

Energiforbruk i tog – måling, oppfølging og læring (Train energy use – measurement, evaluation and learning)

Masteroppgave



Vår 2006
Stud. Techn.
Jan Vetle Moen
9.6.2006

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Studieprogrammet Produktutvikling og Produksjon
erklæring

MASTEROPPGAVE

vårsemesteret 2006

for

Stud.techn.

Jan Vetle Moen

Oppgavetittel:

Energiforbruk i tog - måling, oppfølging og læring

(Train energy use - measurement, evaluation and learning)

ERKLÆRING

Jeg erklærer herved på ære og samvittighet at jeg har utført ovennevnte masteroppgave selv og uten noen som helst ulovlig hjelp.

Oslo 7.6.2006

Jan Vetle Moen

Den innleverte masteroppgaven med bilag kan av NTNU fritt benyttes til undervisnings- og forskningsformål. Ved bruk utover dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten..

Norges teknisk-
naturvitenskapelige universitet
NTNU

Institutt for produksjons-
og kvalitetsteknikk
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

NIO/LMS
Dato: 2006-01-03



MASTEROPPGAVE
Våren 2006
for
stud. techn. Jan Vetle Moen

ENERGIFORBRUK I TOG - MÅLING, OPPFØLGING OG LÆRING
(Train Energy Use – Measurement, Evaluation, and Learning)

NSB arbeider med tiltak for direkte energisparing, læring om hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens togdrift kan utvikles. En simulator er bygget for å lære hva som kjennetegner energieffektiv kjøring. Oppgaven rettes mot oppfølging av energiforbruk, med utgangspunkt i erfaringer fra simulatoren.

Oppgaven utføres i samarbeid med NSB og forskningsprosjektet PEMRO.

I oppgaven skal kandidaten mer spesifikt:

1. Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simulering-modeller. Et sammendrag av dette skal presenteres.
2. Kvalitetssikring av simuleringresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Dette kan omfatte både målt energiforbruk og observert kjøreadferd (simulert sammenlignet med observert).
3. Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kunne forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i (simulert sammenlignet med forventet).

Oppgaveløsningen skal basere seg på eventuelle standarder og praktiske retningslinjer som foreligger og anbefales. Dette skal skje i nært samarbeid med veiledere og fagansvarlig. For øvrig skal det være et aktivt samspill med veiledere.

Innen tre uker etter at oppgaveteksten er utlevert, skal det leveres en forstudierapport som skal inneholde følgende:

- En analyse av oppgavens problemstillinger.
- En beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven. Denne beskrivelsen skal kunne ut i en klar definisjon av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- En tidsplan for fremdriften av prosjektet. Planen skal utformes som et Gantt-skjema med angivelse av de enkelte arbeidsoppgavenes terminer, samt med angivelse av milepæler i arbeidet.

Masteroppgave våren 2006 for
stud. techn. Jan Vetle Moen

2

Forstudierapporten er en del av oppgavebesvarelsen og skal innarbeides i denne. Det samme skal senere fremdrifts- og avviksrapporter. Ved bedømmelsen av arbeidet legges det vekt på at gjennomføringen er godt dokumentert.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte og diskuteres utførlig.

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare eller fysisk utstyr er en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten under arbeidet med oppgaven støter på vanskeligheter, som ikke var forutsett ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette straks tas opp med instituttet.

Besvarelsen skal innleveres i 3 eksemplar (innbundne) til instituttet. I tillegg leveres minst et innbundet eksemplar og en CD til henholdsvis veileder og NSB.

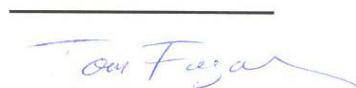
Ansvarlig faglærer ved NTNU: Førsteamanuensis Tom Fagerhaug
Telefon: 73 59 71 24
Mobiltelefon: 909 86 854
E-post: tom.fagerhaug@ntnu.no

Veileder ved SINTEF, Nils Olsson
Produktivitet og prosjektledelse: Mobiltelefon: 977 13 628
E-post: nils.olsson@sintef.no

**INSTITUTT FOR PRODUKSJONS-
OG KVALITETSTEKNIKK**


Asbjørn Rolstadås
professor/instituttleder

FAKULTET FOR
INGENIØRVITENSKAP
OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVEN
Utlevert : 16.1.2006
Innleveres senest : 12.6.2006


Tom Fagerhaug
faglærer

Forord

Dette er en masteroppgave kalt "Energiforbruk i tog – måling, oppfølging og læring" som skal gjennomføres våren 2006 ved Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Masteroppgaven er et samarbeid mellom NTNU og NSB med førsteamanuensis Tom Fagerhaug som ansvarlig faglærer og forsker Nils Olsson som veileder. Kontaktperson ved NSB var Hans Haugland.

Jeg vil takke Halvor Persen Gundersen, Ottar Arne Haslestad, Kai Torgersen, Abdulrahim Alkadi, Hans Haugland, Tom Fagerhaug og Nils Olsson for hjelp med denne rapporten.

Oslo 9.6.2006

Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler kvalitetssikring av resultater fra simulering. Med dette menes det at modelleringen stemmer overens med de resultater man kan forvente, og at simuleringen stemmer overens med reelle verdier. Det tas utgangspunkt i togsimulering med hensyn på energiforbruket.

Simulering og modellering er en prosess som har som formål å opprette og eksperimentere med en datastyrt matematisk modell av et fysisk system. Simulering er en mer kostnadseffektiv og tidsbesparende metode for å teste systemers egenskaper, enn å teste på det reelle systemet. Simulering vil heller ikke forstyrre det eksisterende system. En simuleringsstudie inneholder mange ulike steg hvor de viktigste er; engasjement fra ledelsen, innsamling av data, programmere modellen, verifisere modellen, validere modellen og kjøre forsøk.

Verifikasjon er den prosessen som sikrer at simuleringsmodellen har alle de nødvendige komponenter, og at den kan kjøres slik den er tiltenkt. Det er viktig at modellverifikasjonen er fullstendig korrekt, og kan kjøres uten feil og advarsler, altså en feilfri simulering. Metoder for verifikasjon kan være animering, symbolbruk, tallmateriale (grafisk fremstilling) og kvalitetssikre utdata. Verifikasjon bør ses på som en kontinuerlig prosess.

Validering er prosessen hvor man sikrer at modellen representerer virkeligheten. Validitetstesting tar utgangspunkt i å sammenligne utdata fra simuleringen med det data fra det reelle systemet. Det vil da være viktig at inndataen tar utgangspunkt i samme verdier. Det finnes to ulike valideringer; fasadevalidering og statistisk validering. Sammenligningen mellom et reelt system og en simulering vil aldri bli 100 prosent korrekt. Hvor store disse ulikhetene kan være, bestemmes av ledelsens aksept og bruk av simuleringen.

Kvalitetssikring ved simulering og modellering er på mange måter oversett i praksis, og blir på mange måter sett på som et verktøy og ikke et produkt som kan støtte nye beslutninger. Validering er en hovedkvalitetssikring, men det finnes mange andre aspekter å ta hensyn til.

To simuleringsstudier blir belyst; "På tur med Signatur" og SimERT. "På tur med Signatur" er en forholdsvis enkel simulering som tar utgangspunkt i data fra leverandør og kunde, mens SimERT er en mer dyptgående simuleringsstudie som har all sin data målt fra det reelle system. Dette er en god illustrasjon på hvordan modellerer tar utgangspunkt i ulikt datamateriale, hvilke antagelser de må ta og hvor god modellen blir.

Modellen som er bygget på Sundland i Drammen er bygget av et firma med lang erfaring innen jernbanemodellering. Denne erfaringen er viktig for å oppnå et godt produkt. De har det grunnleggende fundamentet allerede, og tar så utgangspunkt i data fra togleverandør og kunde (i dette tilfellet NSB). Dette medfører en del antagelser. De gjeldende fysiske lover gjelder i høy grad ved utregning av energiforbruket. Simuleringen som kan bli gjort er i hovedsak på togtype 72 ved fullskalasilulering.

Verifiseringen av simulatoren inneholder en feilanalyse av analyseprogrammet, og en testing om simulatoren reagerer slik som forventet ved å se hvordan energiforbruket blir påvirket av hastighet, pådrag og masse. 21 simuleringer ble gjort innen disse tre faktorene, noe som var i minste laget. Allikevel ble trendene vist, utenom ved pådraget som ikke viste noen trend. All utdataen fra simuleringen var heller ikke tilfredsstillende. Her trengs det oppdateringer.

Valideringen kan deles opp i to; fasadevalidering og statistisk validering. Fasadevalideringen er tilfredsstillende, da den er en nøyaktig kopi av type 72 og fungerer utmerket i en treningsituasjon. De ansatte har gått igjennom de grafiske elementene på strekningen slik at dette også er tilfredsstillende. Den statistiske valideringen innen energiforbruket ble noe mangelfull da data fra reelle systemet ikke var tilgjengelig. Noe gammel data ble funnet for å sjekke forskjellen på atferden mellom simulatoren og reelle systemet. Det kan tyde på at det er annerledes kjøring ved simulatoren da den har en jevnere kjøring med høyere topphastighet.

En god simuleringsmodell tar utgangspunkt i god inndata, helst målt på det reelle systemet som vil gi en mindre feilprosent ved simulering. Viktigheten ved at dataene er validert på en fullskalasilulator kan diskuteres, da en fullskalasilulator brukes i en opplæringsituasjon.

Summary

This paper discusses quality insurance from simulation results. This means that the modelling agrees with the results that is expected and the simulation agrees with real values. It is based on train simulation with consideration on the energy consumption.

Simulation and modelling is a process which has an object to make and experiment with a computer based mathematical model of a physical system. Simulation is a more cost-effective and time-saving way to test systems properties, instead of real system testing. Simulation will not disturb the real system. A simulation study contains many different steps: engagement from the management, collecting data, program the model, verify the model, validation of the model and testing.

Verification is the process which insures that the simulation model has all the essential components and that it can run the way it is intended too. It is important that the model verification is absolutely correct and can be run without errors and warnings. Methods for verification could be animating, use of symbols, graphical view and quality insurance of output data. Verification is a continuous process.

Validation is the process which insures that the simulation model represents reality. Validity testing is a comparison between output data from the simulation with data from the real system. It is important that the input data is based on the same values. It is two types of validation; face validity and statistical validity. The comparisons between real system and a simulation will never be 100 percent correct. How big these distinguish should be is a management decision.

Quality insurance of simulation and modelling is in many ways disregarded in practise, and used as a tool and not a product to support new decisions. Validation is the main quality insurance, but there are also many other factors to consider.

Two simulation studies are discussed; "På tur med Signatur" and SimERT. "På tur med Signatur" is a really simple simulation which is based on the input data from contractors and customers. SimERT is a more detailed simulation study, which bases all the input data from real system measurements. These two gives a good illustration on two models with different base on the input data.

The modell at Sundland in Drammen is built by a company with long experience in railway modelling. This experience is important to achieve a good product. They have the basic fundamentals worked out, and uses data given to them by the train manufacturer and the NSB . This involves a good deal of assumptions. Calculations of the energy consumption are based on the main physical laws. Type 72 are the train which are simulated.

Verification of the simulator contends a fault analyse by CorPra, and testing of the simulator. Test of the simulator content analyse of energy consumption by comparing it with speed, powering ratio and weight. 21 simulations were done, which is few. Regards with so few measurements, the trends where shown. Powering ratio showed no trend. The output data from the simulator were not content.

Validation can be divided into two parts; face validation and statistic validation. At Sundland, face validation is satisfied because it is a true copy of the 72 trains and works excellent in a training situation. The employees have worked with the graphical elements at the simulator so

that is also correct. Statistics validation within energy consumption where insufficient because of too little data from the real system. Some old data where used to check driving behaviour compared to simulated driving behaviour. It seems that the simulated driving has a steadier driving and a higher top speed.

A good simulation model is based on high-quality input data, preferably measured at the real system which will give a less fault rate within the simulation. The importance that the data is valid at a full scale simulation can be discussed, because a full scale simulation is used in a training situation.

Innholdsfortegnelse

1	INNLEDNING	1
1.1	OMFANG	1
1.2	PROBLEMSTILLING.....	1
1.3	MÅL OG AVGRENSING.....	1
1.4	OPPBYGGING AV OPPGAVEN	2
2	NSB OG SIMULATORSENTERET	3
2.1.1	<i>Simulatoranlegget</i>	<i>3</i>
2.1.2	<i>Oversikt</i>	<i>3</i>
2.1.3	<i>Treningsprosessen.....</i>	<i>4</i>
3	SIMULERINGSMODELLER OG KVALITETSSIKRING	4
3.1	TERMINOLOGI.....	4
3.2	MODELLER	4
3.3	UTVIKLE EN MODELL	5
3.4	MODELLERING OG SIMULERING	6
3.4.1	<i>Typer simulering</i>	<i>8</i>
3.4.2	<i>Hensikten med simulering</i>	<i>8</i>
3.4.3	<i>Fordeler med simulering</i>	<i>9</i>
3.4.4	<i>Ulemper med simulering</i>	<i>9</i>
3.4.5	<i>Steg i en simuleringsstudie</i>	<i>10</i>
3.4.6	<i>Andre betraktninger</i>	<i>13</i>
3.5	INNDATA OG ANALYSERING.....	14
3.5.1	<i>Innsamling til simulering</i>	<i>14</i>
3.5.2	<i>Kilder for datainnsamling</i>	<i>14</i>
3.5.3	<i>Innsamling av data.....</i>	<i>15</i>
3.6	VERIFIKASJON	16
3.6.1	<i>Animering.....</i>	<i>16</i>
3.6.2	<i>Symboler.....</i>	<i>16</i>
3.6.3	<i>dataverdier.....</i>	<i>17</i>
3.6.4	<i>Utdata.....</i>	<i>17</i>
3.6.5	<i>Verifikasjon oppsummering.....</i>	<i>17</i>
3.7	VALIDERING	17
3.7.1	<i>Valideringsperspektiv.....</i>	<i>17</i>
3.7.2	<i>Modellvalideringsprosedyre.....</i>	<i>18</i>
3.7.3	<i>Valideringsbehov.....</i>	<i>19</i>
3.7.3.1	<i>Fasadevalidering.....</i>	<i>19</i>
3.7.3.2	<i>Statistisk validering</i>	<i>20</i>
3.7.3.3	<i>Hva om modellen ikke kan bli statistisk validert.....</i>	<i>21</i>
3.7.4	<i>Klassifisering av valideringsområder</i>	<i>21</i>
3.7.5	<i>Validitetsområder.....</i>	<i>22</i>
3.7.6	<i>Teknikker for øke modellvaliditet og troverdighet</i>	<i>23</i>
3.7.7	<i>Ledelsens rolle i en simuleringsprosess</i>	<i>24</i>
3.7.8	<i>Unøyaktigheter.....</i>	<i>24</i>
3.7.8.1	<i>Antagelser</i>	<i>24</i>
3.7.8.2	<i>Forenklinger</i>	<i>25</i>
3.7.8.3	<i>Uoppmerksomhet</i>	<i>25</i>
3.7.8.4	<i>Begrensninger.....</i>	<i>25</i>
3.7.9	<i>Kritisk til modellen.....</i>	<i>26</i>
3.7.10	<i>Bruk av flere modeller</i>	<i>26</i>
3.7.11	<i>Sammenheng mellom validering, verifikasjon og troverdighet</i>	<i>26</i>
3.7.12	<i>Oppsummering validering</i>	<i>27</i>
3.8	TRENINGSSIMULATORER.....	27
3.8.1	<i>Fordeler med treningssimulator.....</i>	<i>27</i>
3.8.2	<i>Ulemper ved treningssimulator.....</i>	<i>28</i>
3.9	SIMULERING VS FULLSKALASIMULERING.....	29
3.9.1	<i>Validering av en simulator.....</i>	<i>30</i>
3.9.2	<i>Prestasjonsmåling og simulering</i>	<i>30</i>

