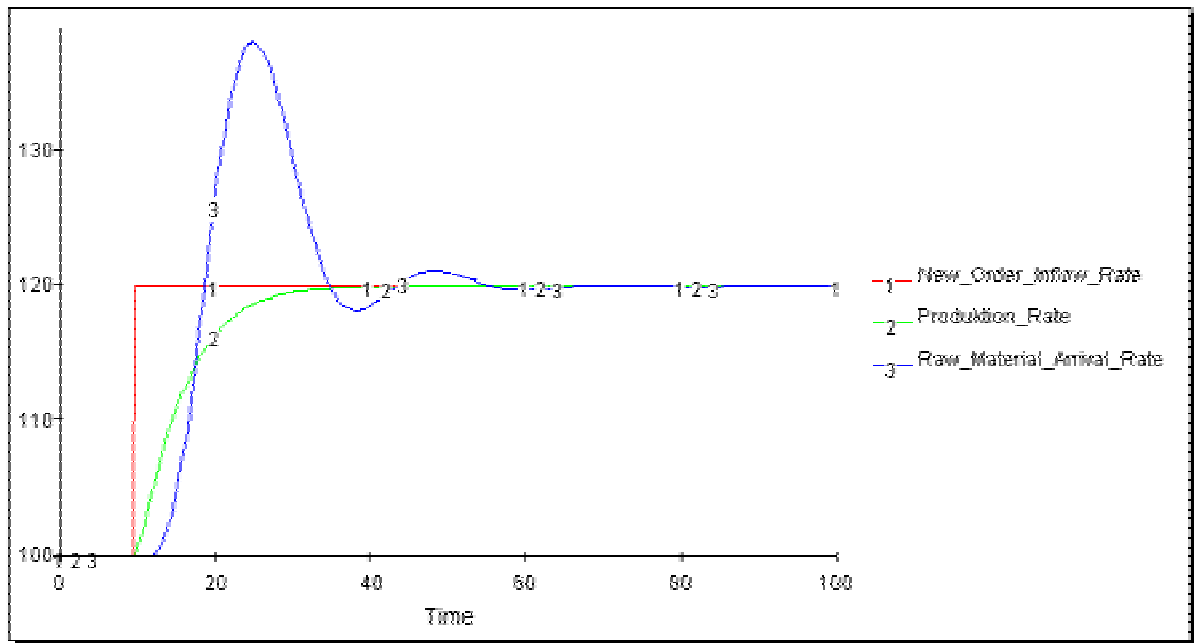
På grunnlag av dette ble det satt opp et ”årsaks løkke diagram”, (engelsk; ”causal loop diagram” (CLD)). Slike diagram beskriver hva som skjer i prosessen, hvilke faktorer som påvirker hverandre og om de gir positive eller negative bidrag. Relasjonene beskrives ved hjelp av piler. Hvilken påvirkning den enkelte faktor gjør på den andre beskrives med pluss- og minustegn på relasjonspilene. Hvis A påvirker B og pilen mellom A og B er merket med en pluss vil en økning i A gi en økning i B. Er pilen merket med en minus vil en økning i A gi en nedgang i B. En stiplet pil mellom to faktorer forteller at påvirkningen er en informasjonsflyt. Heltrukne linjer forteller at det er en forflytning av materialer. Hvis en relasjon gir en forsinket påvirkning vises dette ved å markere pilen med ”Delay”. En ytre kraft som påvirker inn i systemet vises med en firkantet boks rundt navnet på kraften.

CLD for ”Domestic Manufacturing Company” ble laget i samarbeide med de ansatte i bedriften. Vedlegg A: CLD for Coyles enkle modell viser diagrammet som forteller hvordan firmaet fungerte før Coyle kom inn i bildet. Flere ansatte ble trukket inn i utarbeidelsen av diagrammet, slik at man kjente til holdninger og oppfatninger til de involverte samtidig som det bedret mulighetene til å få en modell som stemte med virkeligheten.

DMC utsettes for en ujevn ordre tilgang der man ikke klarer å sette opp prognoser for utviklingen. Det man vet er at innenfor en tidsperiode på 12 måneder er det to topper, med en etterfølgende nedgang. Problemene kommer som et resultat av disse forandringene. Produksjonsavdelingen henger greit med og klarer forandringene bra, men de er avhengige av råvarer. Hos råvarelageret sliter man mer med å holde tritt. Her opplever man store svingninger. Til tider må produksjonsavdelingen stanse produksjonen fordi det ikke er tilstrekkelig med råvarer. Andre ganger må bedriften ut å leie lagerlokaler for å få alle varene under tak. Dette påfører bedriften store ekstra utgifter, samtidig som det til tider skaper en amper stemning i miljøet i bedriften. Kan man finne årsaken til disse problemene og øke lønnsomheten ved å benytte seg av en systemdynamisk modell?

Det bygges en modell ut i fra CLD som er laget. Modellen testes ut ved at man genererer en ytre kraft som simulerer bestillinger fra et tenkt marked. Firmaet hadde problemer med forandringer i bestillingsraten. For å teste modellen ble den utsatt for en sprangrespons, en spontant forandring av

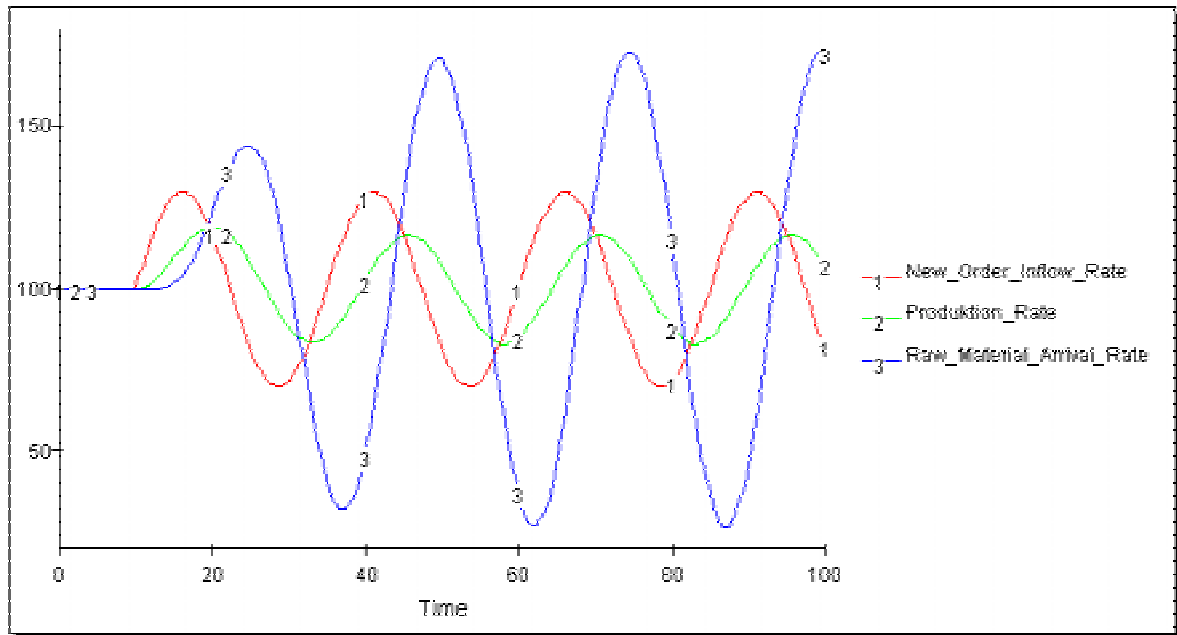
påvirkningen fra ett nivå til ett annet. Ved en slik påvirkning ble ikke forandringene i varelageret så store at det fikk følger som beskrevet i av bedriften før start. Figur 3 viser forløpet når det påtrykkes ett sprang. Graf nummer 1 viser forløpet som påtrykkes modellen. Produksjonsraten har et kontrollert innsving der verdiene aldri kommer over referanseverdien, Graf 2. Graf 3 som viser hvordan råvarene blir levert har et kraftig oversving og et forholdsvis stort og tregt innsving. En oppførsel som er normalt for systemer der du har en tidsforsinkelse fra påvirkningen bestemmes til resultatet kommer. Denne oppførselen kan gi store utslag hvis referansen forandrer seg flere ganger. Modellen viser tegn på ustabilitet, men den svinger ikke helt ut.



Figur 3: Sprang på Coyles enkle DMC modell

For å teste om modellen stemmer med virkeligheten må den påvirkes med en impuls som ligner på virkeligheten. Da DMC fortalte om sine problemer sa de at problemene kom i forbindelse med at bestillingsraten fikk to topper i løpet av et år. For å simulere to topper med etterfølgende nedgang påtrykkes nå modellen en sinusrespons. Ved å legge en sinus med periode på 25 uker og amplitude på 30 enheter rundt basisnivået vil man få en tilnærmet lik påvirkning som virkeligheten ga bedriften.

Nå kommer det tydelig fram at noe kunne vært bedre i bedriften. Figur 4 viser de samme parametrene som figur 3, men resultatene og oppførselen er en helt annen. Som bedriften beskrev hadde man ingen problemer med å holde produksjonsraten jevn og kontrollert. Ordretilgangen svinger med to topper innenfor 50 uker. "New_Order_inflow_Rate" er impulsen utenfra som påvirker systemet, bestillingene som kommer inn. Produksjonsraten beregnes ut i fra hvor stort avvik det er mellom bestemt og reell verdi på etterslepet samtidig som gjennomsnitts produksjonsrate brukes som grunnlag for produksjonsraten. Produksjonsraten har beskjedene svingninger selv om impulsene svinger mye, men råvarebestillingene varierer mye. Det er helt tydelig at modellen har koblinger som ikke er bra, samtidig som råvarebestillingene ikke gjøres på riktig grunnlag. Graf 3 viser svingningene på bestillingsraten.



Figur 4: Bestillinger, produksjonsrate og råmaterallager slik det var i den originale bedriften

Neste spørsmål blir da, kan man finne en forklaring på hvorfor det blir så ustabil? I fra samtale med de ansatte i bedriften kom det tydelig fram at sydebukkene måtte sitte på råvarelageret, de kunne jo ingen ting. Flere av de ansatte på råvareavdelingen ønsket seg derfor et Management Information System (MIS), slik at de kan holde orden på mengden varer som er bestilt, men ikke levert. Dette vil begrense mengden av dobbelt bestillinger som kommer av at man ikke tar hensyn til allerede bestilte varer som ikke er levert enda. Coyle bygger inn en blokk i modellen som fungerer som et slikt system slik at man kan se hvordan det påvirker systemet. Vedlegg B: CLD for Coyles utvidede modell viser CLD for alle forbedringer som ble gjort. Dette innføres i modellen ved hjelp av følgende variabler: "Switch_1", "Raw_Material_on_Order", "Raw_Material_on_Order_Disc" og "Desired_Raw_Material_on_Order". Disse variablene holder orden på råvarene som er bestilt, men ikke levert til bedriften. "Switch_1" legges til for å kunne koble ut og inn MIS systemets virkning.

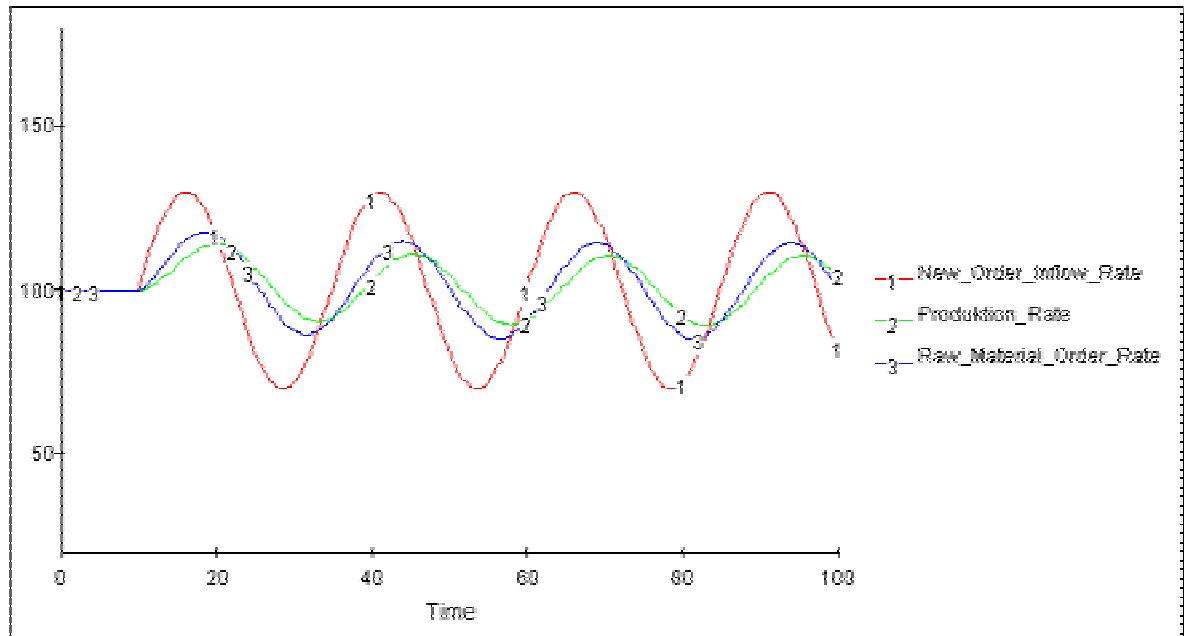
MIS vil gi en forbedring, men det er ønskelig med mer kontroll og mindre avvik i råvarelaget. For å øke kontrollen ytterligere på råvare –bestillingene og –lageret legges det inn en foroverkobling (engelsk: feedforward) fra "Average_Order_Rate" i tillegg til den som allerede finnes fra "Average_Order_Rate" til "Raw_Material_Order_Rate". "ALPHA" innføres slik at man kan vekte "Average_Order_Rate" og "Average_Prod_Rate" påvirkning av "Raw_Material_Order_Rate".

"Switch_1" og "ALPHA" opptrer som strukturelle verdier. Forskjellen på de to er at "Switch_1" er en binær strukturell verdi, den har enten verdien 0 eller verdien 1. "ALPHA" er en kontinuerlig strukturell verdi som har verdier mellom 0 og 1. Ligningen for bestilling av råvarer blir da slik:

$$(1) \quad (Raw_Materials_Stock_Disc / Time_to_Correct_Raw_Material_Disc + ((1 - ALPHA) * Average_Prodction_Rate + ALPHA * Avreage_Order_Rate) + Switch_1 * (Raw_Material_on_Order_Disc / Time_to_Correct_Raw_Ma))$$

Ytterligere forbedringer av driften ble gjort med å legge inn to tilbakekoblinger (eng. feedback) og to foroverkoblinger til. "DELTA" og "Switch_2" legges inn slik at man henter informasjon fra avviket i råmateriale lageret og gjennomsnitts produksjons rate og lar dette påvirke produksjonsraten. Dette innebærer at man minker produksjonen hvis det er lite råvarer på lager og at man øker produksjonen hvis lagerene er fulle. "DELTA" og "GAMMA" legges inn slik at gjennomsnitts ordrer og gjennomsnitts produksjonsrate påvirker henholdsvis "Desired_Raw_Material_on_Order" og "Desired_Raw_Material_Stocs".

Etter at Coyle har utvidet modellen og funnet de beste verdiene for de konstantene oppfører modellen seg slik, se figur 5:



Figur 5: DMC modellen etter tilpasninger og forandringer for bedre styring

Dette viser at en økt og forbedret informasjonsflyt internt i bedriften der man benytter foroverkoblinger og tilbakekoblinger vil gi en bedre lønnsomhet og man får bedre kontroll over egne lager samt produksjonsmengdene.

Coyles modell optimaliserer informasjonsflyten internt i en bedrift. Ved å gjøre forandringene som er testet i modellen vil man redusere risikoen noe, samtidig som man øker fortjenesten. Med dagens utvikling stilles det ofte krav til hvor fort et produkt kan leveres. Dette vil si at man ønsker en best mulig informasjonsflyt internt og eksternt til og fra bedriften slik at man føler på hva som skjer i markedet slik at man kan posisjonere seg riktig. Et gitt problem er at man som produsent er avhengig av varer bestilt fra andre leverandører. Disse varene er det leveringstider på. Leveringstiden vil veldig ofte påvirke ledetiden til det ferdige produktet.

Ved å ta utgangspunktet i Coyle sin modell, som helt klart tar hensyn til råvarebestilling og produksjonsrate internt i en bedrift kan man bygge inn denne i en produksjonskjede slik at det inngår som et ledd i en større sammenheng. En slik oppbygning vil kunne gi avvik som den allerede forandrede interne strukturen ikke tåler. Finnes det da mekanismer for å begrense eventuell uønskede utslag?

Coyle sin DMC modell settes derfor inn som siste ledd i en logistikk kjede bestående av en kunde, som er en ytre kraft. Detaljisten forhandler varer til kunden, mens detaljisten igjen kjøper sine varer fra grossister. Grossisten kjøper og bestiller rett fra produsenten. Kjeden vil til å begynne med bestå av separate enheter som bestiller varer fra hverandre og får disse levert etter en tid.

For å sette dette inn i en helhet vil det lages et case som beskriver en situasjon som kan relateres til virkeligheten. Neste kapittel presenterer et slik case som legger grunnlaget for en modell.

3 Problem / Case

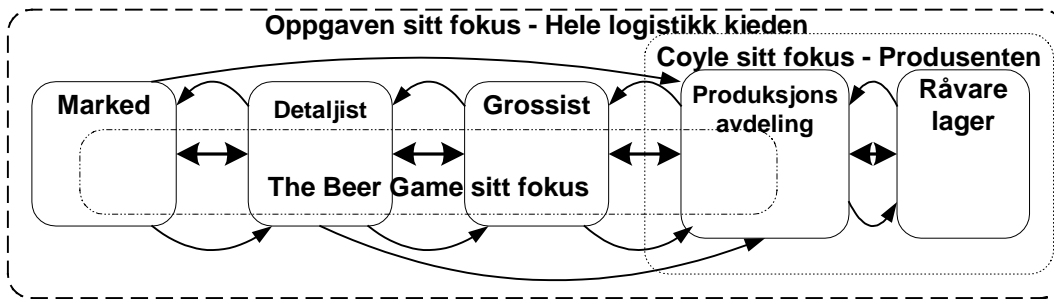
En produsent slik som Coyle beskriver det må hele tiden forholde seg til et marked i forandring, mengden og størrelsen på forandringene varierer fra marked til marked. Størst er vel utviklingen innenfor elektronikk- og databransjen. Her forandrer produktene og kundegrunnet seg hele tiden. For å tjene penger kreves det at man kan levere produkter raskt og til en tilfredsstillende pris. Man skal heller ikke sitte igjen med store lager av råvarer eller ferdigprodukter. En elektronikk produsent produserer varer for salg hos flere grossister, her er kallet bedriften Produsent AS. Produktene spres på flere markeder der de selges hos flere forskjellige detaljister. Her følger en oppstilling av en veiene varene tar fra produsenten og ut til sluttbruker.

Firmaet Produsent AS produserer på bestilling ”artikler” til Grossist AS. Grossist AS er ikke eneste kjøper av artikler fra Produsent AS. I modellen betraktes bare Grossist AS, alle de andre kundene er utelatt. Grossist AS selger og distribuerer sine produkter til Detaljisten AS. Detaljisten selger ”artikler” på det åpne marked. Markedet etterspør varene fra Detaljisten AS etter et noe varierende mønster, men man vet at det i løpet av et år har man to toppe med etterfølgende nedgang og bunnpunkter. Detaljisten AS sitter med et lager som dekker omtrent 2 ukers gjennomsnittlig omsetning. Man har ikke faste bestillinger hver uke til Grossist AS, da behovet stadig forandrer seg. Når Grossist AS mottar en bestilling vil de sende ut og levere bestillingen innen to uker hvis de selv har tilgang på varer, for det meste fra eget lager. De bestiller selv varer fra Produsent AS. Produsent AS opererer med en ledetid på 6 uker for framstilling av ferdige produkter. I tillegg til de 6 ukene det tar å ta fram produktet tar det også en uke å frakte det til Grossist AS. Grossist AS ligger med et lager der de dekker Detaljisten AS sin gjennomsnittlige bestillingsmengde 4 ganger. Selv bestiller Grossist AS varer hver uke. Felles for både Detaljisten AS og Grossist AS er at de sammenligner den mengden varer de har på lager og en skalverdi for lageret. Avviket her blir dekket inn, men det skal dekkes inn over flere bestillinger. Detaljisten AS dekker inn avviket over 2 bestillinger, Grossist AS dekker og etterslepet over 2 bestillinger.