3.10	KVALITETSSIKRING VED MODELLERING OG SIMULERING.....	31
3.10.1	<i>Kvalitetsaspekter</i>	31
3.11	EKSEMPLER VED BRUK AV SIMULERINGSMODELLER.....	32
3.11.1	<i>”På tur med Signatur”</i>	32
3.11.1.1	Bakgrunn	32
3.11.1.2	Metode.....	32
3.11.1.3	Antagelser og datagrunnlag	33
3.11.1.4	Simulering og antagelser	34
3.11.1.5	Hovedkalkyle	36
3.11.1.6	Resultat.....	37
3.11.1.7	Sammenligning med reelle målinger	38
3.11.1.8	Oppsummering Signatur simulering.....	38
3.11.2	<i>SimERT – en simuleringsstudie</i>	38
3.11.2.1	Modellering av kjøremotstand.....	39
3.11.2.2	Resultat fra reelle målinger.....	40
3.11.2.3	Innsamling av data.....	40
3.11.2.4	Validering og kalibrering av modellen ved simulering.....	42
3.11.2.5	Førermodell	43
3.11.2.6	Oppsummering SimErt.....	47
4	METODOLOGI, DATAKILDER OG VERKTØY	47
4.1	VALG AV METODE.....	47
4.2	DOKUMENTANALYSE.....	48
4.2.1	<i>Kilder</i>	48
4.3	DATAINNSAMLING.....	49
4.3.1	<i>Teori</i>	49
4.3.2	<i>Empiri</i>	49
4.3.3	<i>Datakilder</i>	49
4.3.3.1	TELOC.....	49
4.3.3.2	CorPra	50
4.3.3.3	End Of Run report (EORR).....	52
5	OPPBYGGING AV SIMULERINGSMODELLEN SUNDLAND.....	54
5.1	MODELLOPPBYGGING	54
5.1.1	<i>Modelleringsverktøyet ”Modelix”</i>	55
5.1.2	<i>Generell struktur på modelloppbyggingen</i>	56
5.2	DEN FYSISKE TOGMODELLEN	57
5.2.1	<i>Dynamisk modell</i>	57
5.2.1.1	Masse.....	57
5.2.1.2	Kjøremotstand	58
5.2.1.3	Kurvekrefter	58
5.2.1.4	Gradientkrefter	58
5.2.1.5	Trekkraft.....	59
5.2.1.6	Dynamisk bremsing.....	59
5.2.1.7	Elektropneumatisk bremsekraft	60
5.2.1.8	Parkeringsbremsekraft	60
5.2.1.9	Akselerasjon og fartsberegninger	60
5.2.1.10	Toget i ro	60
5.2.2	<i>Pneumatisk modell</i>	60
5.2.2.1	Hovedkompressorsutstyr	61
5.2.2.2	Bremseutstyr og trykk	61
5.2.2.3	Parkeringsbrems og dører.....	62
5.2.2.4	Hjelpekompressor.....	62
5.2.3	<i>Elektrisk modell</i>	62
5.2.3.1	Motor	63
5.2.3.2	Kompressorer	63
5.2.4	<i>Andre modeller</i>	63
5.2.4.1	Koplingsmodell	63
5.2.4.2	Kontroll og kommandomodell.....	63
5.2.4.3	Sikkerhetsmodell	64
5.2.5	<i>Oppsummering av modell</i>	64
6	ANALYSEDEL.....	65
6.1	VERIFISERING	65

6.1.1	<i>CorPra – en feilanalyse</i>	65
6.1.2	<i>Hva påvirker energiforbruket på tog</i>	67
6.1.3	<i>Kjøringene</i>	69
6.1.3.1	Hastighet	69
6.1.3.2	Trekraft.....	72
6.1.3.3	Masse.....	76
6.1.4	<i>Oppsummering verifisering</i>	77
6.2	VALIDERING	77
6.2.1	<i>To typer validering</i>	78
6.2.1.1	Fasadevalidering.....	78
6.2.1.2	Førerbordvalidering.....	78
6.2.1.3	Skjerm bilde	81
6.2.2	<i>Statistisk validering</i>	82
6.2.3	<i>Analyse lokførers atferd</i>	83
6.2.3.1	Reelle kjøring	83
6.2.3.2	Simulerte kjøring.....	85
6.2.3.3	Sammenligning mellom simulerte og reelle kjøring.....	86
7	KONKLUSJON	88
7.1	OPPGAVENS KONKLUSJON	88
7.2	VURDERING OM OPPGAVENS MÅL ER NÅDD	89
7.3	FEILKILDER OG BEGRENSNINGER	90
7.4	FORSLAG TIL VIDERE STUDIER	90
	REFERANSER	92
	VEDLEGG	I
A.	KJEDEBRUDD.....	II
B.	EKSEMPEL PÅ EOR.....	VI
C.	SIMULERTE KJØRINGER.....	IX
D.	REELLE KJØRINGER	XIV
E.	LOGG OVER RULLENDE MATERIELL	XX
F.	RUTETIDER	XXII
G.	RUTEORDRE JERNBANEVERKET	XXV
H.	FORSTUDIERAPPORT.....	XXVII
I.	STATUSRAPPORT.....	LII

Figurliste

FIGUR 1 OPPBYGGING AV OPPGAVEN.....	2
FIGUR 2 GENERELL OVERSIKT OVER SIMULATORSENTERET (CORYS, TRO-CDD 2).....	3
FIGUR 3 MÅTER OG STUDERE ET SYSTEM (LAW OG KELTON, 2000).....	7
FIGUR 4 STEG I EN SIMULERINGSSTUDIE (BANKS, 2005).....	12
FIGUR 5 STATISTISK MODELLERING (CHUNG, 2005).....	14
FIGUR 6 MODELLVALIDERINGSPROSEDYRE (LJUNG OG GLAD, 2004).....	18
FIGUR 7 TEST AV VALIDITETEN (LJUNG OG GLAD, 2004 OG CHUNG, 2003 M.FL).....	18
FIGUR 8 EKSEMPEL PÅ ANIMERT PRODUKSJON (SHEFFIELD UNIVERSITY).....	20
FIGUR 9 SAMMENHENG MELLOM VALIDERING, VERIFISERING OG TROVERDIGHET (LAW OG KELTON, 2005).....	26
FIGUR 10 BASISELEMENTENE I EN TOGSIMULERINGSMODELL (LUKASZEWICH, 2001).....	29
FIGUR 11 SIGNATUR KJØRING: 25 KM MED MAKS. 140 KM/T. EFFEKT (BLÅ KURVE) OG FART (RØD KURVE) (VESTBY 2000).....	35
FIGUR 12 EKSEMPEL PÅ EN SAMMENLIGNING MELLOM SIMULERING OG REELLE MÅLINGER.....	43
FIGUR 13 FORDELING AV KRAFTTILFØRSEL AV 193 MÅLTE KJØRINGER.....	44
FIGUR 14 FORDELINGEN AV "COASTING".....	45
FIGUR 15 SAMMENLIGNING MELLOM MÅLTE OG SIMULERTE VERDIER, IKKE KALIBRERT.....	46
FIGUR 16 SAMMENLIGNING MELLOM MÅLTE OG SIMULERTE VERDIER, KALIBRERT.....	47
FIGUR 17 SKJERMBILDE AV CORPRA.....	51
FIGUR 18 STANDARDOPPSETT AV TOGSETT TYPE 72.....	54
FIGUR 19 STRUKTUR FOR TOGMODELLEN (CORYS, 2003).....	56
FIGUR 20 DYNAMISKE MODELL (CORYS, 2003).....	57
FIGUR 21 TREKKRAFT VED 885 MM HJULDAMETER (ANSALDO, 2000).....	59
FIGUR 22 PNEUMATISK MODELL (CORYS 2003).....	61
FIGUR 23 ELEKTRISKE MODELL.....	62
FIGUR 24 HVA PÅVIRKER ENERGIFORBRUKET (MOEN, 2005).....	68
FIGUR 25 HASTIGHET VS ENERGIFORBRUK.....	70
FIGUR 26 HASTIGHET VS TID.....	71
FIGUR 27 ENERGIFORBRUK VS TID.....	71
FIGUR 28 ENERGIFORBRUK VS PÅDRAG.....	72
FIGUR 29 ENERGIFORBRUK VS TID.....	73
FIGUR 30 SAMMENLIGNING 50 OG 100 % PÅDRAG. STIPLER=100%, HELTRUKKET=50 %. TURKIS=AKSELERASJON, RØD=HASTIGHET, SVART=ENERGIFORBRUK.....	74
FIGUR 31 SAMMENHENG MELLOM TREKKRAFTRATE, ENERGIFORBRUK OG TID (LUKASZEWICZ, 2001).....	75
FIGUR 32 ENERGIFORBRUK OG TREKKRAFT (JONG OG CHANG, 2005).....	75
FIGUR 33 ENERGIFORBRUK VS DOKUMENTERT TOGVEKT.....	77
FIGUR 34 MULTIFUNKSJONELL SIMULATOR.....	78
FIGUR 35 FULLSKALASIMULATOR.....	79
FIGUR 36 FØRERBORD FULLSKALASIMULATOR.....	80
FIGUR 37 FØRERBORDPANEL TYPE 72 (NSB, 2003).....	81
FIGUR 38 SKJERMBILDE.....	82
FIGUR 39 EKSEMPEL PÅ EN REELL KJØRING MELLOM MOSS-SKI.....	85
FIGUR 40 SIMULERT KJØRING MOSS-SKI, AUTOMAT.....	86
FIGUR 41 SAMMENLIGNING MELLOM REELL OG SIMULERT.....	87

Tabelliste

TABELL 1 KVALITETSASPEKTER VED SIMULERING OG MODELLERING.....	31
TABELL 2 SIGNATURS ENERGIINNTAK, -PRODUKSJON OG -FORBRUK ETTER HOVEDKALKYLE, I KWH (VESTBY, 2000).....	37
TABELL 3 BEREGNEDE ENERGIINNTAK, -PRODUKSJON OG -FORBRUK PÅ STREKNINGEN, SLUTTRESULTAT, I KWH (VESTBY, 2000).....	37
TABELL 4 MÅLTE ENERGIINNTAK OG FORBRUK PÅ STREKNINGEN, PRODUKSJON (NSB, 2000).....	38
TABELL 5 MASSE, TYPE 72.....	58
TABELL 6 TRYKKET I BREMSSESYLINDER KOMMER AN PÅ TRYKKET I BREMSERØRET.....	61
TABELL 7 FEILANALYSE.....	65
TABELL 8 FORBEDRINGER AV CORPRA.....	66
TABELL 9 HASTIGHET OG ENERGIFORBRUK.....	70
TABELL 10 PÅDRAG OG ENERGIFORBRUK.....	72
TABELL 11 MASSENS INNVIRKNING PÅ ENERGIFORBRUKET.....	76
TABELL 12 TID OG HASTIGHET REELLT OG SIMULERT.....	84

1 Innledning

1.1 Omfang

Denne masteroppgaven ble påbegynt 16.1.2006 og avsluttes 12.6.2006. Oppgavens omfang er 30 studiepoeng som tilsvarer 48 belastningstimer i uken. Det er også utarbeidet en forstudierapport, vedlegg H, og en fremdriftrapport pr. 30.3, vedlegg I.

1.2 Problemstilling

NSB arbeider med tiltak for direkte energibesparing, læring av hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens tog kan utvikles. Et simulatoranlegg er bygget for å lære hva som kjennetegner energieffektiv kjøring. Oppgaven rettes mot oppfølging av energiforbruk, med utgangspunkt i erfaringer fra simulatoren.

Kjøreteknikken til lokfører vil være sentralt med hensyn på sparing av energi. NSB har som målsetting og spare ti prosent innen fremføring av tog. Ved hjelp av simulatoren og tilhørende analyseverktøy vil det være mulig å komme frem til hva som vil være den beste kjøreteknikken etter norske kjøreforhold.

For å sikre at resultatene fra simulering stemmer overens med reelle verdier, vil det være sentralt med kvalitetssikring av resultater fra simulator. Oppgaven retter seg mot denne problemstillingen, og er delt i tre deloppgaver:

1. Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller. Et sammendrag av dette skal presenteres.
2. Kvalitetssikring av simuleringsresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Dette kan omfatte både målt energiforbruk og observert kjøreatferd (simulert sammenlignet med observert).
3. Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kan forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i (simulert sammenlignet med forventet).

1.3 Mål og avgrensing

Målet med denne oppgaven er å se på tema kvalitetssikring av resultater fra simulering, med hovedsak innen togdrift og energiforbruk. Simulatoren til NSB vil være sentral med hensyn til måling og analyse. Ved denne oppgaven ble det ikke oppnådd tilstrekkelig med målinger fra det faktiske systemet da det ikke ble installert målere i reelle tog før prosjektets avslutning. Dette gjorde at arbeidet ble noe annerledes enn planlagt, blant annet ble litteraturstudier litt større. Validering og verifisering av simulatorens verdier i forhold til energiforbruk er vektlagt, men med noe mindre omfang.

Arbeidet skal føre frem til en fullstendig ferdig prosjektrapport innen 12.6.2006 til Institutt for Produksjons- og Kvalitetsteknikk. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport, og leveres i 3 eksemplarer (innbundne) til instituttet. I tillegg leveres minst et eksemplar og en elektronisk versjon til henholdsvis veileder og NSB.

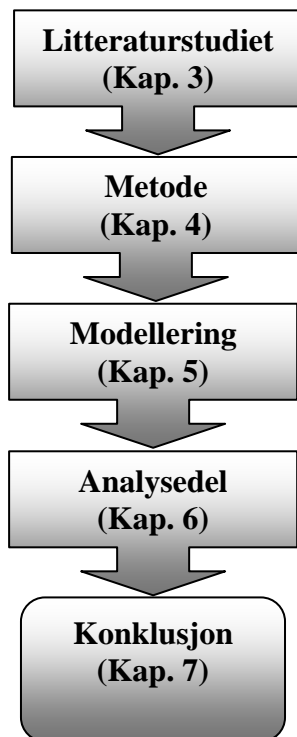
Oppgaven består også av en prosjektstyringsdel, da oppgaven skal gjennomføres som et prosjektarbeid. Målet for denne delen vil være å trekke erfaringer i forhold til prosjektarbeid

og bruk av de verktøy som finnes innen prosjektstyring. Her vil det være viktig å overholde alle milepæler og tidsfrister som er identifisert gjennom forstudiet.

Oppgavens begrensning er først og fremst datagrunnlaget og simuleringstiden. Simuleringene tar lang tid, og det begrenser seg hvor mange simuleringer som kan bli foretatt innen tidsperspektivet som er satt.

1.4 Oppbygging av oppgaven

Figur 1 Oppbygging av oppgaven oppbyggingen av oppgaven. Kapittel 3 tar for seg litteraturstudiet i oppgaven. Denne delen ble noe utvidet da faktiske målinger ikke fant sted. Denne delen legger grunnlaget for analysedelen, sammen med metodekapitlet og modelleringskapitlet. Kapittel fire er metodekapitel som tar for seg de metoder og hvilke verktøy som brukes ved analyse av data ved oppgaven. Modelleringskapitlet i kapittel 5 viser hvordan modellen på Sundland er bygd opp. Kapittel 6 er analysedelen og gjør en verifisering og en mindre validering av simuleringen på bakgrunn av hva som påvirker energiforbruket. Oppgavens konklusjon samt forslag til videre studier blir presentert i et eget kapittel 7.