Produsent AS har tidligere gjennomgått en større indre oppfriskning når det gjelder egne rutiner for varelager og produksjon. Bedriften har tatt i bruk nye systemer som skal forbedre lønnsomheten i bedriften. Det er innført et MIS som holder orden på bestilte varer som enda ikke er levert. Bestillinger av råvarer gjøres på grunnlag av en sammenligning av gjennomsnittsbestillingene over de siste fem til seks ukene, avvik i bestilte råvarer som gir uttrykk for hvor mye råvarer som er bestilt i forhold til den mengden som alltid skal være bestilt spiller inn. Avviket her utjevnes over 2 ukers bestillinger. Gjennomsnittlig produksjonsrate i de siste 10 ukene og avvik i det faktiske råvarelageret, avledet av avviket mellom den bestemte råvarelager verdien og den faktiske. Dette avviket skal utjevnes i løpet av de påfølgende 10 ukene. I bestillingen legges det mest vekt til produksjonsratens gjennomsnitt, så legger man til bestillingen avviket i råvarelageret, samtidig som man kompenserer for mengden råvarer som er bestilt, men ikke levert.

Produksjonsraten hos Produsent AS reguleres i forhold til gjennomsnittsordrerate, etterslepet og råvarelageret. Dette slik at man ikke skal oppleve situasjoner der man ikke har nok råvarer til å opprettholde produksjonen. Dette vil da si at Coyle sin forbedrede modell av ”Domestic Manufacturing Company” brukes for å simulere Produsent AS.

For å vise hvordan ”The Beer Game” og R. G. Coyle sitt ”Domestic Manufacturing Company” nå henger sammen og danner grunnlaget for besvarelsen er det satt opp et sektordiagram. Figur 6 viser diagrammet.



Figur 6: Sektordiagram av de forskjellige delene og hvordan de griper inn i hverandre

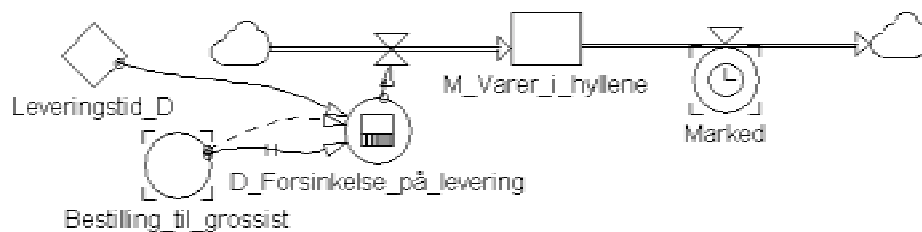
Figur 6 viser hvordan Coyles DMC beskriver forholdet mellom produksjonsavdelingen og råvarelageret. De interne relasjonene som ble etablert i forbindelse med forbedringsprosessen som kapittel 2.2 beskriver. Videre utvides "The Beer Game" slik at det beskriver mer enn den enkel kjeden mellom marked og produsent. Der det ikke er noen relasjoner utover de leveringene som man hadde hver uke. Oppgaven øker omfanget på "The Beer Game". I besvarelsen skal fokus flyttes til hele kjeden og da innbefatte kommunikasjonen mellom de enkelte leddene. I tillegg skal fokus rettes mot muligheter for å utveksle informasjon mellom ledd som ikke har utveksling til vanlig. Helheten skal til slutt inkludere en utvidet enhet basert på "The Beer Game" og "Domestic Manufacturing Company".

4 Modellen

4.1 En innføring i dynamisk modellering

For lesere som ikke kjenner dynamisk modellering fra før gis det her en beskrivelse av noen av de sentrale emnene. I alle modeller forenkler man virkeligheten. En modell inneholder alltid bilder og forenklinger på det som faktisk skjer. I en modell skal man ikke begrave seg i detaljer. Alt som ikke har direkte innvirkning på resultatet eller forandrer dette ser man bort fra. Skal man lage en modell som viser hvordan publikum evakuerer en idrettsarena, tar man ikke hensyn til hvor tilskuerne bor, hva de heter, hvilken jobb de har, hvilken utdannelse de har eller om menneskene er 150 cm eller 220 cm høye. Man begrenser seg til å definere et individ og dets mulighet til forflytning ut av bygningen. Man velger sin "atomiske" enhet der man ikke har behov for å beskrive hva som ligger bak. I hver "atomiske" enhet kan det selvfølgelig være egne prosesser som kan modelleres, men disse interne prosessene påvirker ikke det vi er på jakt etter.

Modellene bygges opp av forskjellige elementer. Figur 7 viser et typisk utsnitt av en modell.



Figur 7: Illustrasjon av nivå og flyt ("M" forteller at det er relatert til marked/detaljist)

Man har både konstanter og variabler. En konstant er en parameter som settes til en fast verdi ved en hver simulering, men den kan forandres før simuleringen startes. Rutersymbolet viser at det er en konstant. Variable bestemmes av hvilken funksjon de inneholder og hvilke verdier som påvirker dem. De runde symbolene er variabler. Runde symboler med markerte hjørner er kopier av parametere som beregnes andre steder i modellen.

De forskjellige tynne pilene symboliserer en flyt av informasjon. Stiplet pil forteller at informasjonen kun flyttes over denne linken ved initialisering, gir startverdien. Den heltrukne pilen påvirker til en hver tid. Pil med to streker over er en forsinket link. Det vil si at man forsinker opplysningene inn til variabelen ved hjelp av funksjonen i variabelen. Her brukes funksjonen DELAYINF som forsinker informasjonsflyten. Firkanter, her en på midten representerer et nivå, (engelsk: level). Inn og ut fra et nivå går det flyt. Det strømmer enheter inn og ut pr tidsenhet. Kan sammenlignes med et badekar der kranen tapper vannet inn og det renner ut igjennom sluket. I logistikk sammenheng vil det si at det kommer en leveranse og da flyter det inn en ny mengde artikler. Når noen kjøper et produkt flyter det ut igjen. At det er en sky på enden av flyten/røret betyr at kilden befinner seg utenfor systemet.

4.2 Modell trinn 1

Den modellen som er bygd opp og benyttet bygger videre på DMCmodellen av R. G. Coyle. DMC modellen som ble presentert i kapittel 2.2 har blitt satt inn i en kjede sammen med to andre ledd. De to nye leddene er bygd opp slik at de skal kunne symbolisere en detaljist og en grossist. I dette kapitlet vil jeg fortelle hvordan modellen virker og hvilke tanker jeg gjorde meg når modellen ble bygd.

Modellen må ha en ytre påvirkningskraft som gir en impulser inn i systemet. Denne realiseres på samme måte som Coyle gjorde. Den ytre kraften bygges slik at man kan variere påvirkningen inn mot systemet. Det kan velges mellom forskjellige mønstre samtidig som verdiene til de forskjellige

mønstrene kan forandres. Dette beskriver markedet som etterspør og kjøper varene detaljisten selger. Variabelen "Marked" er realisert med følgende ligning:

$$(2) \text{ IF}(Bryter=1, (Normal_markedsverdi + Sinusverdi_amp * SIN(2 * PI * (TIME - Stepfunksjon_tidspunkt) / Sinusverdi_periode) * \text{IF}(TIME > Stepfunksjon_tidspunkt, 1, 0)), Normal_markedsverdi + STEP(Stepfunksjon_hoyde, Stepfunksjon_tidspunkt)) + (SINWAVE(Stoy_amp, Stoy_periode) * Stoy_paa_av)$$

Funksjonen over genererer et forløp som symboliserer markedet. Her kan man velge om markedet skal ha form som et sprang, eller som sinus eller om det skal ligge flatt igjennom hele perioden. Man kan påvirke verdiene på de forskjellige parametrene og man kan legge til en støyspenning. De forskjellige mulighetene til å påvirke systemet er hensiktsmessige med hensyn på verifisering, validering og testing av modellen. Bruken av de forskjellige mønstrene vil jeg komme tilbake til under verifisering og testing av modellen.

Detaljisten er bygd opp som et ledd med en kundemasse som blir representert ved størrelsen på funksjonen "Marked". Det antallet varer detaljisten selger angis av "Marked", samtidig som det bestilles nye varer etter dette mønsteret.

Den grunnleggende strukturen hos Detaljisten er bygd opp rundt et varelager. Varelageret tømmes i samme hastighet som markedet etterspør varene. Når lageret minker vil dette generere et avvik som sammen med gjennomsnittet av salget vil bli bestillingen til grossisten. Denne strukturen ligner den Coyle benyttet på sitt råvarelager.

Modellen tar ikke hensyn til sortiment, pris eller konkurrerende produkter. Her er det en markeds kraft som etterspør et bestemt antall artikler og disse vil bli solgt uansett. Modellen har ikke egenskaper som beskriver markeds krefter da dette ville økt kompleksiteten vesentlig. Butikken bruker gjennomsnittssalget over de siste åtte ukene som et grunnlag for hvor mye de skal ligge med på lager. Man bestemmer seg for hvor store lagerene skal være. Hvis det er avvik mellom lager og ønsket lager vil man prøve å minske dette avviket over tid, her regulert med et deletall. Lageret modelleres som et nivå. Inn og ut flyt til lageret reguleres av leveringshastigheten på de bestilte varene og markedet fjerner elementer fra lageret.

Grossisten er bygd på samme måte som detaljisten, med det er forskjeller i størrelsene på parametrene som benyttes. Hos grossisten har man en større tidsforsinkelse mellom bestilling og levering. Her må grossisten vente til produsenten klarer å levere varene. Dette fører til at grossisten velger å ligge med et større lager enn det detaljisten gjør. En utvidelse her ville vært å la grossisten forholde seg til flere detaljister. En slik forandring vil kun øke kompleksiteten på modellen uten å gi noen bedre svar enn det en enkel kjede vil gi. De forskjellige inngangsparametrene til grossisten og detaljisten beskrives i kapittel 4.2.1. Parametrene gjør det samme, men de har forskjellige verdier i de forskjellige delene av modellen.

4.2.1 De forskjellige konstantene og deres verdier

	Konstant	Verdi
Detaljist	<i>Periode for gjennomsnitt D</i>	8 uker
	<i>Hvor lenge skal lageret vare D</i>	2 uker
	<i>Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes D</i>	2 uker
	<i>Leveringstid D</i>	2 uker
Grossist	<i>Periode for gjennomsnitt G</i>	8 uker
	<i>Hvor lenge skal lageret vare G</i>	4 uker
	<i>Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes G</i>	2 uker
	<i>Leveringstid G</i>	1 uke

Tabell 1: Oversikt over de enkelte konstanter og deres verdier

”Periode for gjennomsnitt D & G ” angir over hvilken tidslengde man skal regne ut snittet av bestillinger inn til detaljisten (D) og grossisten (G). Antallet uker er satt til 8 på bakgrunn av Coyle sin modell og erfaringer fra den. Her vil økende tid forlenge tiden man tar snittet over og det vil gi mindre forandringer og et tregere system med større risiko å ikke bestille nok.

”Hvor lenge lageret skal vare D & G ” forteller hvor lenge lageret skal vare hos det enkelte ledd i kjeden. Hos Detaljisten som i snitt har to ukers leveringstid på bestillingene har de et lager som varer i 2 uker i forhold til siste gjeldende gjennomsnittsbestilling. Grossisten har vesentlig lengere leveringstider da produsenten bruker 6 uker på å ta fram produktet og det tar 1 uke å levere ferdigvarene, derfor opererer de med et større lager. Grossisten har et lager som skal dekke 4 ukers normale bestillinger. Det som her beskrives som tidsforsinkelser er behandlingstidene mellom at man bestiller varene fra leddet over seg i kjeden og til varene leveres og ligger klare for å føres videre til leddet under i kjeden. I dette tilfellet vil det være en kostnadsreduksjon for firmaet å sitte med så lite lager som mulig. Et lite lager vil begrense kapitalbindingen, noe om vil øke marginene.

”Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes G & D ” forteller hvor mye vekt man skal legge på avviket mellom skalverdi og erverdi på lagerene når man bestiller varer. Skal man fjerne avviket på første bestilling eller skal man fordele utjevningen over flere perioder. For Detaljisten velges det her å ta utjevningen over to perioder. Man får leveringer så hyppig at man ikke behøver å korrigere for eventuell avvik med en gang. Grossisten kan fort få problemer da de ligger med et mindre lager i forhold til etterspørselen, men de har is i magen og ligger med et utjevning over to bestillingsperioder. Formelen under viser hvordan parameteren ”Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes D ” påvirker bestillingsraten fra detaljisten til grossisten.

$$(3) M_Gjsnitt_marked + (M_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager / Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D)$$

Med en hurtig korrigerende av lageret vil responsen i modellen bli mer nervøs. Mindre forandringer vil kunne gi større utslag. Dekker man inn avviket over lengere tid vil modellen bli mer stabil. En mer nervøs modell med raskere forandringer vil påvirke det økonomiske resultatene hos alle leddene. Derfor er det best at avviket mellom lager og ønsket lager blir fjernet over lengst mulig tid. Jo større lager man sitter inne med jo senere behøver man å korrigere for avviket i lageret, men det er lite aktuelt å øke lagret for å ha større frihet til å korrigere lageret.

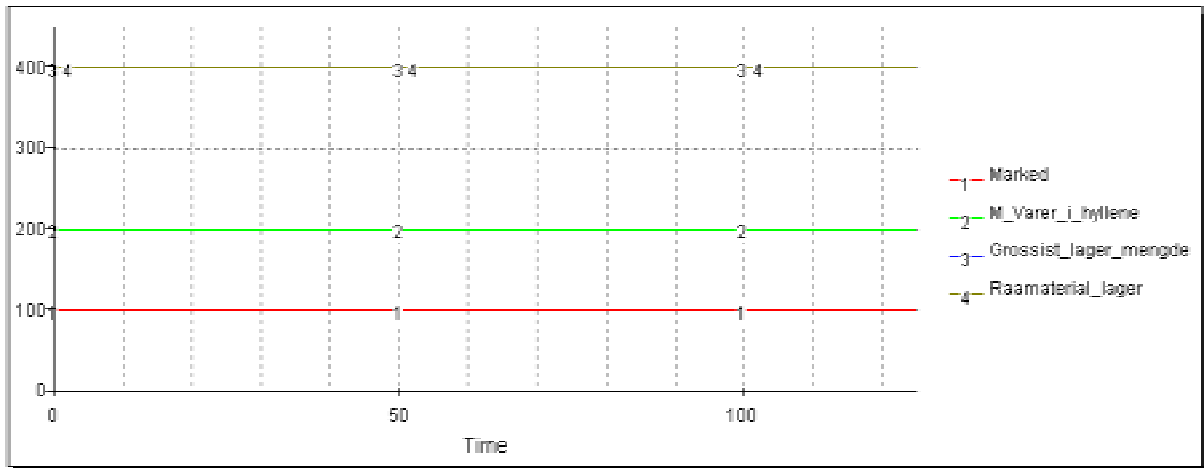
4.3 Modellens oppførsel ved forskjellig påvirkning

For å finne ut om modellen nå er bygd slik at den svarer til forventningene blir den utsatt for forskjellige påvirkninger. En jevn påvirkning over tid skal ikke gi forandringer i noen parametere i det hele tatt. Mens en sprangrespons vil gi forandringer, men ikke alle reaksjonene vil komme momentant.

4.3.1 Jevn påvirkning.

Ved jevn påvirkning uten forandringer skal modellen ikke forandre seg i fra startbetingelsene. Å benytte denne påvirkningen vil derfor gi en pekepinn på om modellen er bygd riktig og at den ikke har størrelser som påvirker på andre måter enn først antatt. Ved å benytte 100 solgte artikler pr uke som grunnivå beholder alle verdiene sine verdier igjennom hele simuleringen på 125 uker. Alle parametrene hadde verdier som tabell 1 viser.

Ingen varelager forandrer seg ut i fra den verdien de hadde ved oppstart. Dette bekrefter så langt at modellen ikke inneholder ledd som ikke samhandler med de andre slik det var tenkt. Et avvik her ville ha fortalt at modellen hadde en oppstilling som ikke var riktig. Figur 8 viser hvordan responsen er for de mest sentrale verdiene.



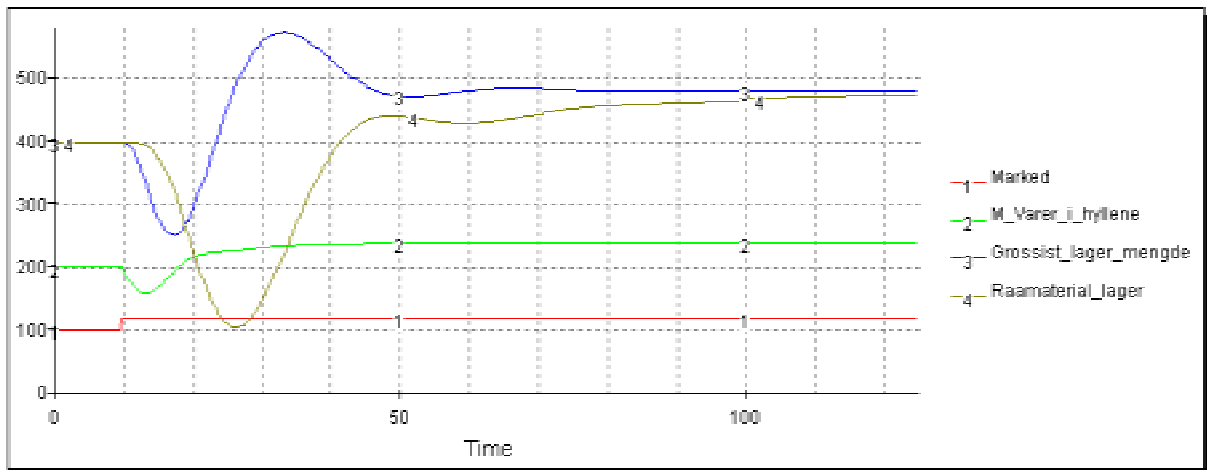
Figur 8: Flat påvirkning fra markedet

Figuren viser et markedet som ligger jevnt på 100 enheter pr uke, graf 1. Graf 2 og 3 viser henholdsvis detaljistten og grossisten sin beholdning, mens graf 4 viser råvarelageret til produsenten. Alle ligger de på samme nivå uten noen form for svingning. Coyle sin delmodell fungerte på samme måte alene og derfor er det naturlig å tro at hele modellen stemmer med beskrivelsene som ble gitt om hvordan den skulle fungere. Neste punkt blir å benytte en påvirkning der referansen forandres under veis. Et enkelt sprang benyttes i første omgang.