Figur 1 Oppbygging av oppgaven

2 NSB og simulatorsenteret

2.1.1 Simulatoranlegget

Simulatoranlegget på Sundland i Drammen er en investering gjort av NSB for opplæring av lokførere. Det viktigste momentet for innkjøp av dette er høyningen av sikkerheten. NSB skal være en foregangsbedrift med hensyn på trafikksikkerhet. Et virkemiddel for å bli dette er trening ved å bruke simulator. Holdning og atferd er viktig i forhold til sikkerhet, og ved simulator er det enkelt å vise at overtramp av regler kan gi alvorlige konsekvenser. Det å kunne forklare og overbevise føreren at det som kan oppfattes som enkle og bagatellmessige feilhandlinger, alene eller sammen, kan utløse ulykker vil være meget viktig. NSB skal også bruke simulatoranlegget til å bevisstgjøre og lære lokførerne om energibesparende kjøring.

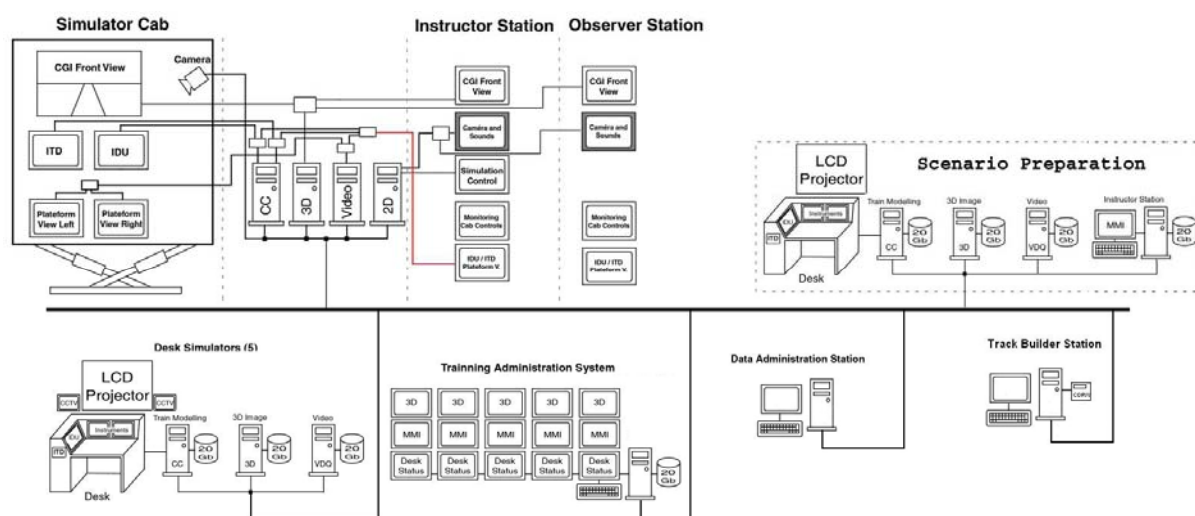
2.1.2 Oversikt

Anlegget inneholder en rekke ulike datamaskiner som utgjør et fullverdig installasjon for kjøretraining av tog. Her følger en oversikt over hva som finnes på anlegget av utstyr og datamaskiner til bruk for opplæring og instruksjon for lokførere.

Det komplette simulatorsystemet består av følgende elementer:

- Fem førerbordsimulatorer
- En fullskalasilimulator
- To instruktørstasjoner, en for hver type simulator
- En SPS (Scenario Preparation Station), som er en arbeidsstasjon for tilrettelegging av scenarier
- En dataadministrasjon (DAS)
- TBT (Track Builder Tool), som gjør det mulig å bygge opp nye datagenererte banestrekninger, og modifisere eksisterende strekninger.

Figur 2 Generell oversikt over simulatorsenteret viser en oversikt over hvordan simulatorsenteret er bygd opp



Figur 2 Generell oversikt over simulatorsenteret (Corys, TRO-CDD 2)

2.1.3 Treningsprosessen

Simulatorsenteret har som nevnt ovenfor 5 desker og en større simulator kalt Replica (fullskalasilulator). Selv om Replica simulatoren og deskene har en viss forskjell, vil treningsprosessen på disse to simulatorene være omtrentlig de samme:

- Både replica simulatoren og desk simulatoren trenger et scenario for å bli kjørt. Disse treningsseksjonene er overvåket av IS (instructor station). På Replica simulatoren er scenarioene valgt av instruktøren, mens ved desk simulatoren kan også studenten velge et scenario selv.
- Når kjøringen er gjennomført vil det bli opprettet en fil og EORR (end of run report) er lagret på DAS (data administration station)
- På DAS kan instruktør (eller andre) analysere filen med CorPra (Post runner analyser)
- På DAS kan også instruktøren se på EORR ved hjelp av Microsoft Internet Explorer.

3 Simuleringsmodeller og kvalitetssikring

I dette kapitlet ses det på hvordan man bygger opp en modell, med tilhørende verifisering og validering av en modell.

3.1 Terminologi

Simulering og modellering er en prosess som har som formål å opprette og eksperimentere med en datastyrt matematisk modell av et fysisk system. Dette innebærer tradisjonelle simuleringer ved hjelp av en vanlig datamaskin, samt *treningssimulatorer*. Forskjellen mellom disse er at tradisjonell simulering blir brukt til å analysere et system og utvikle fremgangsmåter for drifts og/eller ressurs beslutninger, mens treningssimulatorer blir brukt til trening for å bedre individuelle prestasjoner og bedre ens beslutninger innen ulike felt.

I denne oppgaven vil ordet *simulering* både omfatte simulering ved enkel datamaskin og ved treningssimulatorer, også kalt fullskalasilulatorer. *Modellering* beskriver hvordan simuleringen er bygd opp rent teoretisk, men i bunn og grunn er både treningssimulatorer og enkle simuleringer bygd opp på samme grunnlag. Det som skiller disse er teknologi, og som tidligere nevnt bruksområdene.

Begrepet *system* kan beskrives som et objekt eller en prosess, eller en samling av objekter og prosessers egenskaper man vil studere.

3.2 Modeller

En modell av et system er et verktøy som anvendes for å besvare spørsmål om systemet uten å gjennomføre eksperiment direkte på det reelle systemet. Ljung og Glad (2004) har delt opp i ulike modeller:

- Mentale modeller
- Verbale modeller
- Fysiske modeller
- Matematiske modeller

Mentale modeller er hvordan personer danner modeller med bakgrunn i intuisjon og erfaring. For eksempel en operatørs bilde av hvordan en industriell prosess reagerer på ulike inngrep er en mental modell som er utviklet gjennom trening og erfaring.

Verbale modeller er hvordan man med ord beskriver hvordan systemet oppfører seg under ulike betingelser ("lavere hastighet gir mindre energiforbruk"). Det er viktig å skille mentale og verbale modeller. For eksempel bruker man en mental modell av sykkeldynamikken når vi sykler, men det er ikke enkelt å omstette den til en verbal modell.

De modellene som etterligner en modell kan man kalle fysiske modeller. Dette kan være rent fysiske modeller som for eksempel de arkitekter og båtbyggere bruker for å teste systemets estetiske og hydrodynamiske egenskaper.

De modellene som blir tatt utgangspunkt i denne oppgaven er matematiske modeller. Med dette menes en kobling mellom størrelser (fart, avstand, masse etc.) som kan observeres i systemet, angis som matematiske relasjoner i modellen. Det fleste naturlover er matematiske modeller (for systemet "masse" utreder Newtons kraftlov en sammenheng mellom kraft og akselerasjon). Naturlovene kan som regel i teorien være ganske enkle systemer, mens i realiteten kan sammenhengen mellom variablene være betydelig mer komplisert.

Hvis man skal gjennomføre et eksperiment på et system er det store fordeler at man har en modell av systemet tilgjengelig. Man kan da anvende modellen for å beregne eller bestemme hvordan systemet skulle ha oppført seg. Dette kan skje analytisk, det vil si gjennom at man matematisk løser de ligninger som beskriver systemet og studerer løsningens egenskaper, som er typisk ved mekaniske og elektrotekniske modeller. Numeriske eksperiment kan gjøres på modellen, slik at man får simulering. Simulering er altså et billig og ufarlig alternativ til å eksperimentere med systemet. Verdien av simuleringsresultatet kommer på bakgrunn av hvor god kvaliteten av modellen som man har bygd av systemet.

3.3 Utvikle en modell

I dette underkapitlet ses det blant annet på hvordan man utvikler en simuleringsmodell. En simuleringsmodell må utvikles uansett om man skal simulere ved en enkel datamaskin, eller om man simulerer ved en treningssimulator. Det som er viktig med å opprette en god simuleringsmodell er god inndata.

Banks m.fl. (2005) mener at det prinsipielt to måter man kan ta utgangspunkt i ved bygging av en modell. Den ene er en samlet erfaring hos eksperter og litteratur. Innen dette ligger alle naturlover som vitenskapen gjennom tiden har kommet frem til. Den andre er systemet selv. Observasjoner av systemet og eksperiment på systemet er en god måte å få beskrevet dens egenskaper. I likhet med Banks m.fl. (2005) setter Law og Kelton (2000) to grunnprinsipper for konstruksjon av modeller:

- Fysisk modellbygging
- Identifisering

Fysisk modellbygging innebærer og gjenskape systemets egenskaper på delsystemer. For tekniske systemer innebærer dette som regel de naturlover som beskriver delsystemene. Hva som hender når massen og akselerasjonen øker følger av Newtons 2 lov (dynamikkens grunnlov) er et eksempel på dette.

Det andre grunnprinsippet er å gjøre observasjoner fra systemet for å tilpasse modellens egenskaper til systemet. Ofte brukes denne som et komplement til fysisk modellbygging. For tekniske system er naturlovene matematiske modeller som en gang ble basert på

observasjoner av et delsystem. Dermed anvender modeller egentlig det første grunnprinsipp, observasjon av systemet. Men som oftest baseres grunnmodellene på erfaringer.

Det er ikke vanskelig å lage en modell av et system. Det som er vanskelig er å gjøre modellen god og pålitelig. Skal man ha glede av modell må man ha tiltro til de forutsetninger og resultat som den gir. Denne tiltroen skapes gjennom verifisere og validere modellen, og gjøres ved at man sammenligner modellens opptreden med systemet, og evaluerer forskjellen. Dette blir kommentert senere.

Modellen kan brukes til mye. Som tidligere nevnt er simulering en av de mest brukte sider ved modellering. Denne simuleringen kan utvides til fullskalasilulering, eller virtuell virkelighet, slik at man kan simulere ulike miljøer og situasjoner mer detaljert med bilde og lyd. Dataspill og opplæringsituasjoner drar utnytte av denne teknologien. Dette kjennetegnes først og fremst i flysimulatorer og militær taktiske simulatorer, men begynner og bli mer vanlig i bilindustrien, prosessindustrien og andre transportvirksomheter som tog og båt.

Det finnes nesten ingen begrensninger på systemer som kan bli simulert, for eksempel innen produksjon/logistikk/transport er simulering et nyttig verktøy for å optimalisere prosesser. Innen produksjon er bearbeiding, montering, materialflyt og lager de vanligste simuleringalternativene. Innen transportsystemer er ulike operasjoner på flyplass, havner, tog/buss og distribusjon/logistikk de vanligste, og ikke minst treningssimulatorer innen kjøreteknikk og sikkerhet ved hjelp av større simulatorer spesielt innen fly. Treningssimulatorer har vært brukt innen flytrening i lang tid, mens ved tog/buss/bil begynner man etter hvert og se nytten av en slik type trening, som har resultert i at mange av de største togselskapene opererer med simulatoretrening. Ved trening på bil/buss simulatorer brukes det i forskningsøyemed, men i et langsiktig perspektiv vil simulatoretrening inngå i opplæringen (SINTEF – Jørgen Rødseth).

Simulering tar som regel utgangspunkt i et eksisterende system, slik at man kan enkelt endre noen parametere for så å sammenligne resultatene. Slik kan man se om enkle endringer kan forbedre prosessen. Simulering er også ypperlig til å prøve ut helt nye system som ikke er reelle. Her er det viktig å ikke bare å se på resultatet som fremkommer av simuleringen, men også observere simuleringen mens den kjøres. Slik kan man se effekten av det nye systemet. Det viktigste ved slik simulering er kanskje ikke å ta beslutninger på grunnlag av simuleringen, men få en oversikt over systemet for å trene til å ta de riktige beslutningene, som er veldig typisk ved en treningssimulator.

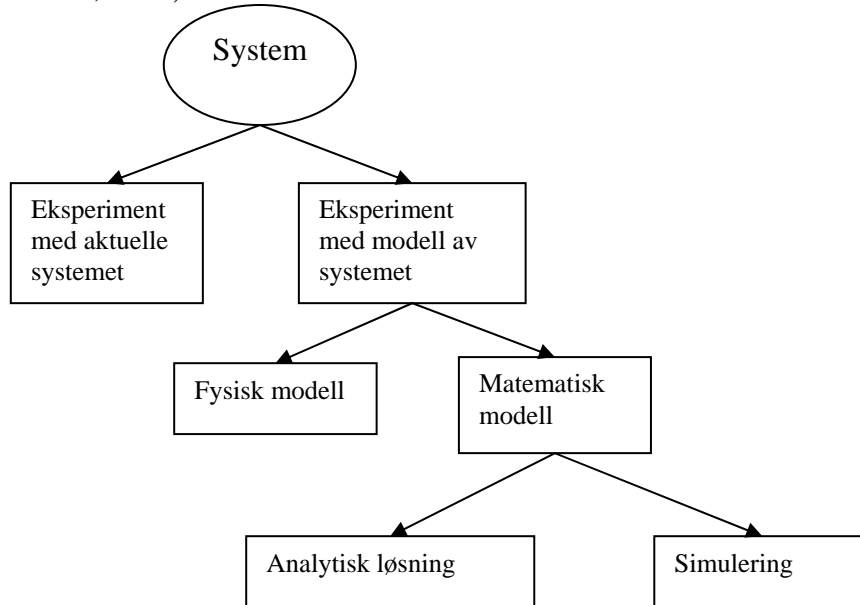
3.4 Modellering og simulering

Et system ble definert som en samling av enheter, f.eks mennesker og maskiner som samhandler mot en felles gjennomføring. Law og Kelton (2000) vil også definere tilstanden til systemet, for å beskrive et system ved en bestemt tid, i forhold til målet med hva som skal studeres. For eksempel i en studie av en bank, kan eksempler på tilstandsvariabler være antall kunder som blir ekspedert eller tiden det tar og bli ekspedert.

Law og Kelton (2000) deler system inn i to forskjellige systemer, diskret og kontinuerlige system. Et diskret system er et system hvor tilstandsvariablene skifter øyeblikkelig på atskilte øyeblikk. En bank kan være et eksempel på et diskret system siden tilstandsvariablene, antall kunder som blir ekspedert, skifter kun når en kunde ankommer eller når han er ferdig betjent. Et kontinuerlig system er et system hvor tilstandsvariablene skifter kontinuerlig. Et fly som flyr gjennom luften er et eksempel på et kontinuerlig system, siden tilstandsvariablene som

fart og posisjon skifter kontinuerlig. Få systemer i praksis er fulle diskret eller full kontinuerlig system, men for de fleste systemer er en av dem dominerende og det vil være mulig å klassifisere systemet enten som diskret eller kontinuerlig.

Det finnes mange måter og studere et system på, Figur 3 Måter og studere et system (Law og Kelton, 2000).



Figur 3 Måter og studere et system (Law og Kelton, 2000)

Eksperimentere med det aktuelle systemet i forhold til å eksperimentere med modell av systemet er eksempel på det. Hvis det er mulig (og kostnadseffektivt) å endre systemet fysisk og la det operere under nye forhold for så og teste det, kan dette være en fordel. Da finnes det i hvert fall ikke tvil om at modellen er validert. Men det er sjeldent praktisk mulig å gjøre det slik fordi et forsøk koster mye, og kan være mer ødeleggende enn oppbyggende. Her vil en modell av systemet være mer fleksibelt og man kan prøve ut mer inngående, men det er viktig at modellen er validert slik at den representerer virkeligheten.

Det finnes to måter og lage en modell: fysisk eller matematisk. Det man kanskje forbinder med ordet modell er en fysisk modell som biler i vindtunnel, store cockpiter, miniatyrbåter i bølgebasseng som noen eksempler. Disse modellene blir brukt som regel innen ingeniørvitenskap. Matematisk modell representerer et system logisk og kvantitativt, for å se hvordan systemet reagerer, hvis modellen er validert. En enkel matematisk modell kan være $S=vt$, hvor S er strekningen som blir kjørt, v er farten og t er tiden som blir brukt. Denne enkle modellen kan være en valid modell hvis forholdene ligger til rette, men er som regel en alt for fattig modell for å beskrive systemers egenskaper.

Når man har laget en matematisk modell, må den undersøkes for å se om den kan besvare de spørsmål som systemet representerer. Da har man et valg mellom å gjøre en analytisk løsning eller en simulering. Hvis modellen er enkel kan det være mulig å arbeide med forhold for å finne en analytisk løsning. I $S=vt$ modellen, kan man ved å vite strekningen og farten jobbe med modellen for å finne $t=S/v$, tiden. Dette er en enkel modell som kan løses med penn og papir. Men noen analytiske løsninger kan være meget kompleks, som krever enorme dataressurser. Store matriser er et velkjent eksempel på en situasjon der en analytisk formel er kjent i prinsippet, men resultatene anskaffes numerisk som er langt ifra trivielt. Hvis en analytisk løsning av en matematisk modell er tilgjengelig, holder dette og det trengs ikke bli

gjennomført en simulering. Men mange systemer er så komplekse at den matematiske løsningen bli vanskelig å validere. Hvis dette forekommer vil simulering være å foretrekke for å finne ut av hvordan systemet oppfører seg.

3.4.1 Typer simulering

Law og Kelton (2000) m.fl deler simulering inn i ulike simuleringsmodeller:

- Statistiske og dynamiske simuleringsmodeller
- Deterministisk eller stokastisk simuleringsmodeller
- Kontinuerlig og diskrete simuleringsmodeller.

En statisk simuleringsmodell er en representasjon av et system på en bestemt tid. Eksempel på statiske simulering er Monte Carlo simulering som er en av de mer kjente simuleringsmodeller. Dynamisk simuleringsmodell representerer et system over tid, som f.eks logistikken i en fabrikk.

Hvis simuleringsmodellen ikke inneholder noen form for tilfeldige komponenter, kan man kalle den deterministisk. En komplisert system av forskjellige ligninger som beskriver en kjemisk reaksjon kan være en slik modell. I en deterministisk modell vil utdataen være fastslått så fort man har all inndata og de samhandlinger som er spesifisert. I en stokastisk modell vil dette være annerledes da man har uregelmessige komponenter og ta hensyn til. Typiske kø og lagersystemer er modellert stokastisk. Stokastisk simuleringsmodeller produserer utdata som er uregelmessig, og må derfor behandles som et estimat.

Kontinuerlig og diskrete simuleringer blir definert likt som kontinuerlig og diskrete systemer. Det skal sies at en diskret modell ikke alltid blir brukt for å beskrive et diskret system og vice versa. Beslutningen for hvilke modell som på systemet kommer an på målet med studien.

3.4.2 Hensikten med simulering

Chung (2003) har satt opp noen punkter som han mener er den største hensikten med simulering:

- Få en oversikt over virksomheten i et system
- Utvikle fremgangsmåter for å forbedre prosesser
- Teste nye konsepter eller systemer før man implementerer dem
- Skaffe informasjon uten å forstyrre det aktuelle systemet.

Noen systemer er så komplekse at det er vanskelig å få oversikt over prosessene og dens samhandling uten en oversiktlig modell, ved simulering. Det vil nesten være umulig å få studert systemet bare ved å observere på det reelle systemet og det er vanskelig i se på individuelle prosesser og operasjoner. Typisk eksempel er å finne flaskehalsen i en produksjon, eller hva som påvirker energiforbruket for tog og hvilke parametere som kan endres til det bedre.

Det finnes også eksempler på at man har et system som man har oversikt over, men trenger forbedringer. For ikke stoppe/forstyrre den allerede eksisterende prosessen for å teste andre muligheter, vil simulering gi ideer om hva som kan forbedre prestasjonen på hele systemet eller en individuell prosess.

Hvis et system ikke eksiterer, og det vurderes å utvikle dette, vil en simuleringsmodell hjelpe til å gi en ide over hvor godt fungerende systemet kan være. Kostnadene ved å utvikle en simuleringsmodell vil være betydelig lavere enn ved å utvikle hele systemet reelt. Effekten av ulike investeringer og oppsett kan vurderes. Simulering før implementering av et system, kan også være til hjelp ved å ”luke ut” unødvendige investeringer. Simuleringsmodellen vil ikke bare være en investering for å vurdere systemet, men kan også brukes til å identifisere eventuelle problemer ved installering og drift.

Simulering er muligens den eneste metoden som finnes for å eksperimentere med et system uten å forstyrre det. Noen systemer er så sensitive og kritiske at det ikke er mulig å endre prosessen for så å måle/analysere om det blir forbedringer. Eksempler på dette kan være sikkerhetsprosedyrer som rett og slett er for farlig å teste ute i det virkelige liv.

3.4.3 Fordeler med simulering

Simulering skjer ved hjelp av datateknologi, derfor vil eksperimentering ta kortere tid enn ved reell gjennomkjøring. Dette er en stor fordel fordi noen prosesser kan ta flere måneder eller år å gjennomføre. Med en simuleringsmodell kan dette gjennomføres på bare noen sekunder. Denne kan også kjøres et utall ganger for å øke påliteligheten til statistiske dataen. Det vil si at ved hjelp av simulering sparer man tid, og man kan oppnå en bedre analyse av systemet.

Før man fikk de dataverktøy som gjorde simulering mulig, måtte analysene gjennomføres med krevende og tungvinte verktøy. Selv da, kunne de bare analysere de enkleste system. Mer komplekse systemer krevde at man hadde stor kunnskap innen matematiske og statistiske metoder. Til sammenligning i dag, hvor man har dataverktøy, kan man ved ulike simuleringsmetoder enkelt få de fleste fagmiljøer til å gjennomføre tester og skru på parametere uten den store dybdekunnskapen. Dessuten ved utvikling av simuleringsmodellen møtes flere fagområder og man får større bredde over hva som faktisk skjer, og nivået på staben blir mer sammensveiset. Det vil si at det er flere nivåer på arbeidstokken som blir med på analyseringen, med ulik bakgrunn, med flere muligheter og mange ulike typer av systemer kan testes som før ikke var mulig. Ved for eksempel NSB sitt simulatorcenter på Sundland er det primært lokfører som er ansatt. Disse har stor forståelse og meninger både med hensyn på opplæring og hvordan fremdriften på et tog vil være. I samarbeid med analyseavdelingen i Oslo, blir det to ulike fagområder som kan ha et godt og produktivt samarbeid. Dette utvider kompetanseområdene, og flere kommer til med ideer og kunnskap.

En annen stor fordel med simulering er animeringen. Animering er nyttfullt både til å feilsøke, og til å demonstrere hvordan modellen opererer. Animert feilsøking gjør det mulig å finne logiske feil og mangler. Bruken av animering ved en presentasjon vil også skape en mer troverdig modell, for å vise samhandling mellom ulike prosesser. Slik kan man se hvordan modellen virker på ulike situasjoner. Animering gjør det også enklere for utenforstående å forstå hvordan den nye modellen virker og funksjonerer slik at flere kan komme med innspill og ideer.

3.4.4 Ulemper med simulering

Ovenfor blir det beskrevet de fordeler som finnes ved simulering, men det finnes også noen ulemper ved simulering. Disse ulempene går ikke direkte på modelleringen og analyseringen av systemet, men på forventningen og troverdigheten ved simuleringen. Både Chung (2002) og Law og Kelton deler de samme synspunkter på hva disse ulempene kan være:

- Simuleringen kan ikke gi nøyaktige resultat hvis inndata er unøyaktig

- Simulering kan ikke gi enkle svar på komplekse systemer
- Simulering løser ikke problemet alene.

Uansett hvor godt modellen er utviklet, hvis man ikke har nøyaktige inndata vil man ikke oppnå nøyaktige utdata. Datainnsamling er ansett som den vanskeligste delen av modelleringsprosessen. På tross av at dette er den viktigste delen er det lett for at denne blir tildelt for lite tid, og modellen blir unøyaktig allerede tidlig i prosessen. Dette kan komme av at de som utvikler modellen synes det er mer spennende å jobbe med modelleringen enn med den ordinære datainnsamlingen. Den enkleste veien blir som oftest valgt, ved at man blir lokket til å akseptere historiske data med tvilsom troverdighet istedenfor å grave seg dypere ned for å finne mer nøyaktig data. Dette kan føre til mislykkete simuleringssprosjekt, derfor er *kvalitetssikring* av data meget viktig.

Det er for enkelt å tro at en simuleringsanalyse gir enkle svar på et komplekst system. Det er mer rimelig å tro at komplekse svar stammer fra komplekse problemer. Hvis det analyserte systemet har mange komponenter med samhandlinger, kan det beste alternativet være å analysere hver komponent individuelt. Denne forenklingen kan føre til mange unøyaktige antagelser, og kritiske elementer kan ignoreres som kan gjøre modelleringen mindre effektiv.

Man kan gå i den fellen å tro at en simuleringsmodell vil løse ethvert problem. Simulering alene løser ikke problemet, selv om den kan komme opp med potensielle løsninger på et problem. Selve implementeringen av forbedringene, som er løst ved simulering, er et ledelsesansvar. Derfor er det viktig at ledelsen er aktiv i simuleringsprosessen, og er kjent med den. Det kan oppstå at det er kommet gode løsninger på et problem fra en simuleringsprosess, men blir dårlig implementert da ledelsen både har problemer med å se løsningen eller implementeringen går for tregt, slik at vinningen går opp i spinningen.

3.4.5 Steg i en simuleringsstudie

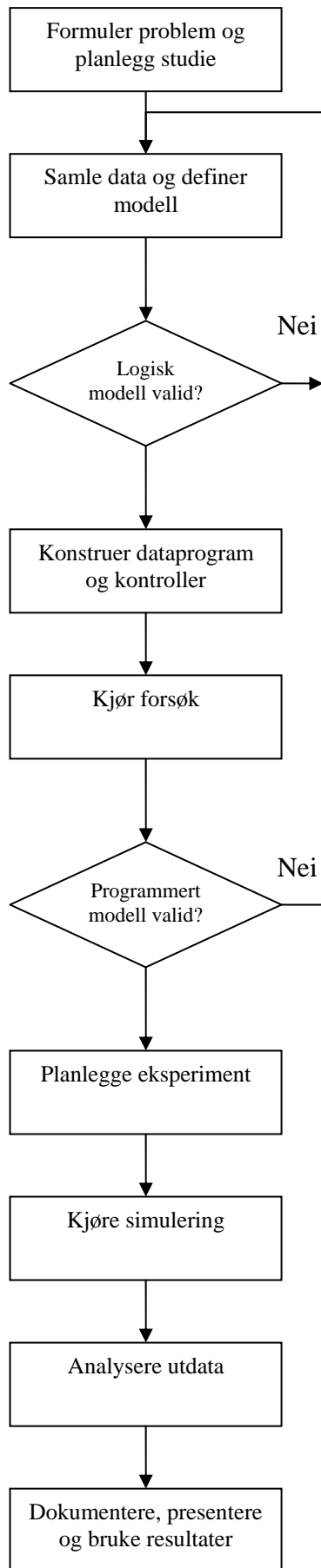
Programmeringen av en modell er kun en liten del av en simuleringsstudie. Statistisk analyse av utdata og prosjektledelse er noen av områdene som bør tas ekstra hensyn til. Banks (2005) har satt opp de steg som man må ta hensyn til i en simuleringsstudie, Figur 4 Steg i en simuleringsstudie (Banks, 2005). Legg merke til at en simuleringsstudie ikke bare er en sekvensert prosess, men at man må ta høyde for at man må gå tilbake til tidligere steg.

Forklaring til modellen:

Det begynner med engasjement fra ledelsen ved at det finnes et behov eller et problem. Man lager gjerne en ekspertgruppe som undersøker forhold rundt problemet og systemet som skal bli analysert. Ting som denne gruppen tar opp er typiske mål med studien, hva skal besvares, prestasjonsmålinger som blir brukt til evaluering av effektivitet, omfang, kostnader, tid programvare osv.

Neste steg er innsamling av data og definisjon av modell. Her er det viktig at man er kjent med systemet som skal bli simulert. Den dokumentasjonen som brukes bør være kvalitetssikret. Hvor detaljert modellen bør være avhenger av mål med prosjektet, prestasjonsmålinger, datatilgjengelighet, troverdighet, programvare, tid og penger. Det bør hele tiden være samhandling mellom ledelsen og utviklerne, slik at det ikke blir noen misforståelser med formålet med prosjektet.

Når man har kommet opp med en logisk modell er det viktig og validere denne. Det er for å sikre at de antagelser som er gjort er riktige og kan støttes, slik at man ikke trenger gå tilbake når programmeringen har begynt og slipper omprogrammering. Hvis ikke man klarer å validere den logiske modellen må man gå tilbake og sjekke innsamlet data og definisjon av modellen.



Figur 4 Steg i en simuleringsstudie (Banks, 2005)

Når den logiske modellen er valid, er det tid for å programmere modellen. Det finnes et utall programmeringsspråk og programmer man kan gjøre dette. Det er heller ikke uvanlig at det er selskaper som er spesialisert på ulike områder og systemer som sitter på en grunnpakke. Feilsøking under programmeringen er et viktig punkt for kvalitetssikring. Når programmeringen er utført, kjøres det forsøk med hensikt for å verifisere modellen. Verifisering er prosessen hvor man sikrer at modellen er programmert slik man vil. Dette vil bli belyst senere i oppgaven.

Neste punkt er å finne ut om modellen er valid. Man har som regel simulert et eksisterende system, slik at man kan sammenligne systemet med simuleringen og undersøke hvor korrekt simuleringen er. Klarer man ikke validere modellen må man gå helt tilbake til datainnsamling og definisjon av modellen og finne ut hvor feilen ligger.

Når modellen er validert kan man begynne å planlegge hvordan man skal eksperimentere med den. Hvor mye man skal gå i dybden, lengden på hver simulering, antall simuleringer er faktorer som er viktig å ha en oversikt over. Simuleringen kjøres og analysing av utdata er neste steg. Her blir det fastslått hvilke prestasjoner som kan forbedres med bakgrunn av simuleringen og sammenligning med systemet. Til slutt må man dokumentere, presentere og bruke resultatene. Ved presentasjon er det viktig å få det frem slik at alle i organisasjonen forstår resultatene uten å være kjent med selve modellen. Resultatene blir brukt i beslutningsprosessen hvis resultat er valid og troverdig.