4.3.2 Sprangpåvirkning

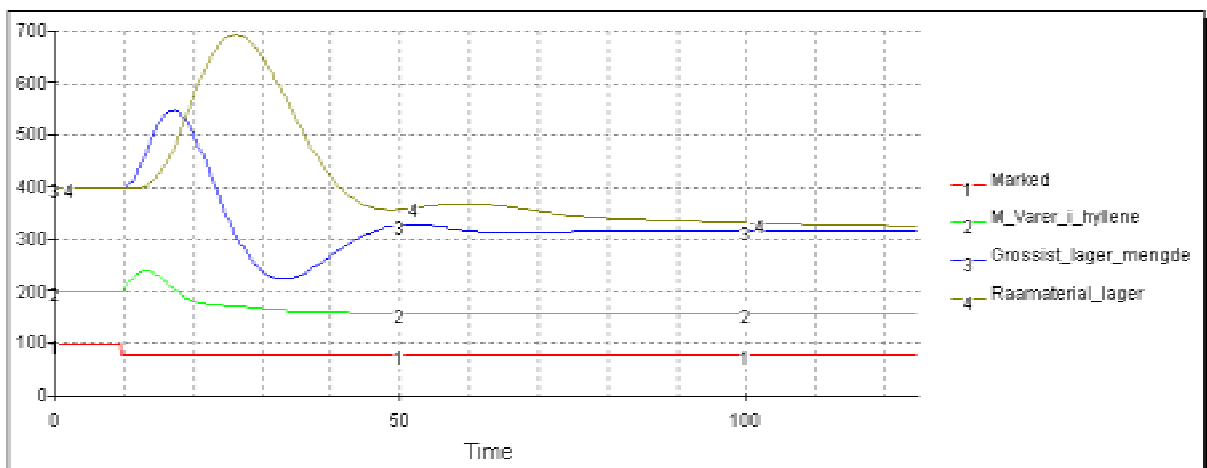
Med de samme innstillingene som i kapittel 4.3.1 blir det nå valgt å påvirke modellen med en sprangrespons, en hurtig forandring av markedsnivået fra en referanseverdi til en ny verdi. Ved en sprangrespons skal systemet svare med å svinge seg inn til den nye verdien. Perioden systemet bruker for å svinge seg inn bør ikke være for stor. Et langt innsvingsforløp tyder på at modellen er treg. Ved første gjennomkjøring ble det benyttet et sprang på 10 enheter pr uke etter 10 uker. Ved neste gjennomkjøring ble det valgt et sprang på 20 enheter pr uke etter 10 uker. Forskjellen på de forskjellige gjennomkjøringene ligger i at utslagene ble mer markante andre gang. Noe som er naturlig da en større forandring vil påføre systemet mer belastning.

Ved å ta resultatene fra andre gjennomkjøring å studere disse litt mer inngående vil vi se at vi får nesten like forløp i alle varelager. Når oppgangen i markedet etterfølges den av en nedgang i alle lager. Størrelsen på nedgangen varierer og hvor lang tid det tar før man ligger rundt referanseverdien igjen. Graf 2 som viser "M varer i hyllene" har et enkelt forløp som legger seg ved referanseverdien nesten med en gang. Den mest markante forandringen ligger hos grossisten, graf 3, "Grossist lager mengde". Her kommer det en kraftig nedgang som etterfølges av et oversving. Det tar lang tid før det slutter å svinge. Graf 4, "Raamaterial lager", hos produsenten svinger dypt før den svinger seg inn mot referanseverdien. Man kan se at grafen går mot sin referanseverdi, men får en liten nedgang på veien opp mot denne. Nedgangen kommer som en følge av varelageret til grossisten. Den store toppen som grossistlageret har påvirker produsenten og gir denne nedgangen i varelager. At bunnene kommer forskjøvet etter hverandre skriver seg fra tidsforsinkelsene i systemet. Alle verdiene oppfører seg som forventet, men systemet er tregere enn forventet og ønskelig. Det er betenkelige at en forandring på 20 % skal ta så lang tid å utligne. Det er et tegn på at tidsforsinkelsene som finnes i systemet er betydelige.



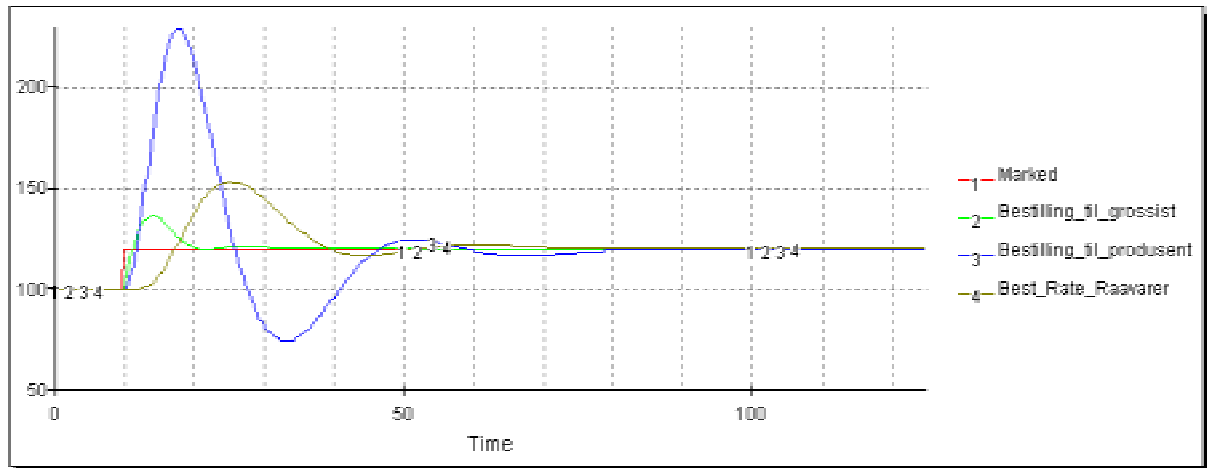
Figur 9: De forskjellige varelager etter påvirkning av sprangrespons, en økning på 20 artikler pr uke etter 10 uker

Hvis man utsetter systemet for en nedgang i markedsandeler bruker det da like lang tid på å stabilisere seg? Ved å la spranget bli negativt etter 10 uker får vi et motsatt forløp i forhold til det som ble beskrevet over. Figur 10 viser forløpet. Her tar det like lang tid å stabilisere systemet, men grafene er motsatte av det de var ved forrige gjennomkjøring. Forløpet var som forventet. Modellen oppfører seg slik den skal, den kommer ikke ut i noen ustabile svingninger. Kan man leve med denne tregheten uten at det forringer resultatene?



Figur 10: De forskjellige varelager etter påvirkning av negativ sprangrespons, en reduksjon på 20 artikler pr uke etter 10 uker

Ved å kikke på bestillingsratene til de forskjellige leddene kan vi få en ide om man bør forandre noe eller om man kan leve med modellen slik den er nå. Ved å utsette modellen for samme positive sprangrespons som ble brukt til å lage figur 9, en økning på 20 artikler etter 10 uker, kan vi få fram hvordan de forskjellige bestillingsratene oppfører seg. Forløpet blir som vist i figur 11. Her kan vi tydelig se at detaljisten svarer raskt på forandringen i markedet. Det bestilles fort mer varer og man får fort levert det man har bestilt slik at man dekker behovet man har. Det mest interessante forløpet er grossisten sin bestillingsrate. Her bestilles det kort tid etter oppgangen i markedet flere ganger det som er nødvendig. Vi har en prosentvis økning på 20. Like fullt bestiller man over to ganger så mye varer som er som det markedet etterspør. De store bestillingene må bare etterfølges av en nedgang og den kommer. Det er helt tydelig at man kan hente en hel del i dette systemet. Produsent sine bestillinger av råvarer er moderate i forholdt til hva grossisten presterer å bestille av produsenten.



Figur 11: De forskjellige bestillingsratene sammen med markedet

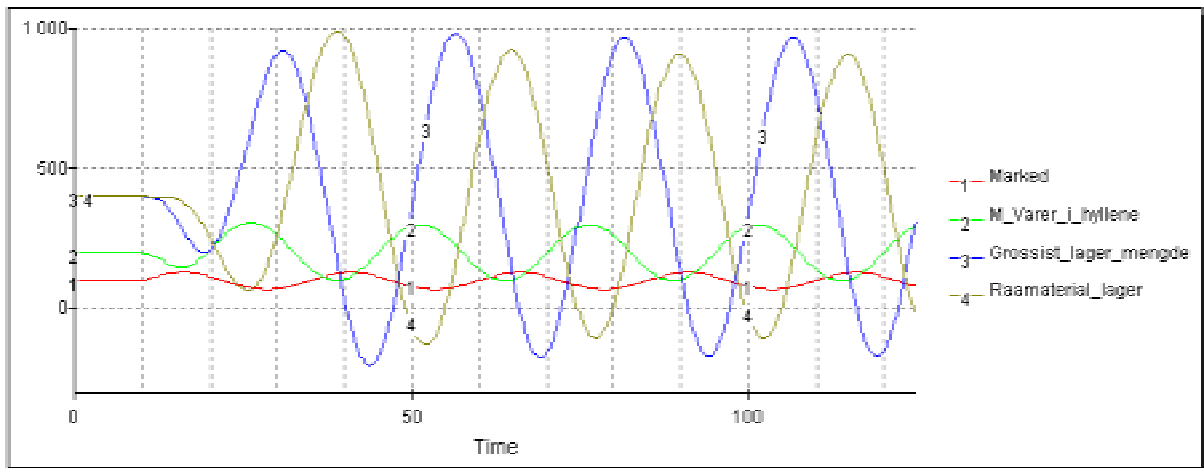
Hvis dette sammenlignes med erfaringene som kom fra "The Beer Game" kan vi nå gå ut i fra at den mest markante feilen i systemet er at den som bestiller varer ikke tenker på hva som er bestilt og når dette vil bli levert. Hva hvis dette systemet utsettes for en økning på 100 prosent? Hvordan vil de forskjellige bestillingsrater og varelager se ut da? Ved en økning på 100 prosent vil hele systemet svinge ut mot ekstreme verdier. Dette bekrefter bare teoriene fra "The Beer Game". Her vil man oppleve å få verdier som ikke er reelt oppnåelige. Hvis så var tilfellet må modellen forbedres. Slik modellen er satt opp nå kan man ikke ta imot for store økninger uten at det blir tull.

Det som er mest lovende her nå er at produsenten er forholdsvis stabil, samtidig som den ikke har problemer med å følge opp det som skjer. At denne delen av modellen er mer stabil enn resten tyder på at den interne logistikken her fungerer relativt bra. Kan det være mulig å overføre ideer og metoder fra de interne prosessene hos produsenten til de andre leddene? Er det nok å forandre noen av parameterene i systemet for å oppnå større stabilitet, eller må man strekke seg etter mer omfattende løsninger? Før vi kikker på det, ser vi litt på hvordan modellen reagerer på en sinus påvirkning, den påvirkningen som gir et realistisk bilde av markedet.

4.3.3 Modellens oppførsel ved sinus påvirkning

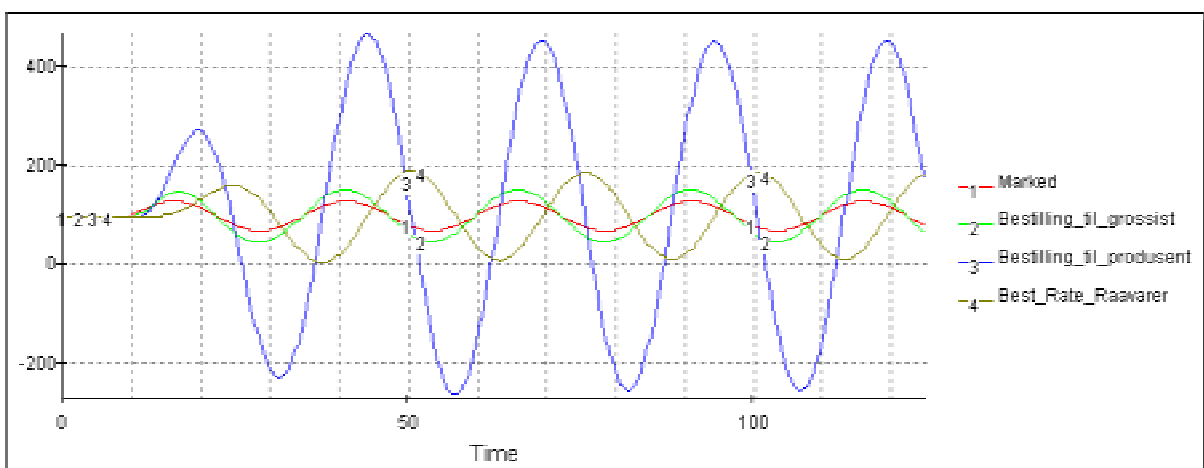
Når man vurderer en modell av virkeligheten ønsker man å påvirke denne med mønster som ligner på virkeligheten. I dette tilfellet beskrives virkeligheten som to topper med etterfølgende nedgang innenfor en periode på et år. Et slikt mønster kan man lage med å benytte et sinus forløp. Hvis man lager en sinus med perioder på 25 uker vil man få to topper og etterfølgende nedgang i løpet av et år.

Etter 10 uker med stabilt marked legges det på en svingning med amplitude på 30 enheter og periode på 25 uker. Hva skjer nå? Hvilke lager og hvilke bestillingsrater vil få verdier som det er vanskelig å leve med. Graf 1 viser de beskjedene svingningene til markedet. Graf 2 viser hvordan varelageret til detaljisten blir. Her har vi svingninger som er vesentlig større enn svingningene i markedet. Man kompenserer tydelig for mye i forhold til forandringene som man utsettes for. Grossisten, graf 3, får her svingninger som beveger seg langt utenfor hva som er akseptabelt. Det er helt tydelig at det mangler noe i modellen, eller at systemet i virkeligheten har en struktur som ikke er optimal for å oppnå det beste resultatet. Produsenten kommer igjen inn i en situasjon som ligner på den som var før Coyle forbedret logistikken internt hos produsenten.



Figur 12: De forskjellige lager etter påvirkning av sinus

Bestillingsratene for de enkelte leddene i modellen vises i figur 13. Her er det tydelig hvor problemene dukker opp. Bestillingene fra grossisten til produsenten svinger mellom minus 230 og pluss 450. Dette er svingninger som er alt for store med tanke på at markedet kun forandrer seg med 30 enheter over periodene på 25 uker.



Figur 13: Bestillingsratene mellom de forskjellige leddene

Når man ser de forskjellige hendelsesforløpene isolert kan man trekke paralleller til Coyle sin DMC forbedring. Når man nå klarer å framtvinge de samme ustabile trekkene som man fjernet fra DMC modellen tidligere kan det ha to årsaker. Enten virker ikke modellen slik man hadde regnet med eller så er utslagene så store inn til produsenten at det ikke er mulig å kontrollere utslagene.

Hva som er feil og hva som kan forbedres er forskjellige ting, men det som skinner igjennom i dette tilfellet er at man må finne måter som kan begrense de store svingningene som oppstår de forskjellige stedene i kjeden. Her er det en sentral ting som kommer sterkt inn i bildet; tidsforsinkelse. Hvis det innføres en større forsinkelse mellom detaljisten og grossisten vil grossisten sine bestillinger bli ytterligere ustabile i forhold til det figur 13 viser. Nå vil også de forskjellige varelager begynne å svinge voldsomt. Man har helt tydelig et mønster som ikke gir de optimale resultatene. At modellen til Coyle bringes i ustabile tilstander etter at den er optimalisert og forbedret kan tyde på at man ikke når fram til de målene man setter seg innenfor logistikken uten at man spiller på lag med det som ligger utenfor egne vegger.

Hvilke forbedringer som kan gjøres slik at hele kjeden blir mer stabil og hvert enkelt ledd forbedrer sitt eget resultat er det forskjellige forslag til i neste kapittel.

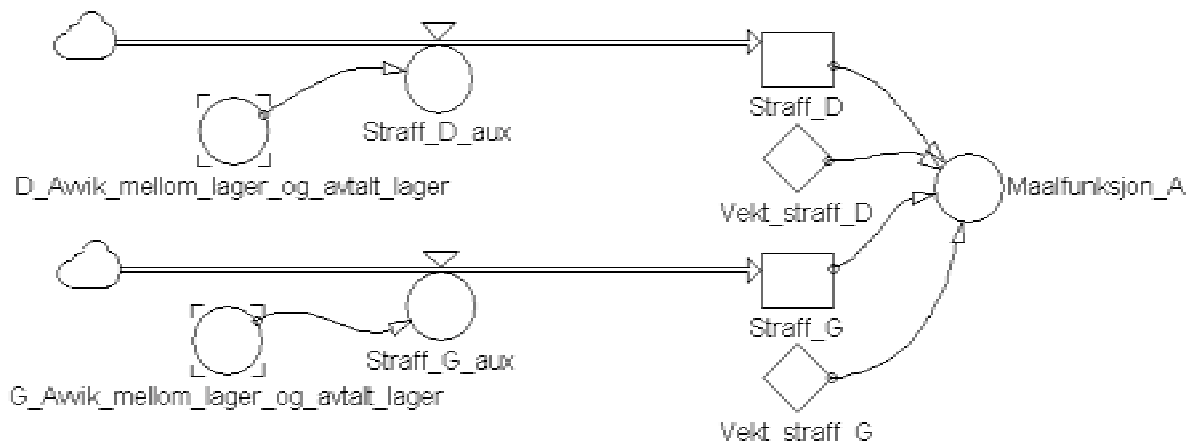
5 Policy forandringer og forbedringer

Som kapittel 4.3 viser er det helt tydelig behov for forbedringer av forskjellige strukturer i denne modellen. I virkeligheten ville en slik utvikling, som den forrige kapittel viste, ført til at de fleste bedrifter hadde sett seg om etter andre løsninger. Hva kan man så forandre for at man skal styre unna en eventuell konkurs? Er det nok at man bare forandrer noen av parametrene som bestemmer grunnlaget for bestillingene, eller må man friske opp i hele systemet. For å begynne med det letteste forsøker jeg å forbedre parameterene.

5.1 Bruk av Powersim Solver på konstantene

Powersim Solver er et produkt fra Powersim som kan benyttes til flere forskjellige beregninger på modeller. Her kan man regne ut hvilke parametre som vil gi ønskede resultater, eller se om det er mulig å nå en bestemt målsetning. Ved å sette visse betingelser for oppførselen til modellen kan man forhåpentlig vis forbedre resultatene.

For at man skal oppnå et forbedret resultat må man legge inn noen kriterier i modellen slik at man kan få Solver til å regne ut nye parametre slik at man når disse målene. Et måltall som kan brukes kan genereres ved å legge til følgende kodeblokk i modellen, se figur 14:



Figur 14: Kriterier for Solver under beregning av konstanter.

Grunnlaget for denne funksjonen er at man tar differansen mellom det man har på lager og det man skulle hatt på lager. Så tar man kvadratet av differansen til avviket og legger det til et nivå. Er det avvik mellom det man ønsker å ha på lager og det man har på lager vil mengden i nivåene "Straff D" og "Straff G" øke. Denne økningen trekkes så sammen i "Maalfunksjon A". Dette gjøres hvis man skal vekte det ene avviket i forhold til det andre. "Vekt straff G" og "Vekt straff D" kan brukes slik at man øker verdien på det ene nivået i forhold til det andre. Dette vil øke innflytelsen av det avviket som vektet høyest. Jo større avviket mellom skalverdien og erverdien hos detaljisten og grossisten blir, jo større blir tallverdien til nivåene "Straff D" og "Straff G". Et avvik her forteller at man ikke har den ideelle situasjonen man jobber for å få til. Når nivåene i denne funksjonen stiger er det et tegn på at man bør forandre på ett eller annet slik at man begrenser avviket mellom bestemt og reelt varelager. Minst mulig avvik forteller at man har en modell som følger referanseverdiene best mulig.

Ved å benytte nivåene i figuren over som kriterier for Solver kan man beregne nye verdier til konstantene som man selv kan styre innad i bedriften. Nivåene vil øke så lenge det er avvik mellom skalverdien og erverdiene til de forskjellige lagrene. Ved å bruke kvadratet av differansen mellom skalverdien og erverdien for lagerene vil et hvert avvik legges til nivåene "Straff D & G".

Utrekningene ble gjort på konstantene som er beskrevet i kapittel 3.2.1, med unntak av "Leveringstid_D & G". Disse tidene er avhengig av utenforstående krefter slik at de er vanskeligere å påvirke. De andre konstantene kan forandres av hvert enkelt ledd i kjeden og kan derfor brukes for å påvirke resultatene.

"Maalfunksjon A" samler verdiene fra nivåene og legger disse sammen. For at man skal kunne skille mellom betydningen av avviket hos den enkelte kan de vektet i forhold til hverandre.

For at Solver skal har et mål å jobbe mot velges det at "Straff_G & D" skal være minst mulig, men de vektet forskjellig. For de andre variablene settes det grenser som de skal varieres mellom. Tabell 2 viser innstillingene i Solver.

Category ¹	Name ²	Operator ³	Values ⁴	Initial value ⁵	Weight ⁶	When ⁷	Ny verdi ⁸
Decision	Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes D	In	[1-8]	2		START	8
Decision	Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes G	In	[1-8]	2		START	8
Decision	Hvor lenge skal lageret vare D	In	[1-8]	2		START	1
Decision	Hvor lenge skal lageret vare G	In	[1-12]	4		START	1
Decision	Periode for gjennnitt D	In	[1-12]	8		START	12
Decision	Periode for gjennnitt G	In	[1-12]	8		START	4,07
Objective	Straff D	Min		0	1	END	
Objective	Straff G	Min		0	1	END	

Tabell 2: Oversikt over innstillingene brukt i Solver og forslag til forbedring.

"Maalfunksjon A" er ikke tatt med i som grunnlag for beregningene. Det ble gjort flere beregninger der de forskjellige målene ble vektet i forhold til hverandre. Ved å benytte *Weight* faktoren aktivt kan man sette at en betingelse er viktigere å oppnå enn noen annen. Ved å si at det er viktigere å oppnå gode resultater for ett av straffeledene enn de andre gir heller ikke noen revolusjonerende parametere.

Nye simuleringer med verdiene fra tabell 2 gir ikke de største utslagene i positiv retning. Man får en kraftig forbedring når det gjelder svingningene i råvarelageret hos produsenten. Her svinger det nå mellom 300 og 500 artikler til en hver tid. Det negative følgene av de nye verdiene kommer både hos Detaljist og Grossist. Her får man en sterk ustabilitet i varelageret som man ikke kan leve med. Her får man svingninger slik at man til stadighet slipper opp for varer og det vil ikke kunne gå. Figur 15 viser forløpet til de grafene som er beskrevet over:

¹ Category: Forteller hvilken kategori variabelen har i Solver.

² Name: Navnet på variabelen.

³ Operator: Viser operatoren som brukes sammen med Values for å definere mulige verdier for variablene.

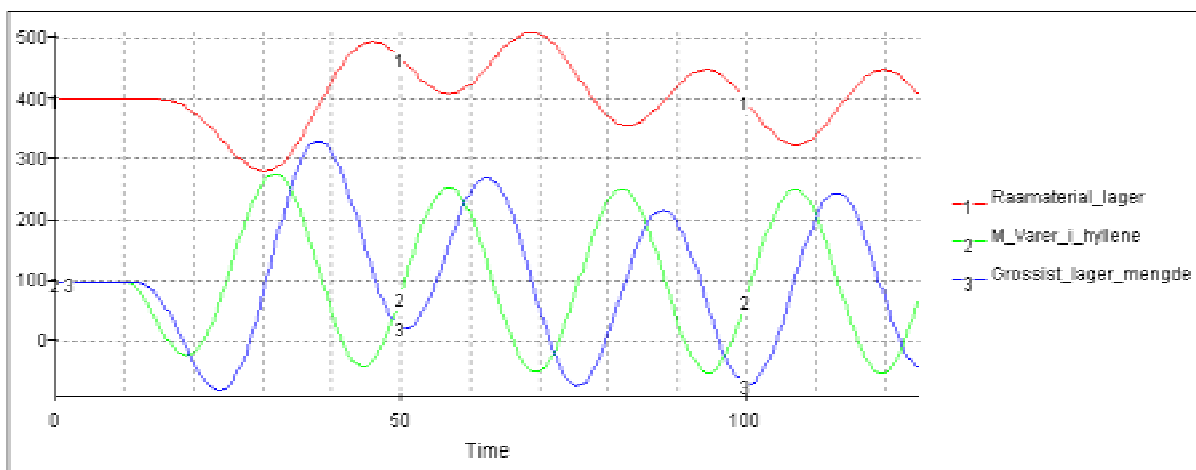
⁴ Values: Mellom hvilke grenser kan variabelen varieres.

⁵ Initial value: Viser hvilken initial verdi som variabelen har i modellen.

⁶ Weight: Kan brukes slik at man kan vekte en variabel i forhold til andre.

⁷ When: Viser når variabelen tas inn under simuleringen. Det kan være enten ved START eller END, eller ved et valgt tidspunkt.

⁸ Forslag ny verdi: Dette er den verdien Solver kommer fram til som den ideelle i forhold til de målene som er satt.



Figur 15: Forløp til interessante verdier med verdier beregnet i Solver

Ut i fra den siste simuleringen kan man ganske raskt trekke den slutningen at man ikke vil kunne leve med de verdiene man her fant fram til. Det gir alt for store svingninger og man kommer til stadighet ut for problemer med å skaffe nok varer. Man kan muligens kunne løse problemet med vare mangel ved å sette en tettere begrensning på hvor lenge varelagrene skal vare hos de forskjellige leddene i kjeden. Ved å begrense "Hvor lenge skal lageret vare D" til en verdi mellom 2 og 8 og samtidig sette "Hvor lenge skal lageret vare G" til en verdi mellom 3 og 12 vil gi større lager og derfor mindre sjanser for at man skal oppleve tomme hyller. Det fikk vi fram følgende verdier:

Konstant navn	Verdi
Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes D	8,00
Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes G	7,88
Hvor lenge skal lageret vare D	2,00
Hvor lenge skal lageret vare G	3,00
Periode for gjnsnitt D	12,00
Periode for gjnsnitt G	9,67

Tabell 3: Solver verdier med begrensede friheter i varelager, minsteverdier korrigert til D=2 og G=3

Heller ikke denne kombinasjonen gir de resultatene som man ønsker. Man har stadig for store ustabiliteter. For å fjerne noen av disse kreves det at man forandrer informasjonsflyten innad i leddene og eventuelt mellom leddene. En slik endring vil forandre politikken i hvert enkelt firma og det vil medføre noe omstrukturering. Forslag til slike omstruktureringer kommer i neste kapittel.

5.2 Innføring av Management Information System (MIS)

Et Management Information System (MIS) holder orden på behovene for varer og artikler, når det må bestilles og hvor mye som skal bestilles. Systemet holder orden på hva som er bestilt, men ikke levert. Ved å kikke tilbake til "The Beer Game" kan vi huske at problemene tårnet seg opp da de virkelig store bestillingene ble levert. De enkelte leddene i kjeden bestilte varer ut i fra hva de hadde på lager til en hver tid. Når leveringene uteble og lageret ikke fylte seg opp til normalt nivå bestilte man bare mer varer. I Coyle sin modell var et MIS system ett av de høyeste ønskene til råvarelagersjefen. Han hadde problemer med at han ikke klarte å holde styr på hvor mye som var bestilt og ikke levert. Det samme problemet finnes i de to første leddene i kjeden som omtales her. Problemet er ikke så merkbart hos detaljisten da forsinkelsen på leveransene bare er på to uker. Mer merkbart er det i grossistleddet der tidsforsinkelsen på nye leveringer er sju uker.

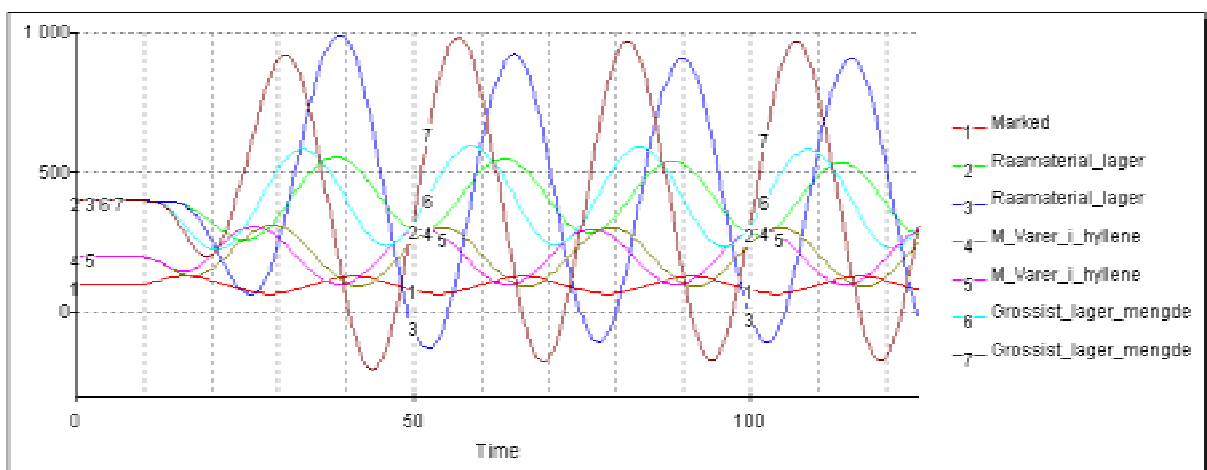
Et slikt MIS vil påvirke modellen mest der tidsforsinkelsene er store. Da vil systemet kontrollere artikler i forflytning og levering. Disse artiklene vil da hele tiden regnes som en del av eget lager og

vil derfor fjerne noe av avviket mellom skalverdi og erverdi i lageret. Avviket i lager og ønsket lager er med å teller inn på hvor mye man bestiller til en hver tid.

Rent modell teknisk krever dette at det bygges til en del som holder rede på hvor mye som er bestilt, men ikke levert. Dette kan realiseres ved at man tar et nivå som holder rede på det antallet artikler som er bestilt, men ikke levert. Inn til dette nivået føres det antallet bestillinger som kommer hver uke. Ut er det antallet artikler som leveres hver uke. For at dette skal virke inn på bestillingsraten tar man å sammenligner det antallet bestilte artikler som ligger i systemet med det antallet artikler man ønsker at skal ligge systemet. Dette antallet blir bestemt av gjennomsnittsordrer og leveringstiden. Avviket mellom disse størrelsene påvirker bestillingsraten. Hvor fort dette avviket skal korrigeres bestemmes med en annen parameter som avviket deles med. Nå blir ligningen for bestilling av varer forandret. I tillegg til gjennomsnittet av salget korrigeret for hva som ligger på lager kommer nå også korreksjonen for hva som er bestilt og ennå ikke levert.

$$(4) \quad D_Gjsnitt_marked + (D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager / Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D) + Bryter_MIS_D * (Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_D / Hvor_for_fjernes_avvik_i_bestilte_art_D)$$

Variabelen "Bryter MIS D" er satt inn slik at man kan sammenligne resultater for simulering med og uten systemet. Figur 16 viser forløpet til de forskjellige lager ved to forskjellige simuleringer. Simuleringene går med samme pådrag, men med MIS koblet inn og ut. For hvert enkelt lager ser vi at man starter på samme verdi, mens forløpene blir forskjellige etter hvert. Råmaterial lageret hos produsenten svinger nå innenfor en akseptabel verdi i forhold til hva den gjorde tidligere. Det samme gjelder for lageret hos grossisten. Grossisten får en kraftig forbedring, svingningene blir redusert med nesten 68 prosent. Fra å ha en amplitude på 1054 enheter får den etter forbedringen en amplitude på 345 enheter. Detaljisten får også et lager som det er mindre svingninger rundt. Forbedringene er også merkbare for bestillingsratene som nå har vesentlig mye mindre svingninger enn tidligere. Figurer som viser de forskjellige bestillingsratene ligger i "Vedlegg E: Forløp for bestillingsrater etter MIS ble innført". En slik endring av bestillingsratene vil utjevne og minske behovet for kapital. Man kan forutsi utviklingen enklere innenfor en tidsperiode.



Figur 16: Forbedringer med og uten MIS

Nå har hele kjeden forbedret sine interne prosesser, men det er ikke gjort forandringer der man retter fokus ut og mot koblinger mellom de forskjellige enhetene. En slik løsning vil jeg se på i neste kapittel.

5.3 Innføring av koblinger mellom de forskjellige leddene

Stadig er det svingninger i bestillingsratene, men det viktigste er at alle leddene ønsker en jevnere lagerbeholdning. Hvordan skal man da kunne øke stabiliteten. Store deler av svingningene skriver seg fra tidsforsinkelsene i systemet, man gjør en regulerende handling, men resultatet kommer ikke til

syne før etter en tid. Jo flere av disse tidsforsinkelsene man kan bringe inn mot null eller ubetydelige tidsrom vil øke stabiliteten i systemet og derfor begrense svingningene i de forskjellige beholdningene.

Hos produsenten kan man ikke forandre på ledetidene til råvarene. Det er utenfor produsentens makt og det er ikke mulig å fremskaffe råmateriale raskere. For grossisten og detaljisten kan en forandring av tiden som går med til å sende bestillingen reduseres noe, men dette vil også gjøre at de får en større risiko med sine bestillinger. Hvor ligger da muligheten for en forbedring? Hvis et ledd i kjeden kan hente informasjon hos ett eller to ledd foran og bruke denne som et grunnlag for å øke eget varelager før det kommer en øket etterspørsel så vil variasjonene i lagrene kunne begrenses. Produsenten kan få opplysninger om bestillingene som grossisten mottar. Disse opplysningene kan telle med i produsenten sine bestillings beregninger. Hvis det er en økende trend i markedet kan man nå starte en økende produksjon tidligere enn før. Da vil det fremskaffes flere produkter tidligere og man kan minke lagermengdene fordi man har kontroll og kan øke produksjonen før behovene er prekære.

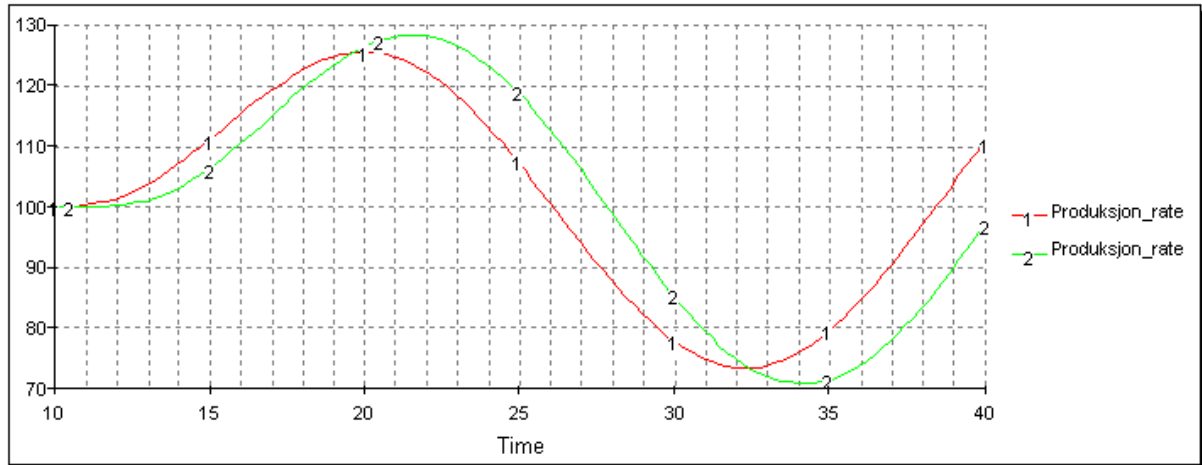
Hvis vi trekker en parallell tilbake til "The Beer Game" vil vi se at her var det ingen form for kommunikasjon mellom de enkelte ledd. Hadde bryggeriet kunne starte sine forberedelser på en økt produksjon når bestillingene økte hos grossisten vil bryggeriet kunne levert mer øl tidligere. Denne muligheten vil gitt alene ha fjernet noen av problemene i "The Beer Game". En økt produksjon tidligere ville ha ført til at det ble levert større deler av bestillingene til den enkelte deltager lengere fram i kjeden. Dette ville igjen ha redusert bestillingene til deltagerne da man hadde hatt færre manglende kasser. Grunnlaget for bestillingene var som figur 1 viser, eget varelager, kundenes bestillinger og manglende flasker ved siste leveranse.

Skal man forflytte informasjon på denne måten krever det en utvidet kontakt mellom de leddene dette gjelder. Hvor mye man kan samarbeide på tvers av forskjellige selskap før dette kan bli betegnet som fiendtlig over for andre selskaper kan variere noe, men kan komme inn som et argument som teller negativt. Å gi andre selskaper opplysninger om egne interne prosesser er heller like enkelt i alle tilfeller, en del firma vil ikke gjøre det.

I modellen kan dette fungere på flere måter. Grossisten kan skaffe seg opplysningene som detaljisten benytter for å lage sine prognoser og la disse telle med for om man skal høyne eller senke bestillingshastigheten. Mens produsenten kan skaffe seg opplysninger fra både grossisten og detaljisten. For å vise mulighetene vil jeg legge inn en slik informasjonsforflytning mellom produsenten og detaljisten. Her vil det gi den mest merkbare forskjellen. Dette realiseres ved å sammenligne "Marked" med "Gjsnitt Ordre Rate" hos produsenten. Hvis det er en større forskjell enn ett gitt antall enheter vil differansen mellom verdiene påvirke bestillingsraten. Hvor mye denne faktoren skal påvirke bestillingsraten reguleres med parameteren "Uker avviket skal korrigeres over".

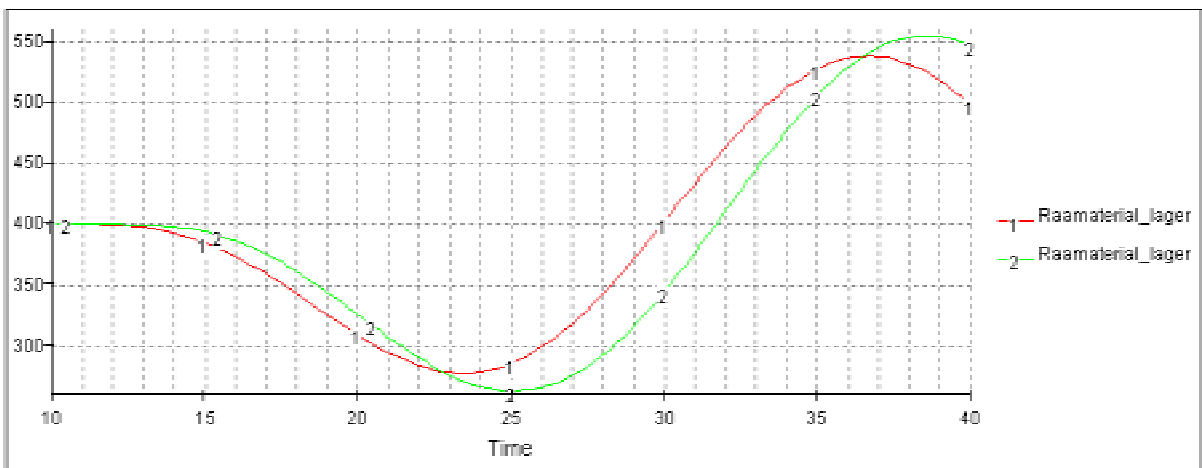
$$(5) \text{ IF } (\text{Marked} - \text{Gjsnitt_Ordre_Rate} > \text{Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate}) \text{ OR } (\text{Marked} - \text{Gjsnitt_Ordre_Rate} < - \text{Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate}), (\text{Marked} - \text{Gjsnitt_Ordre_Rate}) / \text{Uker_avviket_skal_korrigeres_over}, 0$$

Figur 17 viser gevinsten med en slik informasjonsforflytning.



Figur 17: Gevinst med hensyn på stabilitet i produksjonsraten ved å hente markedsinformasjon to ledd farm i kjeden

På figuren ser vi kun et utklipp, men den viser at produksjonsraten stiger tidligere enn før, stigningen kommer tidligere på grunn av kompensasjonen som gis i fra markedsanalysen. Svingningsforløpet er også lavere "peak to peak" enn det ville vært uten denne informasjonsforflytningen. Forbedringen er liten, men den teller positivt i den store sammenheng. Graf 1 viser "Raamaterial_lager" etter at man har lagt til markedsanalysen, graf 2 viser forløpet uten informasjonsforflytning. Lagermengden til produsenten blir også påvirket av denne forandringen. Her vises det tydelig hvordan man får en tidligere nedgang i produksjonsraten enn tidligere. Denne nedgangen kommer som en direkte følge av at produksjonsraten stiger tidligere enn før. Men da man her følger markedssvingningene i tillegg til bestillingsraten vil svingningene begrenses. På figur 18 kan vi tydelig se en forbedring i forhold til før, graf 1 er med foroverkobling, mens graf 2 er uten. I dette generelle tilfellet fikk vi en forbedring på noen titalls enheter, men i et konkret tilfelle der lager og produksjon er vesentlig større vil besparelsene være betydelig større.



Figur 18: Forandring av lagermengden med og uten bruk av markedsinformasjon

Etter igjen å ha skapt stabilitet i systemet kan det være riktig å regne på noen av konstantene med Solver slik at man får de ideelle parametrene i dette tilfellet.