3.4.6 Andre betraktninger

Det har blitt diskutert noen fordeler og ulemper ved simulering. Men det er også noen andre forhold man bør tenke over ved simulering, både ved oppbygging av en simuleringsmodell og bruk av den.

Tidligere var enkle simuleringer uhyre vanskelig å gjennomføre, da all programmering måtte gjennomføres fra bunn i et tekstredigeringsprogram. Først måtte man lage hele kildekoden, kompilere, for så å kjøre programmet. En liten feil i kildekoden gjorde at man ikke fikk kjørt programmet. Uten gode programmeringskunnskaper var det vanskelig å simulere de krevende systemene. I dag finnes det mange andre muligheter. Datateknikken har utviklet seg mer mot brukervennlige løsninger og bedre brukergrensesnitt. Dette gjør at man kan få selve grunnmuren av simuleringsmodellen i bunn, slik at nesten hvem som helst kan simulere ulike forhold, og det åpnes for alle i en organisasjon kan delta. Likevel kreves det stor kunnskap å bygge grunnmuren, derfor har flere og flere firmaer spesialisert seg innen fagområdet simulering. Dette gjelder innen alle fagfelt som simulering egner seg og hvor det ligger et marked.

Utvikling av simuleringsmodeller tar lang tid og kan derfor være meget kostbart. Selv om man kjøper en ferdigmodell, vil et kompleks system fortsatt kreve mye tid til datainnsamling, modelloppbygging og analysing. Mange modeller kan virke forholdsvis enkle i starten, men når man har begynt modelleringen kan det vise seg at systemet er langt mer kompleks enn det virket i starten. Dette koster både tid og ressurser, noe man må kalkulere med. Sundland har installert hele grunnpakken, med alt utstyr som skal til for å simulere. Dette inneholder softwareløsninger, hardwareløsninger og materiell som gjensker selve togfølelsen ved opplæring. Selv med alt utstyr på plass kreves det mye ressurser for å opprette et nytt scenario. For å opprette en ny og forholdsvis liten simuleringsstrekning må 2 mann regne med 2-3 ukers intensivt arbeid, 1 uke til scenariooppbygging og 1 uke til testing, altså 4-5 ukers arbeid før man kan bruke den nye strekningen i en opplæringssituasjon (Haslestad –

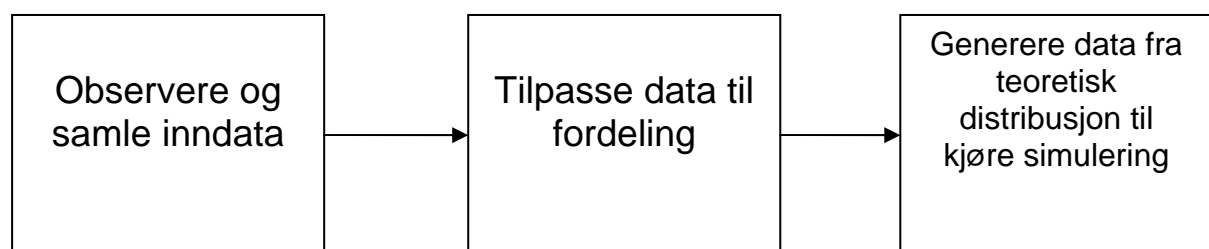
Simulatorsenteret). Dette illustrerer at selv med alt utstyr og software på plass, er det ressurskrevende å opprette nye modeller og scenarier.

Simuleringsresultater må som regel analyseres statistisk. Derfor kreves det kunnskap om statistikk ved sluttanalysingen. Som et minimum bør det kreves at de som er med og tolker simuleringsresultater, bør ha kjennskap til de mest brukte statistiske metoder og fordelinger.

3.5 Inndata og analysering

3.5.1 Innsamling til simulering

Som tidligere nevnt er det ved modellering viktig med gode inndata. Dette innebærer innsamling av inndata, analysering av inndata, og bruken av analyseringen og inndataen i simuleringsmodellen. Inndataen stammer typisk fra historiske arkiver, beregninger og observasjoner.



Figur 5 Statistisk modellering (chung, 2005)

Som Figur 5 viser ser man at man begynner med innsamling og observering av hva og hvilke inndata som er sentrale. En modell lages som regel fra enten dynamiske beregninger (flysimulatorer, togsimulatorer osv) eller fra ulike statistiske fordelinger (logistikk, produksjon osv.). Så hvorfor er det viktig å tilpasse dataene en viss fordeling? Som regel er det slik at man ikke har kontinuerlige målinger, men stikkprøver, derfor vil ikke alle data som faktisk eksisterer i systemet bli oppdaget. Så for å få en realistisk situasjon er det mest hensiktsmessig å tilpasse målingene en eller annen fordeling.

Analyseringen involverer identifikasjon av hvilke teoretiske fordelinger som representerer inndataen. Videre spesifiserer man den teoretiske fordelingen slik at inndataen i simulatoren blir representert av en programkode, slik at det kan simuleres. Dette kan linkes opp mot lyd og grafikk slik at simuleringen blir animert.

Innsamling av inndata kan ses på som en av de mest krevende prosesser ved modellering. Dette er mye på grunn av at mye av denne innsamlingen faller utenfor modellerers område, uansett om det er historiske data eller innsamling i sanntid av data. Hvordan man løser dette diskuteres videre i kapitlet.

3.5.2 Kilder for datainnsamling

Det er mange kilder man kan oppsøke for å finne de inndataene som man trenger ved en modellering. Disse kan være historiske, anekdotiske eller være observert. Selv om det aktuelle systemet av modellen ikke eksisterer vil det være mulig å finne data fra andre kilder. Kilder som er tilgjengelig, men begrenset, kan være historiske, data fra fabrikant, data fra leverandør, estimater fra operatører, estimater fra ledelsen, automatisk datainnsamling og direkte observasjon.

Hvis det systemet som skal modelleres har eksistert over en lang periode er det som regel en del data som allerede er samlet inn som kan brukes. Risikoen ved å bruke slik data er at den er historisk og vil dermed ikke være helt nøyaktig med det nåværende system (husk: system er som regel dynamisk, og endrer seg hele tiden). Dette kan skape fremtidige problemer. En annen risiko er at denne dataen ikke er samlet inn på bakgrunn av å modellere systemet. Med dette menes at den dataen man trenger ikke er tilgjengelig, slik at man ikke oppdager dette før valideringsfasen av modellen. Da er det som regel umulig å gå tilbake for å modellere modellen riktig med korrekte inndata.

En av de mest velkjente kildene til pålitelige inndata er å gå direkte til fabrikkører og leverandører. Her finnes det som regel en masse teoretisk tilgjengelig spesifikasjoner for ulikt utstyr med mer. Hvor gode disse spesifikasjonene er, blir opp til modellerer å avgjøre. Leverandører har som regel god kunnskap og erfaring både med utstyret som blir levert og systemet de skal operere innunder. Etter hvert har det også blitt mer og mer vanlig at leverandøren har simulert sitt utstyr for å påvise dens egenskaper og fordeler.

Operatører har som regel stor kjennskap til systemet og dens egenskaper. Dette er en kilde man bør utnytte ved innsamling av data, enten ved at operatøren har samlet inn data, kan samle inn data eller kjenner systemet så godt at en kan svare ut fra erfaring.

Ledelsen vil også være en kilde som sitter på mye data. Disse sitter på mye kunnskap, men har kanskje ikke det samme direkte forholdet til systemet.

Automatisk datainnsamling er den mest effektive måten å få tak i god statistisk inndata. Slik overvåking gir store mengder data, som gir et godt grunnlag. En annen måte er direkte observasjon av systemet, hvor man fysisk går og måler/leser av og samler inn data. Dette er en jobb som tar tid, og utvalget av data begrenses både av den som måler og antall målinger som blir logget.

3.5.3 Innsamling av data

Ovenfor er det diskutert kilder for innsamling av data ved utvikling av en modell og kommet frem til at det beste datamaterialet er observerte originale data direkte fra systemet. I dette avsnittet diskuteres mekanismen ved samle inn originale data.

Hvis inndataen er samlet inn i nåtid, samles den enten inn manuelt eller ved assistanse av elektroniske komponenter som logger data. Hvis dataen blir samlet inn manuelt er det viktig at man har et system på innsamlingen slik at all den dataen man samler inn blir godt organisert. Har man derimot elektroniske hjelpemidler vil denne jobben bli enklere å organisere. Man kan også bruke filmkamera til å filme systemet, både for å samle inn data og bli kjent med systemet. En film kan man se om igjen, og det vil da være mulig å observere ting som man kanskje gikk glipp av første gangen.

Ved innsamling av større mengder data er det viktig at dataen blir samlet inn i samme tidsintervall. Hvis ikke dette blir gjort kan det oppstå mye ekstraarbeid å konvertere datamaterialet tilbake til samme tidsenheter.

Man bør også være diskret ved innsamling av data, slik at man ikke påvirker selve systemet. For eksempel kan arbeidere bli påvirket når man samler inn data, enten at arbeiderne blir stresset, gjør arbeidet bedre og kan også få et uheldig utfall ved at prosessen blir sløvere. Dette kan føre til at det datamaterialet man samler inn, ikke gjenspeiler det aktuelle systemet i

den daglige driften. Det bør være en åpenhet ovenfor arbeiderne hvorfor man samler inn data, slik at det ikke blir noen misforståelser.

Et annen mål for den som samler inn data er å ikke forstyrre systemets egenskaper og dens prosesser i noen grad.

3.6 Verifikasjon

Den som utøver simuleringen er selvfølgelig interessert i å sikre seg at simuleringsmodellen har alle de nødvendige komponentene, og at den kan kjøres slik man vil. Man er interessert å sikre at modellen opererer slik som er tiltenkt. Denne prosessen kalles verifikasjon, altså å bygge modellen slik at den kan brukes til det den er tiltenkt, programmert riktig. Forskjellen mellom verifikasjon og validering er at verifikasjon er å bygge modellen slik den er tiltenkt mens validering er prosessen hvor man sikrer at modellen representerer virkeligheten. Det vil være unødvendig å sjekke om modellen representerer virkeligheten, hvis den ikke gjør det som er tiltenkt. Man trenger altså ikke validere en modell, som ikke har gjennomgått verifikasjonsprosessen. Validering blir omtalt senere i oppgaven.

Modellverifikasjonene må altså være fullstendig korrekt, og må innholde alle de komponentene som ble spesifisert under definisjonsfasen av simuleringen. Den må også kunne kjøres uten noen som helst feil eller advarsler, altså feilfri simulering. For å sikre at simuleringen skjer feilfritt kan man benytte teknikker som observering ved animasjon og/eller få skrevet ut utdata fra simuleringen.

3.6.1 Animering

Lawrence & Haas (2003) mener at animering er det mest effektive verktøy for å bedre verifikasjonen. Har man mulighet til å visualisere hva programmet utfører, gjør det enklere å oppdage feil i selve programmet. Animering kan bli brukt som verifisering på mange ulike måter:

Man kan følge en prosess eller se en helhet gjennom hele simuleringen. Dette kan hjelpe til å observere at de ulike enhetene kommer på de riktige stedene. For eksempel ved en enkel togsimulering bruker man ulike symboler på godstog og passasjertog for å finne ut hvem som har høyest prioritet i forhold til rutetider og strekning. Ved simulering av produksjon kan det være gunstig å følge en produksjon, for å finne ut hvor det oppstår kø og blir overlesset.

3.6.2 Symboler

Det er også gunstig at enhetene skifter symboler etter hvert som prosessen går fremover. For eksempel kan man ha et symbol for signalanlegget på en togstrekning, symbolet må skifte farge ettersom det er rødt, gult eller grønt. Samme i en produksjon, hvor noe blir bearbeidet, bør symbolene være ulike før og etter bearbeidingen. Hvis det viser seg at modellen kjøres videre uten at disse symbolene skifter form/farge er det åpenbart at simuleringen er feil.

En effektiv hjelpemiddel for å fastslå hva som skjer med de ulike ressursene i en simulering er å skifte symbol med bakgrunn av ressurstilgangen. For eksempel en produksjonsmaskin kan ha ulike tilstander som tomgang, opptatt, uvirksom og svikt. Alle disse fire bør ha ulike symboler slik at man hele tiden ser hvordan tilstanden til maskinen er og det ikke blir noen forvirring under simuleringen. Her er også farger en mye brukt metode, med typisk grønn som ledig, rød som opptatt og for eksempel svart som svikt. Her er det viktig at samme farge blir brukt gjennom hele simuleringsmodellen.

3.6.3 dataverdier

En annen vel brukt metode er å få tallmateriale kontinuerlig, eller snittverdier, ut digitalt på skjermen. Kontinuerlig dataverdier ut på skjerm er nyttig for å se mangfoldet imot verdier som befinner seg i ulike deler av modellen. Det vil si at hver gang en enhet kommer til et punkt (eller handling skjer) får man en respons på tallmaterialet. Får man ikke den responsen som var forventet, må man gå inn å sjekke logikken på modellen. Ved for eksempel beregning av energiforbruk på tog, kan man simulere energiforbruket gjennom en hel strekning. Energiforbruket vises digitalt på skjermen, f.eks hvert 5 sekund, og det vises om responsen på tallmaterialet er slik det forventes. Gir ikke tallmaterialet det som forventes må man gå inn i modellen å sjekke logikken, eventuelt omprogrammere modellen.

Grafisk fremstilling av verdier er en annen metode for å sjekke logikken og trender ved simulering. Dette gir et oversiktlig bilde av forhold, som for eksempel en grafisk fremstilling av energiforbruk og fart.

3.6.4 Utdata

Den kanskje mest brukte måten på å verifisere modellen er å få utdata på fil som lagret data, eller som kan brukes til etterbehandling. Dette gjelder både tallmaterialer, snittverdier og grafiske fremstillinger, som gir et permanent dokument til videre eller grundigere arbeid.

3.6.5 Verifikasjon oppsummering

Verifikasjon er en prosess for å sikre at simuleringsmodellen opererer som tiltenkt. Med det menes at modelloppbyggingen inkluderer alle de komponenter som gjør at simuleringen kan kjøres. Verifikasjon bør ses på som en kontinuerlig prosess, da det er hensiktsmessig å hele tiden utvikle og feilsøke på modellen. Den som kjører modellen drar god nytte av animering, siden dette illustrerer veldig godt trender og utvikling over tid. Det er også en fordel å få skrevet ut data til en fil eller som et bilde for å kunne arbeide mer grundig med analyse og feilsøking.

3.7 Validering

En modell kan først brukes når påliteligheten er testet og fastsatt. Man bør ikke ukritisk bruke simuleringsresultater fra en utestet modell. Dette kan forvirre og gi et feil bilde av virkeligheten. Da simulering er en "vitenskapelige metode" for å frembringe resultater, må modellen være testet og validert. En modell vil aldri være en sann beskrivelse av et system, derfor kreves det ikke at modellen skal være "eksakt" eller hundre prosent "korrekt". Modellen er utviklet for at den skal være til hjelp for å løse et problem eller øke forståelsen av et system. Ljung og Glad (2004) bruker Ptolemeios modell av solsystemet (150 ekr) for å illustrere dette. Denne modellen plasserte jorden i sentrum og solen, månen og planetene i et komplisert system av sirkel- og ellipse baner. Modellens formål var å kunne beregne fremtidens planetbevegelser og solformørkelser. Dette klarte de ved hjelp av denne modellen med imponerende nøyaktighet. Ptolemeios modell av systemet er altså validert, til tross for at den er feil.