5.4 Powersim Solver på forbedret modell

Powersim solver ble benyttet i kapittel 5.1 for å sjekke om det var nok å forandre bare parametrene for å gjenskape stabiliteten som Coyle hadde klart å finne fram til hos produsent delen. Det var ikke nok, derfor ble det gjort en del forandringer i håp om at de skulle gjenskape stabiliteten. Nå når modellen og kjeden har fått igjen noe av stabiliteten kan det være hensiktsmessig å regne litt på konstantene

igjen. Det er mulig man med en forbedring av parametrene kan oppnå ytterligere stabilitet. Det generelle målet vil være minst mulig svingning i varelagrene i hele kjeden. Samtidig som størrelsen på varelagrene ikke blir unødvendig store.

Hvilke kriterier settes det da før vi begynner å beregne verdier. De parameterene man ønsker å forbedre er følgende:

- *"Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes D"*
Hvis det er et avvik mellom det antallet varer som ligger på lager og det antallet som skal ligge på lager vil dette øke eller begrense neste bestilling alt etter hvilken verdi den har. Parameteren her vil fortelle hvor mange uker dette avviket skal fordeles over. Dvs hvor stor betydning skal avviket ha på bestillingen. Her må verdiene ligge i området mellom en og ti uker. Hvis det brukes over ti uker vil ikke avviket gi et reelt bidrag.
- *"Hvor fort skal et eventuelt avvik fjernes G"*
Her gjelder det samme som over
- *"Hvor lenge skal lageret vare D"*
Hvor stort eller lite kan lageret være uten at man noen gang får for lite varer. Man skal ha nok varer til å dekke etterspørselen, men ikke ligge med et alt for stort lager da dette gir tapte inntekter. Å velge en verdi mellom en og seks ukers dekning vil være hensiktsmessig her. Over seks uker vil bli en alt for stor verdi med tanke på størrelsen på lagret.
- *"Hvor lenge skal lageret vare G"*
Samme argument som over, men verdiene kan her velges mellom en og ti uker. Her er det lengere leveringstid for det som bestilles og man vil derfor ligge med et større lager. Lageret skal da ikke tømmes i perioder med stor etterspørsel.
- *"Periode for gjnsnitt D"*
Perioden for over hvor lang tid man skal ta snittet til de innkommende bestillingene. Dette beregnes på grunnlag av avviket mellom siste ukers bestilling og snittet av tidligere uker. Dette avviket deles på parameteren. Her vil forstore tallverdier medføre at man ikke får noen forandring, mens for små vil medføre svingninger. Her velges en verdi mellom en og tolv uker.
- *"Periode for gjnsnitt G"*
Som over.
- *"Avtalt per varelager skal dekke"*.
Denne verdien ligger i Colye sin del av modellen. Denne trekkes inn for å sjekke om forandringene utenfor modellen også medfører at en del verdier internt kan forandres. Her blir det da hvor mye lager produsenten skal ligge med. Dette lageret skal være så stort at man ikke behøver å komme på etterskudd, eller taper for mye penger på at pengene er knyttet til varelageret. Her er velges det verdier i samme intervallet som sist denne parameteren ble beregnet, man legger grensene på to til ti uker.

For at man skal legge kunne kontrollere om hva som skjer må man sette en del antagelser for hva som kan komme til å skje og ikke skal skje. Her kommer de antagelsene man gjør. Før beregningene starter gjøres følgende antagelser. Alle tilbake koblinger er koblet inn, man henter informasjon fra ledd lengere fram i kjeden samtidig som man antar at alle straffe funksjoner teller like mye på resultatet.

Målene som man ønsker å oppnå er at alle straffe funksjonene får minst mulig verdi når simuleringen er over. Man forbyr at varelagre skal komme under gitte grenser. Hvis de kommer under disse grensene vil man ikke kunne dekke etterspørselen etter varer. Hvor mye de forskjellige målene kan påvirke resultatene er forskjellig, men det er viktig at man diskuterer de forskjellige valgene slik at man vurderer hva som er viktigst for den enkelte. Hvert enkelt mål kan forandre resultatene og forholdene for alle leddene i kjeden. For å illustrere forskjellene er det kjørt to forskjellige analyser med forskjellige verdier på samme parametere. I forsøk 1 ble følgende kriterier lagt til grunn for beregningene:

1. Detaljisten skal ikke ha under 100 enheter på lager.
2. Grossisten skal ikke ha under 100 enheter på lager.
3. *"Straff D"* og *"Straff G"* skal telle like mye, ingen avvik teller mer enn det andre.

I forsøk 2 ligger følgende kriterier i bunnen:

1. Detaljisten kan selge ut samtlige artikler hver uke, trenger ikke ligge med lager.
2. Alle ledd skal kjøre med minimale lager.
3. Det skal være minimale avvik mellom bestemte og reelle tilstander i produsentleddet. "Maalfunksjon B" teller mer på resultatet enn "Maalfunksjon A" vektet derfor B høyere enn A.
4. Detaljisten skal aldri ha over 200 enheter på lager samtidig.

De valgte mål og verdiene for disse vises i tabell 4:

Parameter	Verdi / Vekt		Operator / Når (Tidsrom)	
	Forsøk 1	Forsøk 2	Forsøk 1	Forsøk 2
Maalfunksjon A	- / 1	- / 1	Min / END	Min / END
Maalfunksjon B	- / 1	- / 1	Min / END	Min / END
Råmaterial lager	[-100-100] / Infinity	[-100-1] / Infinity	Not in / 10	Not in / 10
Grossist lagermengde	[-100-100] / Infinity	[-100-1] / Infinity	Not in / [19-24]	Not in / [19-24]
M varer i hyllene	[-100-100] / Infinity	[-100-1] / Infinity	Not in / [17-23]	Not in / [17-23]
Straff D	- / 1	- / 5	Min / END	Min / END
Straff G	- / 1	- / 1	Min / END	Min / END

Tabell 4: Mål som skal holdes nås ved beregning av parametere i Solver

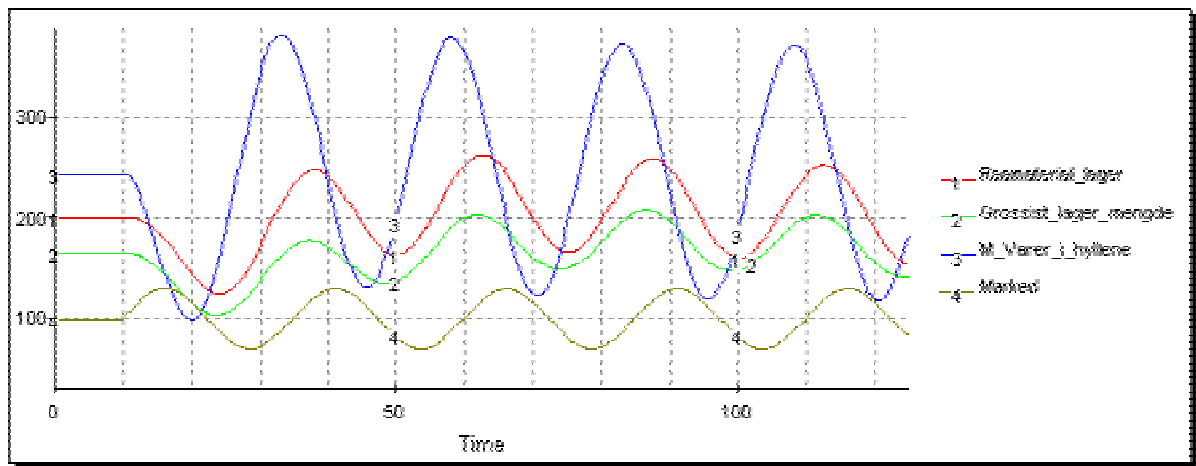
Etter 500 beregninger fikk ga solver følgende verdier ut når man skulle holde seg innenfor begrensningene som er satt over:

Parameter	Slutt verdi		Opprinnelig verdi	Grenser
	Forsøk 1	Forsøk 2		
Hvor fort skal eventuelt avvik fjernes D	10,00	9,76	2	[1-10]
Hvor fort skal eventuelt avvik fjernes G	2,76	7,04	2	[1-10]
Hvor lenge skal lageret vare D	2,45	1,00	2	[1-6]
Hvor lenge skal lageret vare G	1,66	1,34	4	[1-10]
Periode for gjennomsnitt D	12,00	1,00	8	[1-12]
Periode for gjennomsnitt G	9,96	8,92	8	[1-12]
Avtalt periode varelager skal dekke	2,00	4,30	6	[2-10]

Tabell 5: Resultater fra Solver på full modell

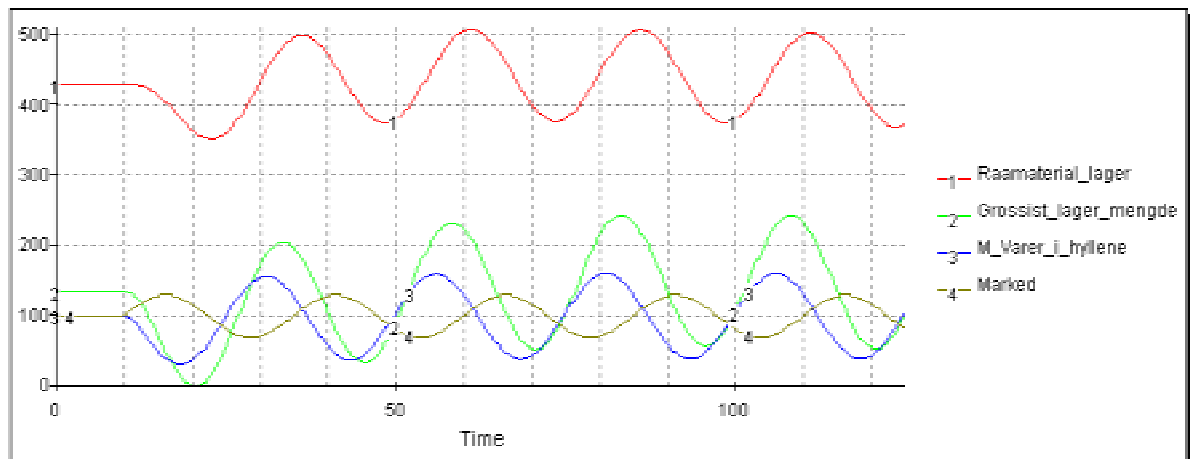
Det er helt tydelig at man i en slik modell kan få forskjellige løsninger som hver for seg kan ta vare på spesielle interesser og hendelser. De forskjellige målene til de enkelte ledd i kjeden bør derfor samordnes slik at man får ut det beste resultatet. Hva som er det beste resultatet kan bli et grunnlag for diskusjon.

Ved å ta utgangspunkt i figur 19 som viser forløpene til de forskjellige lagrene hvis de påvirkes av den kjente sinus responsen som er benyttet tidligere. Her får varelageret til grossisten og produsenten veldig snille verdier. Lagrene blir små. For detaljisten er det motsatt. Der blir lageret stort og det kan være vanskelig å lagre alt. Dette er da med den begrensningen at detaljisten ikke på noe vis skal ligge med et lager som er under 100 artikler. Om det er et riktig valg at man skal ligge med denne mengden lager kan diskuteres på flere måter, men for produsenten vil dette medføre et buffer som fanger opp mye av svingningene. Dette gir produsenten muligheter for å redusere lagermengden, noe som igjen minsker risikoen i systemet. For grossisten gjelder samme begrensning, man skal alltid sitte med et lager som aldri er under 100 enheter. Lageret blir beskjedent i forhold til hvordan det var tidligere da man lå med en dekning på vel 400 enheter, derfor reduseres risikoen her også. De samlede svingningene i systemet begrenses bra, men hva skjer om vi forandrer på betingelsene og avtaler nye mål for hva som er lønnsomt.



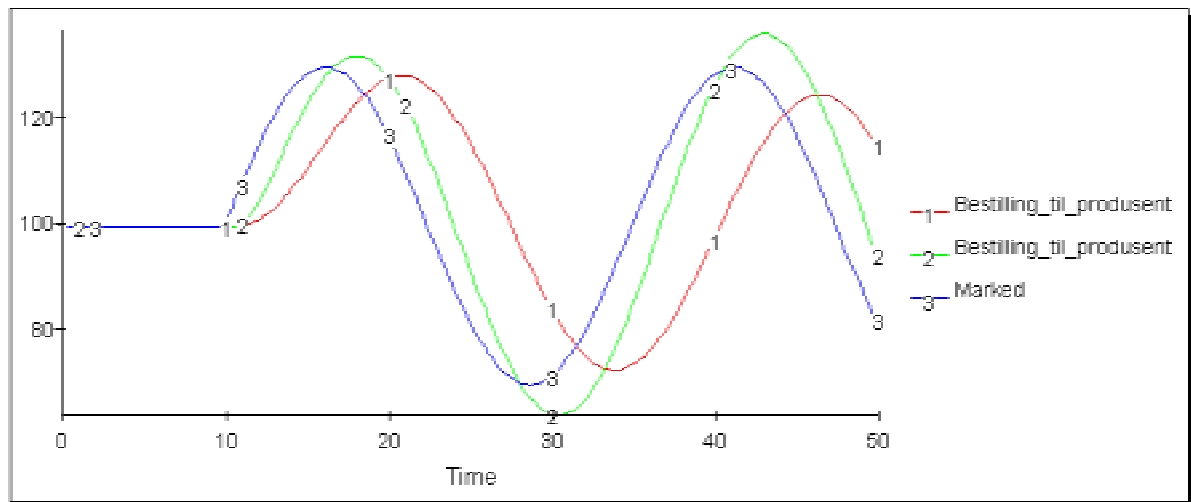
Figur 19: Varelager ved simulering av forsøk 1 beskrevet i tabell 4 og 5.

Ved forsøk to var det lagt helt andre føringer på hva som var viktig. Verdiene forandret seg noe, og det medfører at man får andre forløp på de forskjellige lagre. Her må man ha et større lager hos produsenten da bestillingsratene forandrer seg vesentlig i fra forsøk 1 til forsøk 2.



Figur 20: Varelager ved simulering av forsøk 2 beskrevet i tabell 4 og 5.

Figur 21 viser forløpet til bestillingsratene for forsøk 1 og forsøk 2.



Figur 21: Forskjellen på bestillingsratene til produsenten ved forsøk 1 og 2. Graf 1 viser bestillingsraten ved forsøk 1

Det er helt klart at en den forskjellen i verdien til "Periode for gjnsnitt D" som lager forandringen i forløpet. Her utjevnes det ingen ting, man bestiller det antallet artikler som man selger i siste uke. Dette vises tydelig i forløpet til grafene, graf 1 som viser bestillingsraten i fra forsøk 1 er mer forsinket i forhold til markedet, graf 3, enn graf 2 fra forsøk 2.

Når man har forbedret de forskjellige parameterene slik at modellen gir det beste resultatet ut i fra en gitte objektiver eller mål kan man begynne å lure på hva som skjer hvis responsen forandres i systemet. Hva hvis markedet nå stabiliserer seg, og man får et sprang opp til et nytt nivå etter en tid. Hvilke resultater får man da? Med innstillingene fra forsøk 2 utsettes modellen for en sprangrespons som den som ble brukt tidligere. Parametrene fra forsøk 2 inneholder mindre tidsforsinkelser og systemet vil derfor kompensere for forandringen raskere enn med parameterene fra forsøk 1. Når dette gjøres får man et forløp der varelageret hos grossisten blir liggende på et lavt nivå over lengere tid etter forandringen, man henter seg ikke inn igjen etter forandringen slik man forventer at systemet skal. De ideelle parametrene som nå foreslås ligger i motsatt ende av det intervallet som man tillater verdiene i fra tidligere. Det vil si at lagerene skal være små og tiden for å korrigere for avvik skal være liten. I tillegg ligger periodene for å beregne gjennomsnitt lavt. Dette medfører at man korrigerer forandringen hurtig, men modellen vil bli direkte ustabil igjen hvis man kommer tilbake til det gamle bestillingsmønsteret med to topper innenfor et år.

6 Resultater

De forskjellige simuleringene viser helt klart at man her snakker om tidsforløp som har fra mellomlang til lang varighet. En økning av markedet med 20 prosent medførte at avviket ikke var dekket inn før etter to år. Innenfor denne perioden er det sannsynlig at man vil oppleve nye forandringer. Har man ikke klart å utjevne for den siste forandring før det kommer en ny kan det oppstå problemer som ikke lar seg løse. Forandrer man de forskjellige tidsforsinkelsene til større verdier får man med en gang et system som er vanskeligere å korrigere for forandringer. Periodene man skal forandre avviket over er lange og det tar lang tid før forandringen kommer inn i systemet. Hvis man forandrer referansen med 20 prosent og man ikke har kompensert for denne forandringen før det har gått to år er et eksempel på en slik sammenheng, figur 9 viser forløpet til denne forandringen. Ved slike tilfeller tar det for lang tid før det skjer noe. Hva vis markedet taper seg med 20 prosent, hvordan går det med bedriften da? Figur 10 viser hvordan lageret vil øke for så å falle for så å svinge seg inn. Det går lang tid fra da bestillingene går ned til man har minsket mengden varer på lageret i forhold til hva som er nødvendig. Her vil man sitte med alt for store lager og tape penger på dette. For bransjer med lange tidshorisonter er utfordringene med å drive planlegging større enn det er for de som jobber med korte tidshorisonter. Jo lengere tidshorisonter man jobber med jo raskere er det å oppleve systemer med store svingninger. En feil prioritering når det gjelder neste bestilling vil få større konsekvenser for en bedrift med lange lede og leveringstider. Jo enklere man kan kompensere for en feil jo mindre planlegging benytter man, men en dynamisk modell av situasjonen vil kunne forbedre forståelsen av hva man egentlig driver med.

Ved å ta utgangspunkt i Coyle sin modell som forbedret den interne logistikken fikk man vist hvor mye man kan tjene på intern stabilitet og ballanse. Når modellen ble satt inn i en større sammenheng fikk man nye påvirkninger som igjen bragte modellen i ustabile tilstander. Dette viser at man kan effektivisere veldig godt i forhold en gitt påvirkning, men man vet ikke helt hva som skjer hvis markedspåvirkningen forandrer seg. Dette tyder på at når man tilpasser etter det kjente mønsteret klarer man ikke å ta høyder for eventuelle forandringer uten at man forandrer på noen av parameterene i modellen. Ofte er det mulig å bringe egne prosesser inn i stabilitet, men når man setter sammen flere prosesser som skal samhandle kan man oppleve ustabilitet som er vanskelig å forklare. Med en modell kan man lage planer for hvordan man takler gitte forandringer. Bare med små forandringer av verdiene i modellen får vi store utslag i resultatene. Dette er et tegn på at modellen er svært sensitiv for forandringer. Resultatet kan derfor forandre seg i løpet av kun kort tid hvis det skjer forandringer av de vante mønstre som bestillingene følger. Ved å benytte en dynamisk modell vil man få muligheter til å følge utviklinger og teste ut hvilke følger de kan få.

”Enterprise resource planning” (ERP) kommer blir stadig mer aktuelt i bedrifter rundt i verden. ERP er en fellesnevner for bedriftens operative styringssystemer innen bl.a. økonomi, lønn, logistikk og produksjon. Noe av grunnen til at ERP vil ta over er som dette sitatet viser:

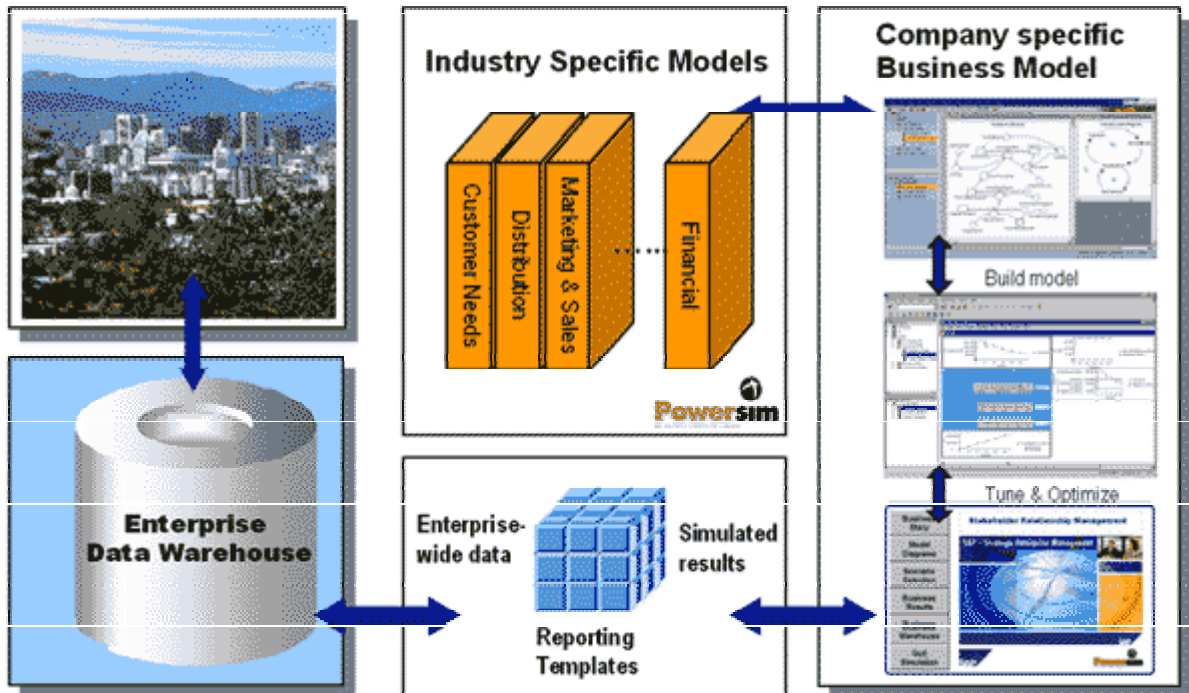
- ERP-filosofien sin fokus på virksomhetsorientert tilpassing av forretningsprosesser, styring av arbeidsflyt samt analysekomponenten, er det som skiller ERP-løsninger fra tradisjonelle løsninger innen regnskap/økonomistyring og logistikk. [6]

Ved innføring av ERP vil man rette fokus mot analyse og arbeidsflyt. Her planlegger man ut i fra historiske data og ved hjelp av disse kan man teste ut nye strategier, sjekke hvordan det går med de forskjellige enhetene i bedriften hvis man forandrer parametere etter gitte forhold. En godt gjennomarbeidet dynamisk modell vil gi et godt grunnlag for bruken av ERP verktøyet sine muligheter. Har man en bedre avbildning av virkeligheten vil man øke mulighetene for at resultatene representerer det som faktisk vil komme til å skje. Systemdynamiske modeller har alle muligheter for å gi en korrekt avbildning av virkeligheten. Hvis man på Sørlandet kommer til å følge samme utvikling som resten av verden og da spesielt USA vil en innføring av ERP bare være et skritt på veien. Neste steg som vil kalles Advanced Planning System (APS) vil integrere flere muligheter for planlegging og simuleringer av framtiden. Sitatet under er hentet fra TietoEnator sine Internett sider:

- De bedriftene i USA som har kommet lengst i å utnytte moderne ERP- eller SCM-systemer har nå også beveget seg et skritt videre til APS – Advanced Planning System (Avansert planlegging). Dette er effektive beslutningsstøttesystemer som ligger over ERP-systemene, trekker transaksjonsdata ut fra disse, aggregerer data og optimaliserer planer i forhold til regler og beskrankninger til beslutningsgrunnlag for hvordan vareflyten skal styres optimalt mellom forretningspartnerne. Noen ERP-systemer har APS-moduler innebygget, men slike løsninger leveres også som spesialsystemer som kan integreres med ERP-systemene.[7]

Slik dette framstår vil planlegging og utvikling basert på historiske data og modeller av virkeligheten bli mer sentralt i forhold til hva det er i dag. Et steg på veien er systemdynamiske modeller.

Powersim Studio som er siste utgave av det systemdynamiske modelleringsverktøyet fra Powersim benytter seg av såkalte "datasett". Slike datasett gir konsistente og realistiske input data til foretakssimuleringer. Hos Powersim illustreres dette ved hjelp av figur 22, man har en situasjon fra virkeligheten med et kjent sett med data. Disse lagres i et felles datalager. I andre enden har man en spesifikke modeller av de samme virkelige situasjonene. Så utveksles det data mellom virkeligheten og modellen via datasett. Fra modellen får man simuleringsresultater som brukes for å sjekke om man følger den ønskede utviklingen. Modellen tar de historiske data og analyserer hvor det kan utvikle seg videre med disse dataene.



Figur 22: Powersim Studio sin stilling i foretakssimuleringer og bruk av datasett

Det fremgår helt tydelig at man trenger systemer der man sparer tid i forhold til dagens systemer. Deling av informasjon kan ved være en måte å spare tid på. Hvis flere ledd i samme logistikk kjede bestemmer seg for å samarbeide ved hjelp av WEB eller et "online" system der bestillinger og avtaler gjøres fortløpende. Det som finnes av informasjon blir da tilgjengelig for de andre deltagerne i kjeden. Dette kan begrense forsinkelsene i systemet noe og kan realiseres på flere måter. Noen bedrifter inngår samarbeide på forskjellige plan i organisasjonen. Noen tette samarbeidspartnere benytter seg av de samme logistikk systemene, logistikken blir da felles hos flere bedrifter. Det vil si at neste ledd i kjeden kjenner hva som skjer hos leddet foran til en hver tid. Man har kontroll over bestillingene slik at man kan ta visse forhåndsregler for å takle oppganger og nedganger før de kommer. Dette kan da bli slik som det ble vist i kapittel 5.3.

Tettere samarbeide mellom bedrifter kan innføres med felles systemer, men man kan også basere seg på stykk produksjon slik som de fleste bilfabrikker bruker. Når det kommer inn en bestilling blir produktet skreddersydd etter denne bestillingen når avtalen gjøres. Skal man jobbe slik kan modeller hjelpe slik at man får bedre forståelse av hvilke tidsaspekter man da jobber under. Dette blir mer aktuelt når vi vet at data og telekommunikasjon stadig smelter mer og mer sammen. Hindringene blir stadig mindre for at man skal ha kontinuerlig kontakt. Flere analytikere tror dette vil komme i framtiden, en av dem er Tor Sjoner i TietoEnator.

- Sammensmeltningen mellom telekommunikasjon og data kommer til å forandre samarbeids- og samhandlingsmåten for norske bedrifter, sier avdelingsleder Tor Sjoner i TietoEnator Consulting AS i Oslo. Han mener at vi kommer til å oppleve enda tettere samarbeid mellom ulike virksomheter i tiden fremover, spesielt innen logistikk. [7]

De fleste logistikk kjeder har ikke en koordinerende kraft utover den gjensidige avhengigheten som skapes ved at man handler med hverandre. Med koordinerende kraft menes den kraften som finnes internt i en bedrift der de enkelte avdelinger jobber sammen mot et mål styrt av bedriftens ledelse. En slik kraft finner man ikke i de normale logistikk kjedene. Noen selskaper har rettet på dette med å samle flere av leddene i samme selskap. Norsk matvarehandel har flere eksempler på dette. Hakon kjeden er et eksempel, flere detaljister, grossister og produsenter er samlet under en ledelse. Her produserer og selger samme selskap varen som selges til sluttbruker. Elektronikk bransjen har ikke tatt i bruk denne formen for samarbeide i utstrakt grad. Elektronikk bransjen velger heller samarbeide på samme nivå innenfor kjeden. I stedet for vertikale samarbeidskjeder benytter de horisontale. Det etableres avtaler mellom flere produsenter. Man gjør felles innkjøp, man fordeler produksjonen mellom seg. Er det ledig kapasitet flyttes oppgaver mellom samarbeidspartene. I dette samarbeidet er det et stort potensiale, men det er ofte vanskelig å koordinere og hente ut fordelene. Kan man bygge systemer og modeller som integreres mot systemene som forteller om kapasitet, bestillinger og produksjonstilgang kan man hente ut større gevinster og begrense risikoen.

Med det antallet "nye" markeder som finnes i verden pr i dag vil det være mulig å ekspandere for en del av de selskapene som produserer for salg på verdensbasis. Disse vil da kunne jobbe fram løsninger for hvordan de skal øke sine markedsandeler ved hjelp av modeller. Dette kan føres videre til felles modeller for flere bedrifter der man klarer å utvikle løsninger som vil øke mulighetene for at man tjener penger i alle ledd.

Fra kapittel 2.1 kan vi hente påstanden om at struktur påvirker adferd. Å bygge en dynamisk modell representerer noe nytt, derfor kan det gi et bidrag til at man forandrer tankemodeller og derfor kan se ting i et annet lys. Videre vil dette gi en bedre forståelse av hvordan de interne prosessene virker. Samme sted viste man til at hvis man kjenner strukturen kjenner man hvordan man kommer fram til beslutninger. Kjenner man veien fram til beslutningene kan man komme fram til løsninger og trekke raskere beslutninger. Kunnskaper og kjennskapen til strukturen forbedrer mulighetene for å ta bedre avgjørelser i løpet av kortere tid. Makt var det tredje punktet som ble nevnt i samme kapittel. Kjenner man sitt indre bedre enn konkurrentene er man bedre forberedt på hva som kan forandres og hva man kan tilby, man får en makt over situasjonen og konkurrentene fordi man kjenner sitt indre. Alle disse punktene viser til at man må kjenne systemet for å kunne hente gevinstene. Det å utarbeide en modell av bedriften og de sentrale prosessene vil øke forståelsen av strukturen. Med modellen vil man da kunne få resultatene fra punktene over som en gevinst.

Som nevnt tidligere har ERP systemer positiv innvirkning på de administrative funksjonene i bedrifter, men ofte er ikke dette nok, noe mangler. Se sitatet under:

- De store ERP-systemene har en meget bra funksjonalitet. De har en funksjonsbredde som dekker de aller fleste områdene i bedriftene. Men ofte har de ikke den nødvendige dybde i applikasjonene på de virksomhetskritiske prosessene. [7]

Når man ser på den enkle modellen som bygd og utredet i kapittel 4 og 5 ble det påpekt flaskehalser for det systemet. Man merket seg hva som gikk galt og man fant ved hjelp av modellen muligheter for

til å forbedre kontrollen av flaskehalsene. Modellen var helt essensiell for at man skulle klare å gjøre forbedringer og hvilke parametere man skulle benytte i etterkant av forbedringen. Dynamiske modeller kan være det man trenger for å finne de flaskehalsene som ERP systemet ikke finner.

Når man bygger en modell av bedriften vil man tvinges til å tenke igjennom hvordan bedriften fungerer og man må beskrive og tenke igjennom de enkelte funksjonene som foregår i bedriften. De interne prosessene vil da bli kartlagt og kjennskapen og forståelsen av hvordan man jobber vil komme fram. Ikke alle prosesser i en bedrift er like planlagt og det er ikke mulig å grunngi hvorfor man benytter akkurat denne måten å jobbe på. Å bygge en modell vil gi muligheter til å finne fram til hvordan man kan gjøre prosessene på andre måter.

Når bedriften har laget en modell av sine indre prosesser og ønsker en økning i markedsandeler eller en spredning av hvor man henter råvarene. Har man da en modell av bedriften kan man analysere hvordan man denne forandringen vil påvirke og legge opp en taktikk som gjør at forandringen får de beste resultatene.

7 Konklusjon

Å sette opp en systemdynamisk modell av en logistikk kjede ga flere ideer om hvordan slike modeller kan være til hjelp for bedrifter. Den allmenne forståelsen av hva som foregikk og hvordan de enkelte prosessene virket på hverandre kom klarere fram når jo dypere man jobbet seg ned i problemene. Etter litt arbeide med modellene kom det fram hvilke strukturer som fantes og hvordan disse fungerte. Når det ble tilført nye funksjoner var det lett å se hvordan disse ville virke inn på helheten.

Det er ikke lett å måle et konkret økonomisk resultat så lenge modellen ikke er spesifikt tilpasset et virkelig scenario. I dette tilfellet kan man bare trekke fram at man jobbet fram løsninger som ga mindre svingninger i de forskjellige lager. Uten en systemdynamisk modell ville det ikke vært mulig å se hvordan de forskjellige forandringene ville virke på sluttresultatet. Det kunne vi med å simulere. Så lenge forandringene er testet ut i en modell av virkeligheten vil de også virke i virkeligheten. Simulering som analyseverktøy gjør testing av nye strukturer og policy mulig.

Ved all simulering vil man måtte investere litt penger i utstyr og kunnskap som kan delta med simuleringen. Om dette er kostnadseffektivt må man se ut i fra hva man har i dag og hvor store forandringer man planlegger å gjøre. Skal man gjøre taktiske langsiktige forandringer er man avhengig av de lykkes. Jo større investeringen er jo viktigere er det at man får avkastning på den. Systemdynamisk modellering vil være et hjelpemiddel der verdien av utlegget vil stige i forhold til prisen og risikoen på investeringen.

Med innføringen av ERP og APS systemer kommer det større muligheter for å trekke mer nytte ut av systemdynamisk modellering. Disse systemene gir muligheter for å benytte historiske data for å beregne utviklingen framover. Skal man da ha fullt utbytte av disse verktøyene er det viktig at man har modeller som gir de riktige resultatene.

Med at marginene bare blir mindre og mindre vil det bli viktig å kunne finne fram til eventuelle flaskehals i systemet. I forbindelse med installering av ERP systemer blir det kommentert at disse mangler mulighetene for flaskehals analyser. Systemdynamiske modeller vil kunne supplere de ERP systemen som ikke støtter slike analyser. SAP har integrert Powersim Studio som en del av sitt ERP verktøy slik at det skal kunne bli mest mulig komplett verktøy, også med hensyn på systemdynamisk modellering.

Når trenden i samfunnet er at alt blir mer og mer flyktig og forandringene kommer raskere vil man oppleve at man må legge om kursen stadig oftere i en del firma. Ved slike forandringer er det viktig at man legger planer for omleggingen slik at man får kjente strukturer så beslutninger og avgjørelser blir tatt på best mulig grunnlag.

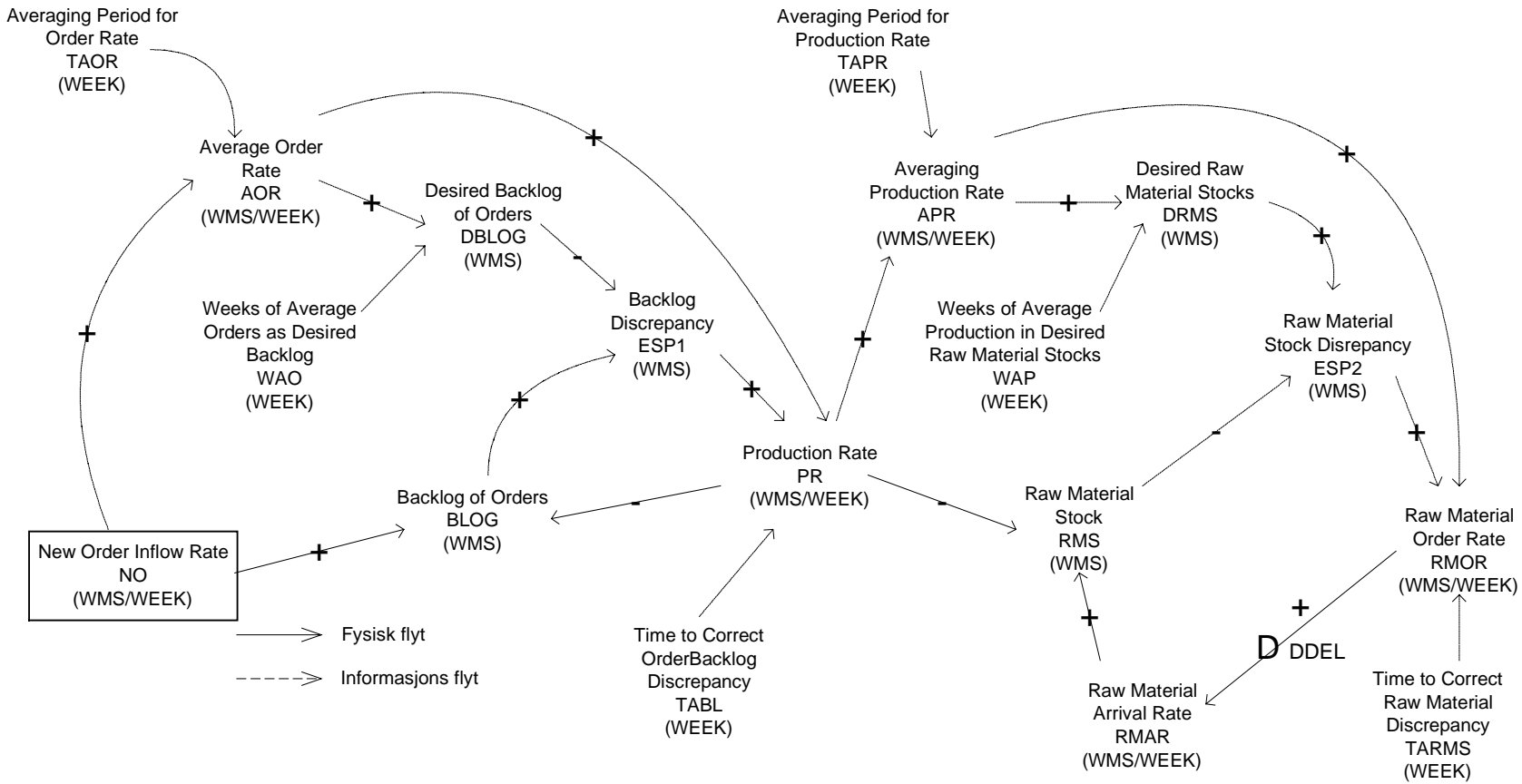
Systemdynamisk modellering vil komme som en stadig sterkere støtte for styring av selskaper og kjeder av selskaper slik at man kan ta ut størst mulig gevinst i dag og over tid. Modellen vil støtte alle former for strategisk tenkning og planlegging.