3.7.1 Valideringsperspektiv

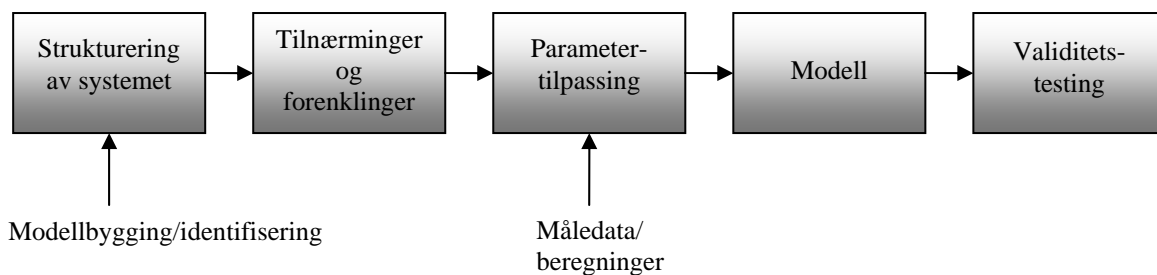
Begrepsmessig kan man si at når en modell er validert, kan man si at modellen kan bli brukt til avgjørelser omkring systemet, uten å forstyrre systemet. Det som kan være ubehagelig med valideringsprosessen på bakgrunn av kompleksiteten av systemet som er modellert, er om systemet som er modellert faktisk eksisterer eller kan eksistere. For eksempel kan en fortidmodell være vrien å validere da man ikke vet fremtidens metoder og prosesser. Banks

(2005) mener at en simuleringsmodell av et kompleks system bare kan være et anslag av det aktuelle systemet, uansett hvor mye arbeid som er lagt i modellbyggingen. Det finnes altså ingenting som heter ”absolutt validering”. Jo mer tid og penger som blir brukt på modellutviklingen, jo bedre burde valideringen være, men det finnes unntak. For eksempel kan økning av validiteten av modellen til et visst nivå være meget kostbart, og ikke være en fordel i forhold til kostnad/nytte eller øke innsynet i forhold til de beslutninger som skal tas.

En modell bør bli utviklet for kun et formål, det vil si at en modell som er validert for et formål ikke er validert for et annet. Validering er en prosess som blir forsøkt etter at modellen er utviklet. Her er det viktig at det er satt av tid og penger til valideringsprosessen. Dette er noe som ikke blir prioritert, men som er noe av det viktigste ved modellering og simulering (Banks, 2005).

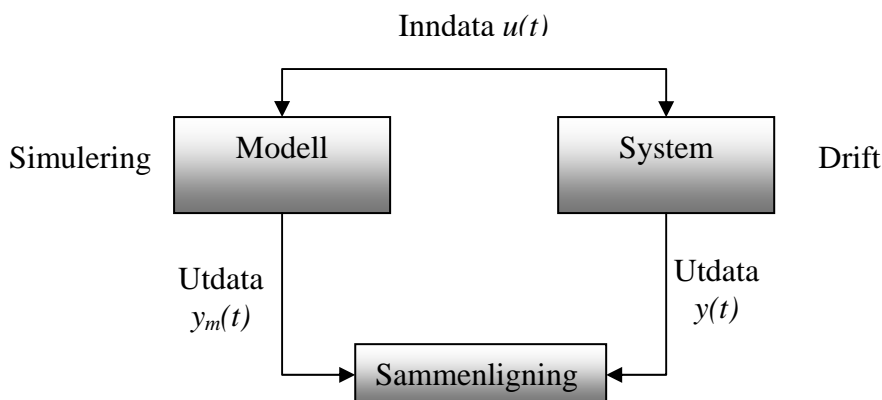
3.7.2 Modellvalideringsprosedyre

Å fastslå om en modell har den ønskede egenskap kan man kalle modellvalidering. Prosedyren innebærer blant annet at man kritisk gransker stegene i modellen, å kanskje forkaste og forbedre deler av den.



Figur 6 Modellvalideringsprosedyre (Ljung og Glad, 2004)

Modellvalidering er altså sterkt tilknyttet til modelloppbyggingen, se Figur 6 Modellvalideringsprosedyre (Ljung og Glad, 2004). I enden av figuren ser man validitetstesting. Dette tar utgangspunkt i at man sammenligner utdata fra modellen og det reelle systemet. Her er det viktig at inndataen har tatt utgangspunkt i samme verdier, se Figur 7 Test av validiteten (Ljung og Glad, 2004. Skillet mellom disse skal være så lite som mulig. Hva som menes med ”lite som mulig” er avhengig av hva som påvirker modellen og hva som er målet med den.



Figur 7 Test av validiteten (Ljung og Glad, 2004 og Chung, 2003 m.fl)

Når man har satt sammen modellen til et totalt system, har man mulighet til å evaluere ulike modelltilnærminger og ulike parameters innvirkning. Man kan endre tilnærmingene i et delsystem og teste hvor mye utdataen endres. Er forskjellene store bør man legge mer arbeid i denne delen. Slik kan man finne ut hvor gode de ulike parameteren er, og om tilnærmingene er slik som forventet.

3.7.3 Valideringsbehov

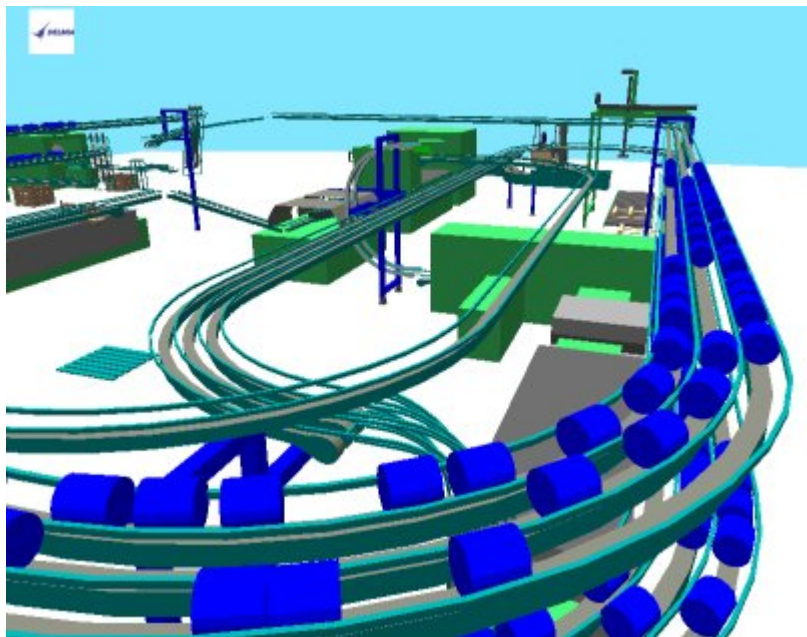
De antagelser som blir gjort kan ikke være så grove at de hindrer modellen fra å representere virkeligheten på et minimumsnivå. Hvis det viser seg at noen av disse begrensingene gjør det umulig for modellen å gjenskape virkeligheten, vil det være et stort problem. Valideringsprosessen bistår om det er hensiktsmessig og fortsette simuleringsarbeidet, eller gå tilbake til feilsøking og bedre modelleringen. Hvis man må gå tilbake og rette opp feil ved modellen, gir valideringsprosessen liten hjelp til hvor man skal begynne feilsøke.

Law og Kelton (2005) mener det finnes to typer valideringer for en simuleringsmodell. Den første er fasadevalidering. Fasadevalidering vil si at modellen representerer virkeligheten utad, altså animert fremstilling av prosessen stemmer overens med virkeligheten. Den andre er statistisk validering. Statistisk validering er en kvantitativ sammenligning mellom utdata fra det virkelige systemet mot den simulerte modellen. Begge disse to typene av validering bør være tilfredsstillt.

3.7.3.1 Fasadevalidering

Fasadevalidering krever normalt kyndig faghjelp. De bør ha kunnskap om systemet som blir modellert, og kunnskap om animering. Det vanligste er å gjennomføre fasadevalideringen mot slutten av modellutviklingen. Den vanligste feilen ved fasadevalidering er at den kun gjøres en gang, og stopper der. Fasadevalideringen bør være en kontinuerlig prosess fordi typiske systemer er dynamiske og endres hele tiden.

Det som er viktig ved fasadevalidering er at animeringen har en tilstrekkelig troskap mot virkeligheten. Med dette menes det ikke at animeringen skal være en eksakt kopi av virkeligheten, men at oversiktbilde er likt og prosessene er der de er i virkeligheten. Ved for eksempel togsimulering er det viktig at overganger, signaler, stasjoner osv. er plassert slik som det er i virkeligheten. Den viktigste oppgaven ved animeringen er å få prosessene frem på en riktig måte, og ikke konsentrere seg for mye om riktig skalering.



Figur 8 eksempel på animert produksjon (Sheffield University)

Fasadevalidering er til en viss grad en subjektiv prosess. Nivået på kunnskapen kan være varierende, noe også interessen og forståelsen kan være. Fasadevalidering er en nødvendighet for en god og gjennomført simuleringsmodell, men alene er det utilstrekkelig som en helhets validering. Modellen kan se ut og oppføre seg som om det skulle vært en kopi av virkeligheten, men vil bli feil uten en statistisk validering.

3.7.3.2 Statistisk validering

Statistisk validering innebærer en objektiv og kvantitativ sammenligning mellom det reelle systemet og simuleringsmodellen. Hvis det ikke finnes noen statistiske forskjeller mellom datasettene, er modellene validert. Hvis det er forskjell mellom datasettene, er ikke modellen validert og man må jobbe mer med modellen og videre analyse bør foretas.

Chung (2003) mener det er to måter å validere statistisk, validering av datainnsamlingen og dataanalyseprosessen.

Datainnsamling innebærer å samle data både fra det reelle system og simuleringsmodellen som skal representere systemet. Disse dataene kan enten bli basert på individuelle målinger som til sammen vil gi et statistisk grunnlag, eller sammensatte gjennomsnittresultater fra målinger på hele systemet. Ved individuelle målinger trengs det færre resultater enn ved sammensatte målinger da individuelle målinger vil være mer nøyaktig og spesifisert. Ved for eksempel måling av energiforbruk på tog, vil individuelle målinger på hvert tog kontinuerlig langs linjen gi ett bedre statistisk grunnlag av energiforbruket enn ved et gjennomsnitt av energiforbruk innen et tidsrom av kjøring.

Datainnsamling fra hele systemet innebærer at man får ut data fra hele systemet som en helhet, det måler hele prestasjonen til systemet. Man kan også gjøre individuelle målinger direkte på ulike enheter innen systemet. Slike målinger kan gjøres hele tiden, uten at det tar alt for langt tid, og det trengs ikke mer enn ca 30 målinger for å gjennomføre en sammenligning med simuleringen.

En viktig del av datainnsamling er å få dokumentert dataene. Det vil si at tilstanden til hver ressurs må overvåkes og oppfølges kontinuerlig, slik at man får ut de riktige dataene sammenlignet med modellen.

Når man samler inn data fra modellen må dette være de samme utdata som man samler fra systemet. Dermed må modellen være så lik systemet som overhodet mulig. Her er det viktig at all inndata er nøyte kalkulert. Observasjoner på systemet er en viktig del av dette, for så å overføre dette til modellen.

Dataanalyseprosessen består av å sammenligne den eksakte statistiske fordelingen av data, både fra reelt og simulert. Dette er for å finne ut om de hører til samme fordeling, noe som er et krav for statistisk validering.

Denne oppgaven vil ikke gå mer spesifikt inn på de ulike statistiske metodene som brukes for å statistisk validere en modell.

3.7.3.3 Hva om modellen ikke kan bli statistisk validert

En sjelden gang hender det at modellen ikke kan bli statistisk validert. Dette er fullt mulig, selv om modellen er fasadevalidert. Chung m.fl (2003) mener det er mange ulike årsaker at for at modellen ikke kan bli statistisk validert. Dette kan være:

- Ikke stasjonære system
- Dårlig inndata
- Uheldige antagelser
- Svak modellering

System kan være ”ikke stasjonære”, såkalt dynamiske systemer som forandrer seg hele tiden. Det vil si at et system den ene dagen ikke er det samme den neste. Dette gjør det vanskelig å validere modellen. De to eneste måtene man kan validere slike system er enten å se trender over lang tid, eller validere i sanntid. Dette er meget usikker og vanskelig validering.

Dårlig inndata er en meget typisk feil som oppstår ved validering. Det er mange ganger for enkelt å basere en modell på historiske data som man har liggende fra systemet. Disse kan være unøyaktig, og ikke stemme overens med dagens system.

De fleste simuleringsmodeller er basert på statistiske analyser av det aktuelle systemet. Det er umulig å få 100 prosent nøyaktig kopi av systemet og derfor må det gjøres en del antagelser. Mange ganger gjøres disse antagelsene for å korte ned tiden på utviklingen av modellen, eller systemet er for komplekst. Disse antagelsene kan få uheldige utfall for valideringsprosessen, og det kan bli vanskelig å få gjennomført en statistisk validering.

Svak modellering er en åpenbar mulighet når valideringen er vanskelig. Dette kan komme av kompetansen til de som har utviklet modellen eller at deler er utelatt fra systemet i modellen. Det er viktig at de som utvikler modellen har god tid, og er interessert til å utvikle en god modell. Eierfølelsen til de som jobber med slikt er viktig, slik at det ikke blir slurvet og modelleringen blir hundre prosent gjennomført.

3.7.4 Klassifisering av valideringsområder

Ved utvikling av en modell er det mange faktorer man må ta hensyn til når modellen skal valideres. Kaarstad (2004) har satt opp fire nivåer for validering:

- Nivå 0: baseline
- Nivå 1: aksept og tilfredshet
- Nivå 2: fordeler relatert til prosessene
- Nivå 3: fordeler relatert til systemets samspill

Nivå 0 representerer designfasen. Man kan si at man har en klassisk teknologisk tilnærming der designer validerer egne løsninger. Valideringskriteriene er basert på designers kunnskap om de mekaniske og tekniske aspekter ved systemet. Designeren tar også hensyn til de operasjonelle karakteristika ved systemet og menneskelige begrensninger og evner.

Det neste nivået tar hensyn til aksept og tilfredsstillelse av designløsninger. Med dette menes at man er aktiv med på designfasen av modellen og er med på å finne ut under hvilke betingelser det nye designet er akseptabelt. Her er det viktig å tenke hvordan designet er i forhold til å møte behov med hensyn til brukervennlighet, prestasjon og tilfredsstillelse.

Nivå 2 er skal gi en vitenskapelig støtte om prosessen svekkes eller fremmes av modellen. Her kjører man simuleringer på modellen, og ved hjelp av testing og systematisk analyse på de ulike prosessene, finne ut om de ulike prestasjonseffekter i forhold til det reelle systemet.

Siste nivå validerer hele modellen som en helhet med typisk med statistisk analyse. Man sammenligner altså hele modellen med det reelle systemet.

Er nivå 2 og 3 tilfredstilt er modellen validert.

3.7.5 Validitetsområder

Alle modeller har et begrenset validitetsområder. De relaterer seg kanskje til systemets egenskaper rundt et visst arbeidsoppgaver, eller har visse nøyaktighetsbegrensninger. Ljung og Glad (2004) mener det er vanskelig å anvende en modell utenfor det området som hvor den valideres. På den andre siden kan en modell valideres bare innom det området som systemet selv tillater å arbeide i. For eksempel en modell av en kjernereaktor kan ikke uten videre valideres for bruk under katastrofebetingelser, da formålet med modellen ofte er hvordan den brukes omkring arbeidsoppgaver og sikkerhetsprosedyrer.

Men noen ganger kommer man ikke utenom å bruke en modell utenfor valideringsområdene. Dette stiller store krav til modellen, slik at man har intuitiv tiltro til den. Det er vanlig å nevne modellens troverdighet, ved siden av validitet. Det er viktig å legge merke til at en troverdig modell ikke er en validert modell og omvendt. Hvordan man bygger troverdige modeller og ikke bare valide modeller er et problem som ligger nært vitenskapsfilosofiens kjerne. Hvis man går tilbake til solsystemeksempelet fra Ptolemeios modell for planeter, har denne modellen en høy grad av validitet. Tidligere, når den ble utviklet, var den meget troverdig da den har et stort validitetsområde, inneholder et fåtalls numeriske parametere og den trenger ikke justeres for å beskrive nye planeters bevegelser. Law og Kelton (2000) har satt opp noen punkter for å øke troverdigheten til modellen:

- Ledelsen må ha forståelse og ha en overensstemmelse med modellens antagelser
- Påvisning at modellen er validert og verifisert
- Ledelsen bør ha et eierskap og være involvert i prosjektet
- Anseende modellutviklere

The U.S. Department of Defense (DoD) er en aktør som bruker simuleringsmodellering i stor grad. De siste årene har de vist større og større interesse for verifisering, validering og et konsept som blir kalt akkreditering (godkjenning, "Accreditation"). Akkreditering er en offisiell avgjørelse at en simuleringsmodell er akseptert for et særskilt område. To grunner for at man bruker en slik godkjenning er at mange simuleringsstudier er laget til andre formål enn det som den brukes til, og at man har en kvalitetssikring for å unngå dette. En typisk akkreditering bør inneholde:

- En verifikasjon og validering av modellen
- Dokumentasjon på hele modellutvikling og brukerhistorie
- All data tilgjengelig med god kvalitet på dokumentasjonen
- At man kjenner til og har dokumentert begrensninger og problemer ved modellen.

3.7.6 Teknikker for øke modellvaliditet og troverdighet

I dette avsnitte skal det ses på noen teknikker for å øke validiteten og troverdigheten av en simuleringsmodell.

De som modellerer en simuleringsmodell må være kjent med systemet og ha en åpen dialog med de som skal bruke modellen. En programmerer, som har et ekspertområde innen programmering, men har som regel liten kjennskap til systemet. Her vil det være viktig med god dialog. Datainnsamlingen vil som regel foregå fra flere hold og man må ha en oversikt over disse. Hvis man for eksempel skal simulere en fabrikk, skaffer man data fra maskinoperatører, leverandør av maskinene, ulike målinger som blir gjort av vedlikeholds/prosess/produksjonsingeniører, ledere, andre leverandører, plantegninger osv. Systemet kan altså allerede ha blitt observert ved at man har mye data liggende som kan brukes. Her er det viktig for modellere forstår prosessen.

Ledelsen må delta aktivt gjennom simuleringsstudie. Dette fordi når en simuleringsstudiet er i gang, vet man kanskje ikke helt hvordan problemet skal løses. Etter hvert som man kommer lengre i prosjektet blir ting klarere og mer forståelig, og ledelsen spiller en stor rolle for hvilke retning modellen går. Modellen blir neppe validert og troverdig hvis man ikke har ledelsens engasjement, som forstår og aksepterer modellen.

Som tidligere nevnt er den mest definitive test av simuleringsmodells validitet å sammenligne utdata fra simuleringen med utdata fra systemet, se Figur 7 Test av validiteten (Ljung og Glad, 2004). Hvis disse to er like hverandre vil modellen være valid. Nøyaktigheten som kreves fra modellen vil avhenge av påtenkt bruk eller hva ledelsen synes er bra nok. Modellen er da modifisert så den kan representere systemet.

Noen ledere ser det som en tabbe å først bygge en modell av et eksisterende system, siden det kan virke som det er sløsing av tid og penger da man allerede har systemet å observere. Men er ikke modellen validert, kan man uansett forkaste resultater uansett hvor lite tid og hvor mye modellen har kostet. Da vil det uansett være nytteløst med en modell av systemet. Så hvorfor skal man bygge en modell av et eksisterende system? Jo, en modell av et eksisterende system kan komme opp med forbedringer av systemet. Dette med bakgrunn av at man må sammenligne nåværende system med et foreslått system. Her vil en modell både være kostnad og tidseffektivt for å komme opp med forbedringer.

Det finnes et utall av statistiske tester på hvordan man skal validere en modell for sammenligning av utdata fra en simuleringsmodell med det virkelige systemet. Man bruker

som regel de mest klassiske statistiske testene for å fastslå om fordelingene av de to datasettene er de samme. Men sammenligningen trenger ikke være så enkel som det høres ut, siden utdata fra det virkelige system og simulering er ikke stasjonære, det vil si at fordelingen av observasjonene endrer seg over tid. Derfor er ingen av testene direkte gjeldende.

I tillegg til statistiske prosedyrer, kan man bruke den såkalte "Turing test" (Carson, 1986), for å sammenligne utdata fra modellen og systemet. Den går ut på at de med kunnskap om systemet blir satt til å evaluere datasett fra både modellen og systemet uten å vite hvilke som er hvilke. Hvert datasett blir presentert på samme måte. Hvis man kan skille mellom disse to datasettene, vil forklaringen på hvordan dette ble gjort, forbedre modellen.

3.7.7 Ledelsens rolle i en simuleringsprosess

Ledelsens rolle i en simuleringsprosess er tidligere nevnt, men er så viktig at det er valgt å ha med et eget avsnitt rundt tema. Ledelsen av selve systemet må ha en grunnleggende forståelse av simulering og være oppmerksom at en suksessfull simuleringsstudie krever et engasjement av ledelsens tid og ressurser. Noe av ledelsens ansvar vil være (Law og Kelton, 2000):

- Formulere problemmål
- Styring av personell for å skaffe informasjon og data til simuleringsmodellereren og ledsage disse igjennom prosessen
- Regelmessig samhandling mellom ledelse og modellerer
- Bruke simuleringsresultater som en bistand i beslutningsprosesser.

Simuleringsstudier krever at tekniske personell i en organisasjon er blitt brukt til dette formål i en periode. Hvis studien blir gjort innen organisasjonen, burde en del personell være i full jobb kun med denne simuleringsstudien, både med hensyn på innsamling av data og tekniske analyser. Dette innebærer at alle er engasjert, fra arbeideren til ledelsen.

3.7.8 Unøyaktigheter

Ovenfor er det blitt forklart at validering er prosessen som sikrer at modellen representerer virkeligheten på en fornuftig måte. Men selv med nøye beregninger og god statistikk er det langt ifra sikkert at modellen representerer virkeligheten. Dette kan komme av så mangt (Law og Kelton 2005, Balci, 1996, Carson, 1987 m.fl.):

- Antagelser
- Forenklinger
- Uoppmerksomhet
- Begrensninger

3.7.8.1 Antagelser

Ved oppbygging av en modell vil man alltid støte på situasjoner hvor det må gjøres antagelser. Disse antagelsene kommer som regel av at man har mangel på kunnskap, hvor man modellerer et system som ikke finnes eller prosessen ikke kan observeres. Disse antagelsene må tas med forbehold for de ulike systemkomponentene, samhandling mellom disse og inndata. Man får gjerne slike data fra leverandører og man *antar* gjerne at disse er rette. Dette kan være ved ulike maskiner, eller større komponenter som tog, som vil være vanskelig å finne ut av selv. Derfor går man gjerne god for de data som kommer fra leverandøren. Det er også vanlig å sammenligne seg selv med andre som har bygget opp en lik modell tidligere, for å se hvilke og hvordan antagelser de har gjort.

Inndata er kanskje den viktigste feilkilden til at modelleringen blir feil. Det er ikke uvanlig at man samler inn feil data eller tar for kjappe antagelser med inndataen og går god for den. Mangler man god inndata er det ”lettvinnt” å ta noen for raske antagelser, og hele modellen kan være feil tidlig i modelloppbyggingen. Hvis modellen har vanskeligheter med å bli validert, kan en glemt antagelse, gjort tidlig i prosessen, være grunn nok. Denne vil også være vrien å finne igjen. Dermed vil det være gunstig å ha en liste over alle antagelser som er gjort. Det beste er å legge disse antagelsene inn som parametere som enkelt kan endres og er lett synlig ved kjøring av modellen. Hvis valideringen ikke går som ønsket vil disse parameterne være de første man kan kvalitetssikre.

3.7.8.2 Forenklinger

Det vil alltid bli tatt noen forenklinger ved modellering av et system. Noen av disse forenklingene må tas for å fullføre simuleringsprosjektet i tide. Andre tas på bakgrunn av systemets kompleksitet eller at de er ubetydelige.

Den mest vanlige forenklingen er hvor bygging av modellen ikke tar hensyn til nok statistisk analyse. Med det menes at man går god for analysen med bakgrunn i for lite tallmateriale, slik at den statistiske analysen som er gjort på forhånd er for snever.

3.7.8.3 Uoppmerksomhet

Det kan forekomme at de som modellerer en modell er uoppmerksom både ved enkle og komplekse systemer, som kan føre til feil ved modelleringen. Oppdages ikke feilen vil valideringen bli vanskelig å gjennomføre. Blir noe oversett ved implementeringen av inndata eller ved beregninger, skaper dette vanskeligheter. Denne feilen kan være vanskelig for utenforstående å finne ut av. For å unngå at man er uoppmerksom ved oppbygging av modellen må det skapes et kvalitetssikringssystem, slik at det sikres at det ikke gjøres slike feil. Dette kan høres banalt ut, men den eneste måten å unngå et slik problem på er å dobbeltsjekke med standardiserte sjekklister eller av en annen aktør.

3.7.8.4 Begrensninger

Det finnes mange begrensninger ved modellering av ulike systemer. Innvirkningen disse begrensningene har ved validering kan være betydningsfulle. Ved modellering har man ikke full kontroll på de begrensninger som finnes, og man bør ha en oversikt over hvilke begrensninger som finnes før man starter modelleringen. Begrensninger kommer typisk av:

- Praktiske
- Software
- Datatilgang

Ved praktiske begrensninger menes både kunnskap og tilgang til de verktøy som trengs for å bygge en god simuleringsmodell. Mer kunnskap og erfaring man har med slik oppbygging jo bedre sjanse har man for å lykkes.

Software mulighetene for simulering er store og sprikende. Fra de enkleste programmer som Microsoft Excel og Matlab, til større og mer komplekse softwareprogrammer som gjerne er programmert til å utøve *en* type simulering. Ved de enkle programmene trengs det stor programmeringskunnskap, men fleksibiliteten øker. Så det optimale er å bruke et programmeringsspråk for å bygge opp hele modellen fra bunn av. Dette tar tid og koster penger, og derfor ugunstig. Det som er en løsning er at det finnes mange ulike selskaper som

har spesialisert seg innen ulike former for simulering, hvor det da er vanlig å kjøpe en grunnpakke av disse for så å spesialisere sine prosesser og parametere inn mot sin egen drift.

Datatilgangen kan begrense seg uten at man får gjort stort med det. Datainnsamling er en prosess som tar lang tid, fra måneder til år, for å få det statistiske grunnlaget som trengs for god modellering. I de fleste tilfeller må man gjøre det beste ut av de dataene man har klart å bringe til veie.

3.7.9 Kritisk til modellen

Man må hele tiden ha i bakhodet at modellen aldri er hundre prosent sann eller korrekt. Den kan både være validert og troverdig, men det er akkurat dette som gjør at man bør stille seg kritisk til modellen, og ikke stole blindt på den. Selv om man har lagt ned et stort arbeid med modellen må man huske på at det er systemet som er hovedsaken, ikke modellen. Det kan forekomme at den som arbeider med modellen bli for kjær i denne, og glemmer systemet (Pygmalioneffekten – som stammer fra et saga hvor en billedhugger forelsket seg i et av sine verk). Man må heller ikke endre på virkeligheten slik at man tilpasser modellen til det som passer best for systemet. Det er viktig å være nøye med fakta, observasjoner og datainnsamling ved utvikling av modellen, og man bør ikke se bort ifra fakta som står i strid med modellen. Det finnes et utall med eksempler hvor vitenskapere har kommet opp med nye løsninger nettopp på den bakgrunn at de har holdt fast ved de fakta, selv om de var i strid med modellen.

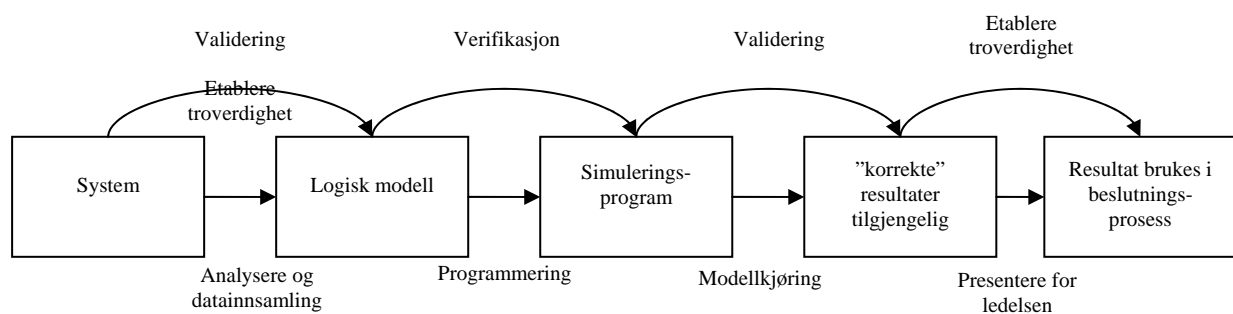
Ljung og Glad (2004) mener også at det er nødvendig å holde graden av nøyaktighet og sannsynlighetsnivå i minnet når man tolker simuleringsresultatet. Dette gjelder spesielt siden modellen inneholder ulike parametere som påvirkes av hverandre.

3.7.10 Bruk av flere modeller

Ettersom en modell har et begrenset valideringsområde kan det være interessant og bruke flere modeller på samme system. Det kan dreie seg om en sekvens av modeller for ulike arbeidsoppgaver, for eksempel togdynamikkmodeller for ulik fart, ruter osv da det finnes store forskjeller på de ulike tog og strekninger. En annen mulighet er å arbeide med et hiarki av modeller med ulik nøyaktighetsgrad og kompleksitetsnivå for å løse ulike problem. Det gjelder å ha en fleksibel innstilling til begrepet modell og dens muligheter.

3.7.11 Sammenheng mellom validering, verifikasjon og troverdighet

Sammenhengen mellom validering, verifikasjon og troverdighet er vist i Figur 9 Sammenheng mellom validering, verifikasjon og troverdighet (Law og Kelton, 2005).



Figur 9 Sammenheng mellom validering, verifikasjon og troverdighet (Law og Kelton, 2005)

Rektanglene representerer tilstanden til modellen. Horisontale pilene korresponderer de handlinger som må til for å gå fra en tilstand til en annen. De kurvete pilene viser hvor disse tre hovedhandlingene bør finne sted i prosessen modellering og simulering.