8 Referanser

- [1] Coyle, R. G. (1996) *System dynamics modelling, a practical approach*. Chapman & Hall
- [2] Senge, Perter M. (1990), Oversatt av Arild Lillebø, *Den femte disiplin, kunsten å skape den lærende organisasjon*. AIT Otta AS.
- [3] George P. Richardson, Alexander L Pugh III (1981), *Introduction to System Dynamics Moeling*. Productivity Press Portland, Oregon
- [4] Powersim
<http://www.powersim.com>
- [5] Gutti, Tor (1998), *Norsk ordbok med 1000 illustrasjoner*. Kunnskapsforlaget
- [6] SU Soft ASA Internettssider.
http://www.susoft.no/losninger_erp_erpfilosofien.html
- [7] TietoEnator Consulting AS Internettssider.
http://www.tietoenator-consulting.no/fagstoff/Fagartikler/2000_01_21.htm
http://www.tietoenator-consulting.no/fagstoff/Fagartikler/1999_09_24.htm

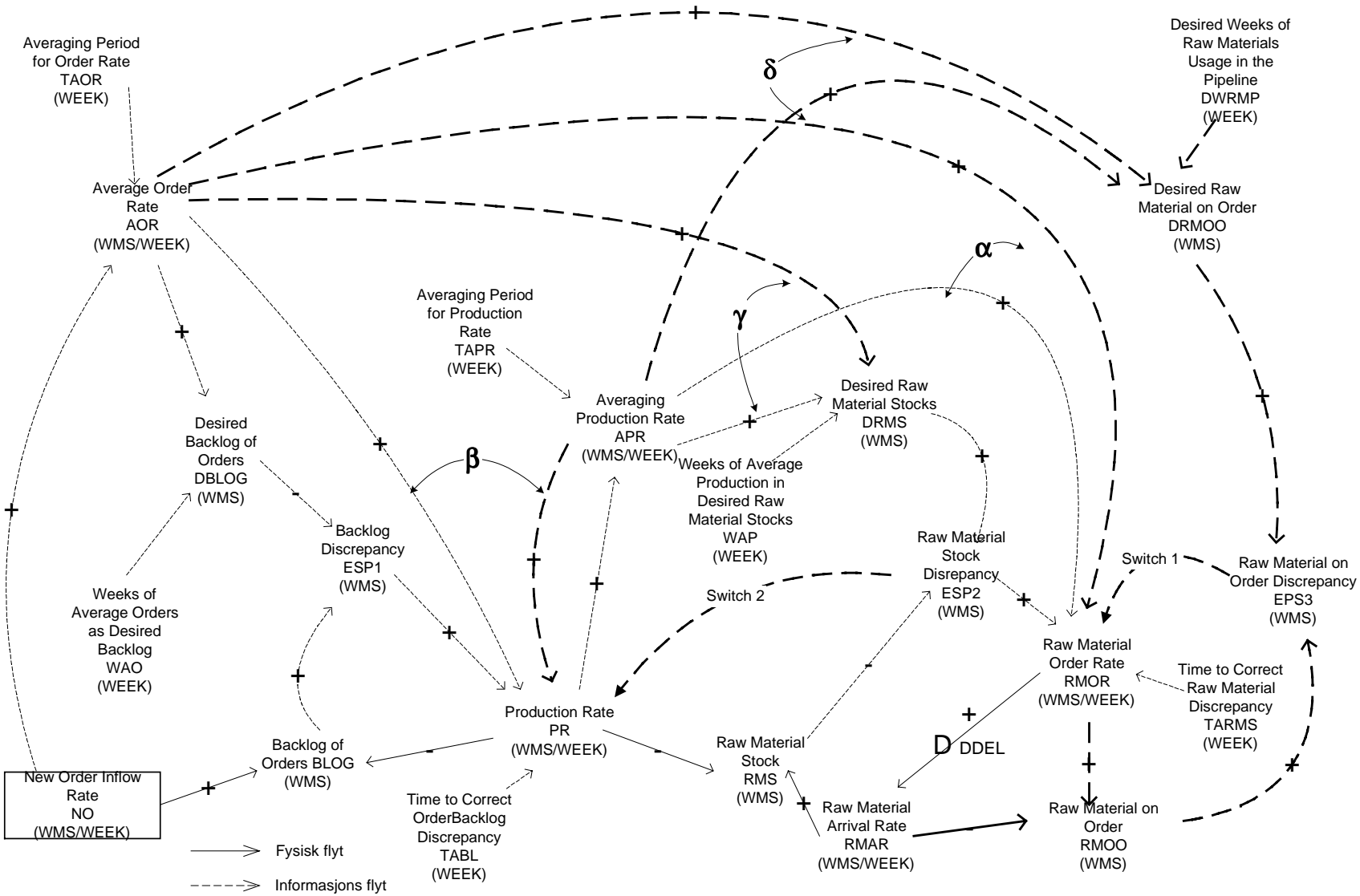
VEDLEGG

Vedlegg A: CLD for Coyles enkle modell



Figur 23: CLD for Coyle sin grunnmodell

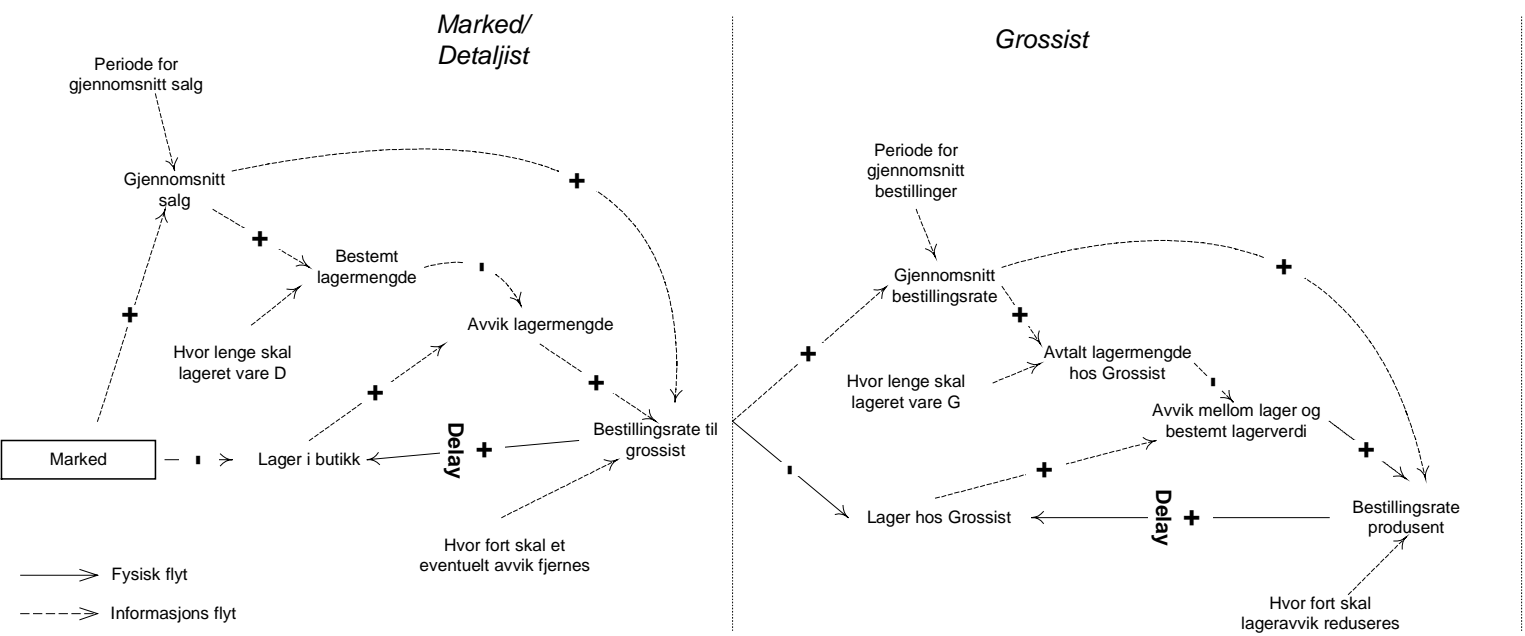
Vedlegg B: CLD for Coyles utvidede modell



Figur 24: Fullt CLD for Coyles modell

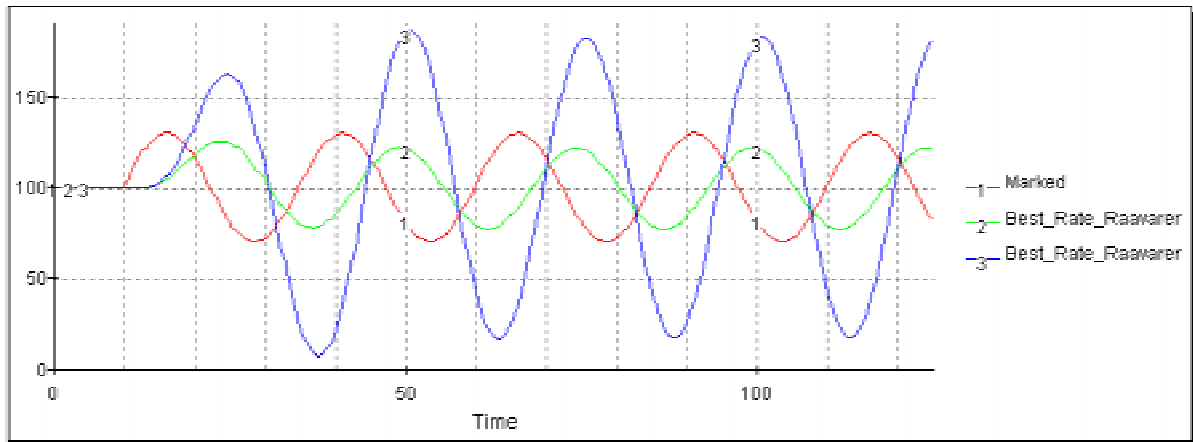
Vedlegg C: CLD for detaljist og grossist, enkel modell

Coyle's
produksjonsmodell

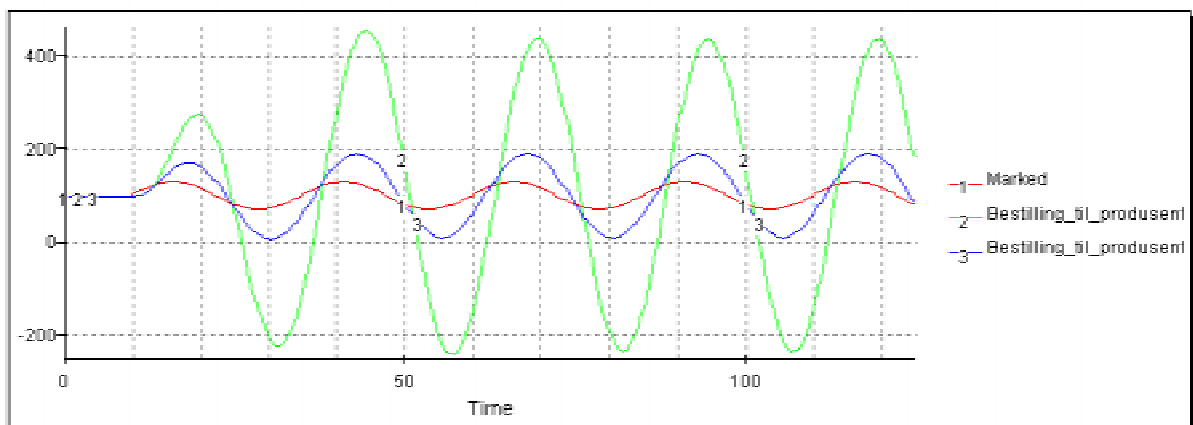


Figur 25: CLD for enkel modell, ledd en og to i kjeden

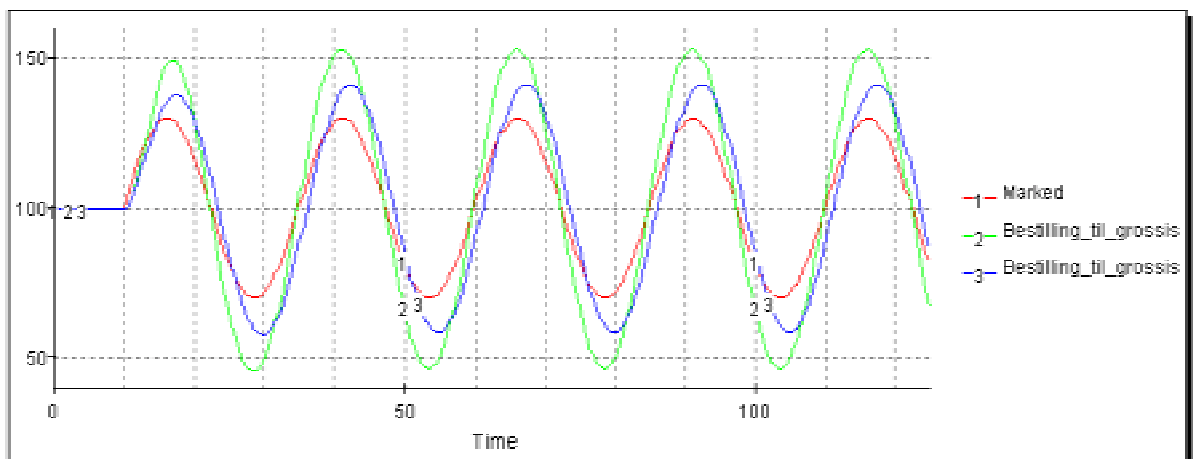
Vedlegg E: Forløp for bestillingsrater etter MIS ble innført



Figur 27: Full modell: Bestillingsrater av råvarer his produsenten, med og uten MIS. Graf 2 uten MIS, Graf 3 med MIS, mens graf 1 viser markedet.



Figur 28: Full modell: Bestillingsrater fra grossist til produsent, med og uten MIS. Graf 2 uten MIS, Graf 3 med MIS, mens graf 1 viser markedet.



Figur 29: Full modell: Bestillingsrater fra detaljist til grossist, med og uten MIS. Graf 2 uten MIS, Graf 3 med MIS, mens graf 1 viser markedet.

Vedlegg F: Modell ligninger

init	Bestilte_artikler_D = Initialverdi_bestilte_art_M
flow	Bestilte_artikler_D = +dt*Bestilling_til_grossist -dt*D_Forsinkelse_på_levering
doc	Bestilte_artikler_D = Hvor mange artikler er bestilt fra grossisten til markedet detaljsten
unit	Bestilte_artikler_D = Artikkel
init	Bestilte_artikler_G = Initialverde_bestilte_art_G
flow	Bestilte_artikler_G = +dt*Bestilling_til_produzent -dt*G_Forsinkelse_på_levering
doc	Bestilte_artikler_G = Hvor mange artikler er bestilt fra produsent til grossist
init	Bestilte_raavarer_ikke_levert = Raavarer_bestilt_initverdi
flow	Bestilte_raavarer_ikke_levert = -dt*Raamaterial_ankommer +dt*Best_Rate_Raavarer
doc	Bestilte_raavarer_ikke_levert = Mengden raavarer som er bestilt, men ikke levert
unit	Bestilte_raavarer_ikke_levert = Artikkel
init	D_Gjsnitt_marked = Marked
flow	D_Gjsnitt_marked = +dt*D_Gjsnitt_inn
doc	D_Gjsnitt_marked = Gjennomsnittet av markedsandeler som man har hatt over de siste ukene.
unit	D_Gjsnitt_marked = Artikkel
init	Etterslep = Bestemt_etterslep
flow	Etterslep = -dt*Produksjon_rate +dt*Valg_av_paavirkning
doc	Etterslep = Den mengden varer det er kommet bestilling på, men ikke satt i produksjon
unit	Etterslep = Artikkel
init	G_Gjsnitt_best_fra_D = Bestilling_til_grossist
flow	G_Gjsnitt_best_fra_D = +dt*G_Gjsnitt_best_inn
doc	G_Gjsnitt_best_fra_D = Gjennomsnittet av bestillinger man har hatt over de siste ukene.
unit	G_Gjsnitt_best_fra_D = Artikkel
init	Gjsnitt_Ordre_Rate = Hjelpevariabel_init_Gjsnitt_ordre_rate
flow	Gjsnitt_Ordre_Rate = +dt*Gjsnitt_ordre_rate_inn
doc	Gjsnitt_Ordre_Rate = Hvor stor produksjon skal vi legge oss paa. Tar markedets første verdi og bruker denne som basis
unit	Gjsnitt_Ordre_Rate = Artikkel / Uke
init	Grossist_lager_mengde = G_Lagerdekning
flow	Grossist_lager_mengde = -dt*Bestilling_til_grossist +dt*G_Forsinkelse_på_levering
doc	Grossist_lager_mengde = Det antallet artikler som ligger på lageret til en hver tid
unit	Grossist_lager_mengde = Artikkel
init	M_Varer_i_hyllene = D_Lagerdekning
flow	M_Varer_i_hyllene = -dt*Marked +dt*D_Forsinkelse_på_levering
doc	M_Varer_i_hyllene = Hvor mye dekker vi opp i markedet
unit	M_Varer_i_hyllene = Artikkel
init	Raamaterial_lager = Bestemt_raavarelager
flow	Raamaterial_lager = +dt*Raamaterial_ankommer

	-dt*Produksjon_rate
doc	Raamaterial_lager = Hvor mange artikler kan man produsere med dette lageret
unit	Raamaterial_lager = Artikkel
init	Straff_1 = 0
flow	Straff_1 = +dt*Straff_1_aux
doc	Straff_1 = Akkumulert positivt avvik mellom Bestemt lager og lager
unit	Straff_1 = Artikkel
init	Straff_2 = 0
flow	Straff_2 = +dt*Straff_2_aux
doc	Straff_2 = Akkumulert avvik mellom bestemt etterslep og etterslep
unit	Straff_2 = Artikkel
init	Straff_3 = 0
flow	Straff_3 = +dt*Straff_3_aux
doc	Straff_3 = Akkumulert avvik mellom produksjonsrate og gjennomsnitt produksjonsrate
unit	Straff_3 = Artikkel
init	Straff_4 = 0
flow	Straff_4 = +dt*Straff_4_aux
doc	Straff_4 = Akkumulert avvik mellom bestillingsraten på råvarer og gjennomsnitt ordre rate inn
unit	Straff_4 = Artikkel
init	Straff_D = 0
flow	Straff_D = +dt*Straff_D_aux
init	Straff_G = 0
flow	Straff_G = +dt*Straff_G_aux
aux	Best_Rate_Raavarer = (Avvik_i_raavarelager / Per_avvik_fjernes_best_raavarer) + ((1 - ALFA) * Gjsnitt_Produksjon_Rate + ALFA * Gjsnitt_Ordre_Rate) + Bryter_1 * (Avvik_bestilte_raavarer / Per_fjerne_avvik_ikke_lev_raavarer)
doc	Best_Rate_Raavarer = Hvor mye råvarer bestilles det hver uke
unit	Best_Rate_Raavarer = Artikkel / Uke
aux	Bestilling_til_grossist = D_Gjsnitt_marked + (D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager / Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D) + (Bryter_MIS_D * (Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_D / Hvor_for_fjernes_avvik_i_bestilte_art_D))
doc	Bestilling_til_grossist = Bestilling av nye varer fra grossisten. Det legges et grunnlag for bestilling via markedsutviklingen og hvordan utviklingen er i forhold til lagerbeholdningen. Avviket i lagerbeholdningen korrigeres over tiden gitt av faktoren Kor_for_lagerreduksjon.
unit	Bestilling_til_grossist = Artikkel / Uke
aux	Bestilling_til_produzent = G_Gjsnitt_best_fra_D + (G_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager / Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_G) + Bryter_MIS_G * (Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_G / Hvor_fort_fjernes_avvik_i_bestilte_art_G)
doc	Bestilling_til_produzent = Bestilling fra grossist til produsent
unit	Bestilling_til_produzent = Artikkel / Uke
aux	D_Forsinkelse_på_levering = DELAYMTR(Bestilling_til_grossist, Leveringstid_D, 1, Bestilling_til_grossist)
doc	D_Forsinkelse_på_levering = Tiden artiklene bruker for å gå fra grossisten til detaljsten.
unit	D_Forsinkelse_på_levering = Artikkel / Uke
aux	D_Gjsnitt_inn = (Marked - D_Gjsnitt_marked) / Periode_for_gjsnitt_D
doc	D_Gjsnitt_inn = Hvor fort forandrer bestillingsraten seg
unit	D_Gjsnitt_inn = Artikkel / Uke

aux $G_Forsinkelse_p\grave{a}_levering = DELAYMTR(Produksjon_rate, Leveringstid_G, 1, Produksjon_rate)$
 doc $G_Forsinkelse_p\grave{a}_levering =$ Transporttiden i fra produsenten til grossisten
 unit $G_Forsinkelse_p\grave{a}_levering =$ Artikkel / Uke

aux $G_Gjsnitt_best_inn = (Bestilling_til_grossist - G_Gjsnitt_best_fra_D) / Periode_for_gjsnitt_G$
 doc $G_Gjsnitt_best_inn =$ Gjennomsnittet av bestillingene som kommer inn til grossisten fra marked/detaljist
 unit $G_Gjsnitt_best_inn =$ Artikkel / Uke

aux $Gjsnitt_ordre_rate_inn = (Valg_av_paavirkning - Gjsnitt_Ordre_Rate) / Gjsnitt_per_for_ordre_rate$
 doc $Gjsnitt_ordre_rate_inn =$ Gjennomsnitt bestilling pr uke
 unit $Gjsnitt_ordre_rate_inn =$ Artikkel / Uke

aux $Marked = IF(Bryter = 1, (Normal_markedsverdi + Sinusverdi_amp * SIN(2 * PI * (TIME - Stepfunksjon_tidspunkt) / Sinusverdi_periode) * IF(TIME > Stepfunksjon_tidspunkt, 1, 0)), Normal_markedsverdi + STEP(Stepfunksjon_hoyde, Stepfunksjon_tidspunkt)) + (SINWAVE(Stoy_amp, Stoy_periode) * Stoy_paa_av)$
 doc $Marked =$ Denne variabelen skal vise hvordan markedet oppfører seg.
 unit $Marked =$ Artikkel

aux $Produksjon_rate = Avvik_etterslep / Tid_rette_ordre_ettersleps_avvik + (BETA * Gjsnitt_Ordre_Rate + (1 - BETA) * Gjsnitt_Produksjon_Rate) - (Bryter_2 * (Avvik_i_raavarelager / Per_avvik_fjernes_best_raavarer))$
 doc $Produksjon_rate =$ Hvor mange artikler produseres pr uke hos produsenten
 unit $Produksjon_rate =$ Artikkel / Uke

aux $Raamaterial_ankommer = DELAYMTR(Best_Rate_Raavarer, Hvor_forsinket_er_leveringen, 1, Best_Rate_Raavarer)$
 doc $Raamaterial_ankommer =$ Hvor mye råvarer ankommer pr uke
 unit $Raamaterial_ankommer =$ Artikkel / Uke

aux $Straff_1_aux = (Bestemt_raavarelager - Raamaterial_lager) ^2$
 doc $Straff_1_aux =$ Funksjon som avgjør om man følger riktig bestemt lager
 unit $Straff_1_aux =$ Artikkel

aux $Straff_2_aux = (Bestemt_etterslep - Etterslep) ^2$
 doc $Straff_2_aux =$ Funksjon som avgjør om man følger riktig bestemt lager
 unit $Straff_2_aux =$ Artikkel

aux $Straff_3_aux = (Produksjon_rate - Gjsnitt_Produksjon_Rate) ^2$
 doc $Straff_3_aux =$ Funksjon som avgjør om man følger riktig bestemt lager
 unit $Straff_3_aux =$ Artikkel

aux $Straff_4_aux = (Best_Rate_Raavarer - Gjsnitt_ordre_rate_inn) ^2$
 doc $Straff_4_aux =$ Funksjon som avgjør om man følger innkommende bestillinger og bestillingsraten på råvarer
 unit $Straff_4_aux =$ Artikkel

aux $Straff_D_aux = D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager ^2$
 doc $Straff_D_aux =$ Gir verdien positiv slik at et avvik uansett fortegn gir et bidrag til funksjonen
 unit $Straff_D_aux =$ Artikkel

aux $Straff_G_aux = G_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager ^2$
 doc $Straff_G_aux =$ Gir verdien positiv slik at et avvik uansett fortegn gir et bidrag til funksjonen

unit Straff_G_aux = Artikkel

aux Valg_av_paaavirkning = Bryter_Hel_eller_Coyle * Bestilling_til_produzent + (1 - Bryter_Hel_eller_Coyle) * Marked + Bryter_markedgjsnitt_paaavirkning *

Avvik_gjsnitt_i_marked_og_produzent

aux Avvik_bestilte_raavarer = Bestemt_raamateriale_bestilt - Bestilte_raavarer_ikke_levert

doc Avvik_bestilte_raavarer = Forskjellen mellom bestemte råmaterialer bestilt og det antallet som er bestilt.

unit Avvik_bestilte_raavarer = Artikkel

aux Avvik_etterslep = Epperslep - Bestemt_etterslep

doc Avvik_etterslep = Forskjellen mellom skal og er verdi for produsenten når det gjelder hvor stort etterslep man skal ha

unit Avvik_etterslep = Artikkel

aux Avvik_gjsnitt_i_marked_og_produzent = IF((Marked - Gjsnitt_Ordre_Rate >

Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate) OR (Marked - Gjsnitt_Ordre_Rate < -

Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate), (Marked - Gjsnitt_Ordre_Rate) /

Uker_avviket_skal_korrigeres_over, 0)

doc Avvik_gjsnitt_i_marked_og_produzent = Denne parameteren tas med og korrigerer bestillingsraten

unit Avvik_gjsnitt_i_marked_og_produzent = Artikkel / Uke

aux Avvik_i_raavarelager = Bestemt_raavarelager - Raamaterial_lager

doc Avvik_i_raavarelager = Avviket mellom lageret og den mengden som man ønsker å ha på lager

unit Avvik_i_raavarelager = Artikkel

aux Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_D = Bestemt_artikkelmengde_D - Bestilte_artikler_D

doc Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_D = Avviket mellom det som er bestilt og det man skal/skulle ha bestilt

Forskjellen mellom skal og er verdi

unit Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_D = Artikkel

aux Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_G = Bestemt_artikkelmengde_G - Bestilte_artikler_G

doc Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_G = Avviket mellom det som er bestilt og det man skal/skulle ha bestilt

Forskjellen mellom skal og er verdi

unit Avvik_mellom_bestilteart_skal_og_er_G = Artikkel

aux Bestemt_artikkelmengde_D = D_Gjsnitt_marked * Hvor_mange_ukers_bestilling_i_ko_D

unit Bestemt_artikkelmengde_D = Artikkel / Uke

aux Bestemt_artikkelmengde_G = G_Gjsnitt_best_fra_D * Hvor_mange_ukers_bestilling_i_ko_G

doc Bestemt_artikkelmengde_G = Hvor mange artikler befinner seg i køen for bestilte varer. Gjennomsnitts bestillinger ganger ukene for levering gir et greit anslag

unit Bestemt_artikkelmengde_G = Artikkel

aux Bestemt_etterslep = Gjsnitt_Ordre_Rate * Hvor_mange_uker_kan_vi_ligge_paa_etterskudd

doc Bestemt_etterslep = Hvor mange artikler skal man godta at man ligger på etterskudd

unit Bestemt_etterslep = Artikkel

aux Bestemt_raamateriale_bestilt = (Gjsnitt_Ordre_Rate * DELTA + (1 - DELTA) *

Gjsnitt_Produksjon_Rate) * Antallet_uker_raavareforbruk_som_er_bestilt

doc Bestemt_raamateriale_bestilt = Sammenligningsfunksjon som skal legge et grunnlag for en bedret bestillingsrate slik at man ikke bestiller for mye eller for lite.

unit Bestemt_raamateriale_bestilt = Artikkel / Uke

aux Bestemt_raavarelager = (Gjsnitt_Produksjon_Rate * GAMMA + (1 - GAMMA) *
 Gjsnitt_Ordre_Rate) * Avtalt_per_varelager_skal_dekke
 doc Bestemt_raavarelager = Størrelsen på råvarelageret, ut i fra hva som er bestemt
 unit Bestemt_raavarelager = Artikkel

aux D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = D_Lagerdekning - M_Varer_i_hyllene
 doc D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = Avviket mellom det markedet har på lager og det
 de mener at de skal ha på lager
 unit D_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = Artikkel

aux D_Lagerdekning = D_Gjsnitt_marked * Hvor_lenge_skal_lageret_vare_D
 doc D_Lagerdekning = Lageret ute i markedet til en hver tid skal være av denne størrelsen
 unit D_Lagerdekning = Artikkel

aux G_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = G_Lagerdekning - Grossist_lager_mengde
 doc G_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = Avviket mellom det man har på lager og det man
 mener at man skal ha på lager
 unit G_Avvik_mellom_lager_og_avtalt_lager = Artikkel

aux G_Lagerdekning = G_Gjsnitt_best_fra_D * Hvor_lenge_skal_lageret_vare_G
 doc G_Lagerdekning = Lageret skal til en hver tid ha dette nivået
 unit G_Lagerdekning = Artikkel

aux Gjsnitt_Produksjon_Rate = DELAYINF(Produksjon_rate, Gjsnitt_per_prod_rate , 1,
 Gjennomsnitts_prodrate_initverdi)
 doc Gjsnitt_Produksjon_Rate = Gjennomsnittet av produksjonsraten
 unit Gjsnitt_Produksjon_Rate = Artikkel / Uke

aux Hjelpevariabel_init_Gjsnitt_ordre_rate = Bryter_Hel_eller_Coyle * Bestilling_til_produzent +
 (1 - Bryter_Hel_eller_Coyle) * Marked

aux Maalfunksjon_A = (Straff_D * Vekt_straff_D) + (Straff_G * Vekt_straff_G)
 doc Maalfunksjon_A = Samler avviket i de forskjellige enhetene slik at man kan bruke dette som
 en måleenhet for hvordan de forskjellige enhetene fungerer sammen
 unit Maalfunksjon_A = Artikkel

aux Maalfunksjon_B = (Straff_1 * Vekt_straff_1) + (Straff_2 * Vekt_straff_2) + (Straff_3 *
 Vekt_straff_3) + (Straff_4 * Vekt_straff_4)
 doc Maalfunksjon_B = Samler de forskjellige straffefunksjonene slik at man kan benytte dette
 som et mål ved beregning av konstanter

aux Maalfunksjon_totalt = (Maalfunksjon_A * Vekt_Maalfunksjon_A) + (Maalfunksjon_B *
 Vekt_Maalfunksjon_B)
 doc Maalfunksjon_totalt = Samlede avvik med vekt i forhold til hverandre.
 unit Maalfunksjon_totalt = Artikkel

const ALFA = 0
 doc ALFA = Variabel for å variere påvirkningsgraden mellom Gjennomsnitt ordre rate og
 Gjennomsnitt produksjonsrate
 unit ALFA = Ikke_definert

const Antallet_uker_raavareforbruk_som_er_bestilt = 4
 doc Antallet_uker_raavareforbruk_som_er_bestilt = Antallet ukers raavareforbruk som er bestilt
 unit Antallet_uker_raavareforbruk_som_er_bestilt = Uke

const Avtalt_per_varelager_skal_dekke = 4

doc Avtalt_per_varelager_skal_dekke = Hvor stort lager skal bedriften sitte med
unit Avtalt_per_varelager_skal_dekke = Uke

const BETA = 0.77
doc BETA = Regulerings mulighet for å vekte mellom to påvirkninger
unit BETA = Ikke_definert

const Bryter = 1
doc Bryter = Bryter for å velge markedsmønster
unit Bryter = Ikke_definert

const Bryter_1 = 1
doc Bryter_1 = Bryter for å koble ut og inn en tilbakekobling
unit Bryter_1 = Ikke_definert

const Bryter_2 = 1
doc Bryter_2 = Bryter. Enten 1 eller 0. Brukes for å koble ut og inn en tilbakekobling
unit Bryter_2 = Ikke_definert

const Bryter_Hel_eller_Coyle = 1
doc Bryter_Hel_eller_Coyle = Bryter 0 eller 1 som kan koble ut eller inn modellen som ligger mellom Coyle og Markedet
unit Bryter_Hel_eller_Coyle = Ikke_definert

const Bryter_markedgjsnitt_påvirkning = 1
doc Bryter_markedgjsnitt_påvirkning = Bryter for om man skal korrigere for at markedet stiger før bestillingene stiger.
unit Bryter_markedgjsnitt_påvirkning = Ikke_definert

const Bryter_MIS_D = 1
doc Bryter_MIS_D = Bryter for å koble MIS ut og inn
unit Bryter_MIS_D = Ikke_definert

const Bryter_MIS_G = 1
doc Bryter_MIS_G = Bryter for å koble MIS ut og inn hos grossisten. Verdien er enten 1 eller 0.
unit Bryter_MIS_G = Ikke_definert

const DELTA = 0
doc DELTA = Justeringsfaktor mellom størrelsene Gjennomsnitt produksjonsrate og Gjennomsnitt ordre rate
unit DELTA = Ikke_definert

const Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate = 5
doc Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate = Forskjellen mellom Marked og Gjsnitt_Ordre_Rate før man lar forskjellen spille inn
unit Forskjell_marked_og_gjsnitt_ordrerate = Artikkel

const GAMMA = 1
doc GAMMA = Justeringskonstant for vekting mellom faktorer
unit GAMMA = Ikke_definert

const Gjennomsnitts_prodrate_initverdi = 100
doc Gjennomsnitts_prodrate_initverdi = Konstant satt inn fordi constructor ikke er i stand til å koble sirkulært
unit Gjennomsnitts_prodrate_initverdi = Artikkel

const Gjsnitt_per_for_ordre_rate = 5.90

doc Gjsnitt_per_for_ordre_rate = Bestemmer over hvor lang periode man skal midle bestillingsraten
unit Gjsnitt_per_for_ordre_rate = Uke

const Gjsnitt_per_prod_rate = 10
doc Gjsnitt_per_prod_rate = Man tar gjennomsnittet av produksjonraten over ett vist antall uker
unit Gjsnitt_per_prod_rate = Uke

const Hvor_for_fjernes_avvik_i_bestilte_art_D = 2
doc Hvor_for_fjernes_avvik_i_bestilte_art_D = Forteller over hvor lang tid skal et eventuelt avvik mellom skal og er verdi i bestilte varer hos detaljisten skal korrigeres
unit Hvor_for_fjernes_avvik_i_bestilte_art_D = Uke

const Hvor_forsinket_er_leveringen = 4
doc Hvor_forsinket_er_leveringen = Det antall uker det tar fra bestillingen av råvarer er gjort til varene kommer og bedriften kan bruke dem
unit Hvor_forsinket_er_leveringen = Uke

const Hvor_fort_fjernes_avvik_i_bestilte_art_G = 2
doc Hvor_fort_fjernes_avvik_i_bestilte_art_G = Over hvor lang tidsperiode fjernes et avvik mellom skal og er verdi til bestilte varer
unit Hvor_fort_fjernes_avvik_i_bestilte_art_G = Uke

const Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D = 2
doc Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D = Hvor fort skal man bestille nye varer når lageret minker
unit Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_D = Uke

const Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_G = 2
doc Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_G = Hvor fort man skal dekke opp for mengden enheter som blir borte i fra lageret
unit Hvor_fort_skal_et_eventuelt_avvik_fjernes_G = Uke

const Hvor_lenge_skal_lageret_vare_D = 2
doc Hvor_lenge_skal_lageret_vare_D = Hvor mange artikler skal man ligge med i bakhånd og på lager med i markedet
unit Hvor_lenge_skal_lageret_vare_D = Uke

const Hvor_lenge_skal_lageret_vare_G = 4
doc Hvor_lenge_skal_lageret_vare_G = Hvor lang tid skal det ta før man har korrigert for reduksjonen i sitt eget lager
unit Hvor_lenge_skal_lageret_vare_G = Uke

const Hvor_mange_uker_kan_vi_ligge_på_etterskudd = 6
doc Hvor_mange_uker_kan_vi_ligge_på_etterskudd = Bestemmer hvor stort etterslep man skal godkjenne
unit Hvor_mange_uker_kan_vi_ligge_på_etterskudd = Uke

const Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_D = 1
doc Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_D = Hvor mange ukers salg skal være bestilt til en hver tid
unit Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_D = Uke

const Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_G = 7
doc Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_G = Man skal ta hensyn til siste 7 ukers bestillinger, bestillingen gjort for 7 uker siden levers i den neste uken.
unit Hvor_mange_ukers_bestilling_i_kø_G = Uke

const Initialverde_bestilte_art_G = 700
doc Initialverde_bestilte_art_G = Det antallet artikler som er bestilt over de siste ukene og
befinner seg i leveringsprosessen. Valgt som stabilt markedsnivå ganget med 7 uker (leveringstiden)
unit Initialverde_bestilte_art_G = Artikkel

const Initialverdi_bestilte_art_M = 100
doc Initialverdi_bestilte_art_M = Start verdi for det antallet varer som ble bestilt forrige uke
unit Initialverdi_bestilte_art_M = Artikkel

const Leveringstid_D = 2
doc Leveringstid_D = Hvor lang tid tar det for at varene skal komme til produsenten
unit Leveringstid_D = Uke

const Leveringstid_G = 1
doc Leveringstid_G = Hvor lang tid tar det for produsenten å flytte varene til grossisten
unit Leveringstid_G = Uke

const Normal_markedsverdi = 100
doc Normal_markedsverdi = Hvor mange enheter kan markedet motta pr tidsenhet
unit Normal_markedsverdi = Artikkel

const Per_avvik_fjernes_best_raavarer = 10
doc Per_avvik_fjernes_best_raavarer = Når det bestilles nye varer hvor fort skal avviket
elimineres
unit Per_avvik_fjernes_best_raavarer = Uke

const Per_fjerne_avvik_ikke_lev_raavarer = 2
doc Per_fjerne_avvik_ikke_lev_raavarer = Hvor fort fjernes et behovsforskjell mellom det som er
bestilt og det aktuelle behovet Det som er bestilt befinner seg i pipeline (i levering/i transit)
Coyle beskriver det som Time to Correct Raw Material Pipeline TCRMP
unit Per_fjerne_avvik_ikke_lev_raavarer = Uke

const Periode_for_gjnsnitt_D = 8
doc Periode_for_gjnsnitt_D = Over hvor lang tid vi skal ta gjennomsnittet av markedet
unit Periode_for_gjnsnitt_D = Uke

const Periode_for_gjnsnitt_G = 8
doc Periode_for_gjnsnitt_G = Den tiden man tar gjennomsnittet over
unit Periode_for_gjnsnitt_G = Uke

const Raavarer_bestilt_initverdi = 400
doc Raavarer_bestilt_initverdi = Det antallet varer som er bestilt i tiden 0
unit Raavarer_bestilt_initverdi = Artikkel

const Sinusverdi_amp = 30
doc Sinusverdi_amp = Dette er det antallet enheter som markedet forandrer seg med.
unit Sinusverdi_amp = Artikkel

const Sinusverdi_periode = 25
doc Sinusverdi_periode = Over hvor mange uker skal svigningen ligge
unit Sinusverdi_periode = Uke

const Stepfunksjon_hoyde = 20
doc Stepfunksjon_hoyde = Hvor mange enheter øker markedsandelene med
unit Stepfunksjon_hoyde = Artikkel / Uke

const Stepfunksjon_tidspunkt = 10
doc Stepfunksjon_tidspunkt = Når skal stepfunksjonen slå inn.
unit Stepfunksjon_tidspunkt = Uke

const Stoy_amp = 5
doc Stoy_amp = Ved å legge inn støy på markede, avvik forandring av det normale vil gi muligheten til å se hvordan modellen da oppfører seg. Støyen er en overlappet sinus på markedet
unit Stoy_amp = Artikkel

const Stoy_periode = 10
doc Stoy_periode = Perioden til støyfunksjonen. Det antallet uker støyen forandrer seg på
unit Stoy_periode = Uke

const Stoy_paa_av = 0
doc Stoy_paa_av = Denne konstanten styrer om det skal legges til stoy paa markedet.
unit Stoy_paa_av = Ikke_definert

const Tid rette_ordre_ettersleps_avvik = 9.99
doc Tid rette_ordre_ettersleps_avvik = Hvor mange uker skal man bruke på å rette opp etterslepet i produksjonen
unit Tid rette_ordre_ettersleps_avvik = Uke

const Uker_avviket_skal_korrigeres_over = 1
doc Uker_avviket_skal_korrigeres_over = Korrigeringsfaktor for hvor mye avviket mellom markedet og bestillingene inn til grossisten skal påvirke produsentens interne prosesser.
unit Uker_avviket_skal_korrigeres_over = Uke

const Vekt_Maalfunksjon_A = 1
doc Vekt_Maalfunksjon_A = Vekt i mellom maalfunksjonene hvis den ene skal telle mer enn den andre
unit Vekt_Maalfunksjon_A = Ikke_definert

const Vekt_Maalfunksjon_B = 1
doc Vekt_Maalfunksjon_B = Vekt i mellom maalfunksjonene hvis den ene skal telle mer enn den andre
unit Vekt_Maalfunksjon_B = Ikke_definert

const Vekt_straff_1 = 1
doc Vekt_straff_1 = Hvor viktig er denne størrelsen i forhold til de andre
unit Vekt_straff_1 = Ikke_definert

const Vekt_straff_2 = 1
doc Vekt_straff_2 = Hvor viktig er denne størrelsen i forhold til de andre
unit Vekt_straff_2 = Ikke_definert

const Vekt_straff_3 = 1
doc Vekt_straff_3 = Hvor viktig er denne størrelsen i forhold til de andre
unit Vekt_straff_3 = Ikke_definert

const Vekt_straff_4 = 1
doc Vekt_straff_4 = Hvor viktig er denne størrelsen i forhold til de andre
unit Vekt_straff_4 = Ikke_definert

const Vekt_straff_D = 1
doc Vekt_straff_D = Vekter dette avvike mot alle de andre
unit Vekt_straff_D = Ikke_definert

const Vekt_straff_G = 1
doc Vekt_straff_G = Vekter dette avvike mot de andre avvikene
unit Vekt_straff_G = Ikke_definert