3.7.12 Oppsummering validering

Validering er en prosess hvor for å sikre at modellen representerer virkeligheten. Dette innebærer en prosess bestående av både fasadevalidering og statistisk validering. Fasadevalidering er en kontinuerlig prosess for å sikre at modellen representerer virkeligheten utad, typisk ved animering. Dette er en nødvendighet, men kan ikke alene representere en full validering av modellen. Statistisk validering sammenligner simuleringsmodellen med det reelle systemet. Ved slik validering er innsamling av statistisk data hovedingrediens. Systemet må bli representert i modellen med bakgrunn i de statistiske data samlet fra systemet. Hvis man ikke klarer å validere modellen på bakgrunn av dette må det søkes etter feil og gjøre forbedringer. Modellen er altså validert hvis man kan sammenligne de reelle og simulerte data uten de store ulikheter. Hvor store disse ulikhetene kan være, bestemmes av ledelsens aksept og bruk av simuleringen.

3.8 Treningssimulatorer

I de seneste 20 årene har datateknologien vokst med stor fart, som har resultert i at det er muligheter for mer kompliserte simuleringer. Dette ser man i de såkalte treningssimulatorer som har blitt mer og mer fremtredene i ulike typer treningssituasjoner. De områdene som bruker slik simulorteknologi er atomverkindustrien, militæret, ulike typer av transport (fly, bil, båt, buss, tog) som kanskje de mest kjente områdene. Men det finnes nesten ingen begrensning lenger på hvilke områder som kan bli simulert ved en treningssituasjon.

Forskjellen fra simulering til å bruke en simulator er bruksområdene. Tradisjonell simulering er typisk brukt for å analysere et system for å gjøre forbedringer og beslutninger. I forskjell blir simulatorer brukt i en treningssituasjon for å lære å ta bedre beslutninger eller å forbedre individuelle prestasjoner. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i treningssimulatorer til NSB.

3.8.1 Fordeler med treningssimulator

Man sammenligner gjerne treningssimulatorer med andre typer av treningsteknikker som normalt blir brukt. Dette inkluderer klasserom og praktiske øvelser, som kanskje er den mest normale formen for opplæring. Læring i klasserom er som regel teoretisk baserte forelesninger med lite praksis, og blir målt ved at man har en avsluttende skriftlig test. Dette er en begrenset opplæringsform, og i praktiske yrker kan det diskuteres hvor nyttig denne form for opplæring er. I noen tilfeller kan man kombinere praktiske øvelser med teori, som er en god forsterkning av teorien som blir presentert på forhånd. Det som er bakdelen med praktiske øvelser er at det kan oppta mye tid. I noen tilfeller må man også stenge hele systemet mens man trener, noe som er både kostbart og ingen optimal løsning. Det kan også være at det er umulig, eller vanskelig og i det hele tatt gjennomføre praktisk trening på det aktuelle systemet, som kan føre til at man aldri får trent/lært på ulike situasjoner.

Disse begrensningene, både i praktiske og teoretiske øvelser, gir mange fordeler for treningssimulatorer. Disse benytter den multimediateknologien som finnes i dag, for å skape realistiske treningsforhold, som ellers hadde vært vanskelig i forhold til tid, kostnader og operasjonelle begrensninger.

Ved en treningssimulator er det enklere å legge forholdene til rette slik at alle kan få en samme kvalitativ opplæring innenfor de tidsrammer som er gitt.

Simuleringsteknologien blir mer og mer avansert og man får flere og flere simulatorer til trening av situasjoner som gjenspeiler det virkelige liv. Forholdene ligger også til rette for å gjennomføre mange ulike treningsopplegg. Årsaks/virkningsforhold er også mye enklere å få til ved simulator da man kan skape situasjoner som kanskje ikke er de situasjoner som oppstår oftest ute i det virkelige liv. Opplæringskostnadene vil også bli lavere siden man kan tilrettelegge øvelsene mye bedre enn før, både med hensyn til antall personer som får opplæring, ressurser som brukes er mindre. Kan også redusere reise og møtekostnader når større grupper skal få opplæring. Det at man ikke trenger å gå inn på det virkelige systemet er også en stor fordel. Dette gjør at man ikke trenger noen form for stopp på systemet og man kan kjøre opplæring parallelt med drift. Det skaper også en trygghet ved at man kan trene på risikofylte situasjoner og prosedyrer, som ellers hadde vært for risikabelt ute i det virkelige liv. Mange studier viser at de fleste mennesker har lettere for å lære om man gjør det som skal læres i praksis ("I do and I understand"). Derfor er simulator et ypperlig verktøy for opplæring.

Andre grunner for at simulatorer brukes i treningssituasjoner og ikke blir trene på ute i det virkelige liv kan være (Farmer, 1999):

- Det er for risikabelt (f. eks sikkerhet og nødprosedyrer)
- Forholdene ligger ikke til rette (f. eks trening på vinterføre om sommeren)
- Det er for mange begrensinger som gjør at man ikke kan trene i det virkelige liv som:
 - Det er for kostbart (koster mer å kjøre et virkelig tog enn en simulator)
 - Begrenset med tid ute i det virkelige liv
 - Omstendighetene som trengs til treningen inntreffer ikke ofte nok
 - Mulighetene for trening er begrenset av tid, antall økter, personell og lignende
 - Sikkerhetsreglement må hele tiden overholdes, ved simulator kan man trene på spesielle situasjoner man ikke oppnår i virkeligheten (f. eks nødstopp og kollisjoner).

Sintef har et simulatorsenter i Trondheim hvor de har en bilsimulator for å se på samspillet mellom menneske, kjøretøy og vei. Ved samtale med Jørgen Rødseth, (Rødseth, 30.9.2005) seniorforsker ved Sintef simulatorsenter, nevnte han deres hovedpunkter på hvorfor de brukte simulator istedenfor det virkelige liv:

- Middels realisme
- Ingen risiko
- God kontroll på forsøksbetingelser
- Høy kompleksitet mulig
- Lav kostnad per testperson.

Dette gjenspeiler mange av hovedpunktene til Farmer. Kostnad og risiko nevnes som hovedpunkter.

3.8.2 Ulemper ved treningssimulator

Det er også begrensinger over hva som kan bli simulert. Disse begrensingene er først og fremst ved oppfattelsen og troverdigheten ved en simulator, og hvordan elev og instruktør aksepterer simulatoren som et godt treningsutstyr. Det finnes også noen andre ulemper ved treningssimulatorer (Chung, 2003):

- Kostbare multimedia datamaskiner
- Større utviklingskostnader.

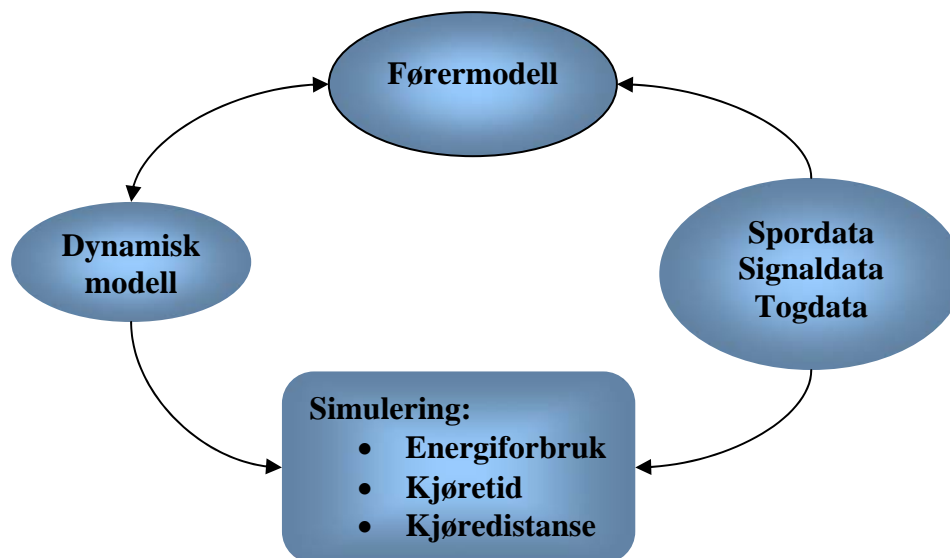
ved visning av multimedia, trengs det ”kraftige” maskiner. Disse er som regel kostbare. En god simulator har avansert grafikk, som har behov for tunge programvarer. Denne ulempen blir mindre og mindre siden prisen på både hardware og software synker for hvert år som går,

Den største kostnaden er nok utvikling av en treningssimulator. Ved tradisjonell simulering trenger man som regel bare en vanlig datamaskin. Ved en treningssimulator bygges gjerne en større og troverdig utgave av systemet som skal bli simulert, hvor i tillegg det er en animering av systemet. Her trengs det eksperter innen området og er som regel satt som et større prosjekt.

3.9 Simulering vs fullskalasilulering

Det finnes et stort utvalg av simuleringprogrammer rundt omkring i verden. I denne oppgaven ses det spesielt på simulering vedrørende energiforbruk og kjøretid for tog. Det finnes mange ulike simuleringprogrammer som beregner disse for tog. Eksempler på disse er SIMON, SIMTRAC, Railplan og TEM for å nevne noen. De fleste slike programmer er utviklet av trafikkoperatører, tog/simulering leverandører og universitets og forskningsmiljøer.

For å vise et eksempel på forskjellen mellom simulering og fullskalasilulering tas det utgangspunkt i en togsimuleringsmodell. En typisk togsimuleringsmodell er bygd opp av fire deler (Lukaszewich, 2001), som er illustrert i Figur 10 Basiselementene i en togsimuleringsmodell (Lukaszewich, 2001)



Figur 10 Basiselementene i en togsimuleringsmodell (Lukaszewich, 2001)

Den dynamiske modellen er programmert i simulatoren beregner fart og akselerasjon på tog ved anvendelse av alle de krefter som virker på toget. Denne blir kommentert senere i rapporten.

Førermodellen bestemmer:

- Når man skal bremse, ”coaste” eller forsyne med drivkraft
- Varigheten på bremsing og forsyning av drivkraft.

Togdata, Spordata og signaldata inneholder typisk:

- Ulike togtyper, toglengder, antall aksler, vogntyper
- Spordata og signaldata

Data som man får ut av tog og førermodellen blir brukt i simuleringsprogrammet for å kalkulere:

- Energiforbruk
- Kjøretid
- Kjøredistanse.

Det som er den store forskjellen mellom en slik simuleringsmodell og en fullskalasimulator er førermodellen. Ved en fullskalasimulator blir førermodellen eliminert da det sitter en fører bak spakene og kjører toget. Dette gjør at en fullskalasimulator utgjør en mindre feilkilde for analyse av energiforbruk og kjøretid. Dermed er fullskalasimulering en bedre form for simulering enn ved simuleringsprogrammer, men tar lengre tid å kjøre mange simuleringer for analyse.

3.9.1 Validering av en simulator

Verifikasjon av en simulator inneholder mye av det samme som verifikasjon av en simuleringsmodell. Det som er det viktigste ved en simulator er at treningssituasjonen gjenspeiler det virkelige liv. En simulator inneholder en simuleringsmodell (validering av denne er kommentert tidligere), men ved validering av en simulator må det også tas hensyn til fasaden og treningsvaliditet.

Fasadevalidering er kommentert tidligere, og med det menes at simulatoren utad representerer virkeligheten slik øyet ser det. Med treningsvaliditet menes det at simulatoren har mulighet til å øke kunnskapen til brukeren innenfor det systemet det skal trenes på. I denne oppgaven ses det mest på simuleringsmodellen og ikke simulatoren.

3.9.2 Prestasjonsmåling og simulering

Det som er viktig for operatøren ved bruk av simulator er å oppnå mest kunnskap og kompetanse fra simulatoren ut til den virkelige verden, slik at han forstår nytten og verdien av kunnskapen man kan tilegne seg for så å bruke det i en reel situasjon.

Bruk av simulator kan være mer belærende som treningsverktøy enn ved trening i virkeligheten. Det er mange ulike grunner for dette (Farmer, 1999):

- Mer kontroll over type trening og når den skal utføres. Man kan planlegge og tilrettelegge treningen mer spesifikt mot eleven
- Tilpasse treningsoppgaven i forhold til hvilke elev som skal læres opp (f. eks erfarne lokførere går igjennom annen trening enn studenter fra lokførerskolen)
- Gi forløpende tilbakemeldinger (f. eks kan man stoppe treningen midt i et scenario for så å ta en brif)
- Registrere og logge data for utføring av prestasjonsmåling (f. eks logges antall feil og energiforbruk)
- Standardisere treningsprosessen og instruksjonen for så og oppnå kontinuerlig forbedring.

Evaluerings fra simulatorentrening kan enten forekomme kvalitativt eller kvantitativt.

Kvalitativ evaluering vil bestå av at instruktøren gir tilbakemeldinger til eleven fortløpende eller etter treningen slik at han forstår hva som gjøres rett eller galt. Dette kan utvides ved for eksempel intervjuer, bruk av sjekklister og periodiske standardiserte spørsmål under og etter trening. NSB jobber i dag kun med kvalitativ testing av personell. De har en gjennomkjøring av scenarioer, så en debrief med samtaler rundt hva som kan gjøres annerledes.

Fordelen med simulator er at det finnes mange muligheter for prestasjonsmåling kvantitativt. Man kan logge måltall som kan brukes til senere evaluering og analyse. I forhold til NSB og denne oppgaven er det energiforbruket som skal logges og analyseres for så og lage et treningsopplegg for å lære om riktig kjøreteknikk av tog. Simulatoranlegget hos NSB logger all energiforbruk og kan skissere disse grafisk, for så og analysere resultatene.

Det kan også være noen ulemper med slik prestasjonsmåling i forhold til resultat og læring:

- Forstyrre prestasjons og læringseffekten hvis analysen er feil
- Ulike kriterier kan bli lagt til grunn for å evaluere prestasjonen på feil grunnlag
- Ikke nok data for å gjøre en grundig nok analyse.

3.10 Kvalitetssikring ved modellering og simulering

Kvalitetssikring ved simulering og modellering er på mange måter oversett i praksis. Scholten og Cate (1999) mener at prioriteringen av å kvalitetssikre en modell ikke er like sterk her som i for eksempel andre vitenskapelige miljøer. Simulering og modellering blir mer sett på som et verktøy, og ikke et produkt som kan støtte beslutninger, utføre analyser og komme opp med nye fremgangsmåter. Vanligvis utvikles en modell uten å tenke på de muligheter som hele organisasjonen kan ta i bruk.

Kvalitetssikring innen simulering er meget kompleks og spenner fra software utvikling, prosjektledelse og ulike former av modellvalidering.

3.10.1 Kvalitetsaspekter

De mest kjente kvalitetsaspektene innen programvareutvikling er også relevant for simulering og modellering, Tabell 1 Kvalitetsaspekter ved simulering og modellering. Særsilt for disse aspektene blir modellvalideringen, som er en slags hovedkvalitetssikring i en simuleringsmodell, og vil bli vektlagt i denne oppgaven. Men for å se på det fra en annen vinkel, kan modellen være validert, men trenger ikke bedre kvaliteten alene. En validert modell reproducerer virkeligheten nesten helt korrekt, men det er ikke det samme som å si at modellen har god kvalitet. For eksempel kan programvaren være så kompleks at det er vanskelig å gjennomføre simuleringene, eller modellen finnes ikke fleksibel. Dette er problemstillinger man må ta hensyn til ved kvalitetssikring av modellering og simulering.

Tabell 1 Kvalitetsaspekter ved simulering og modellering

Kvalitetsaspekt	Simulering og modellering
Nøyaktighet	Møter modellen dens spesifikasjoner?
Pålitelighet	I hvor stor grad utøver modellen dens tilsiktete funksjoner
Effektivitet	Mengden av ressurser for å gjennomføre dens tiltenkte oppgaver
Integrering	Tilgang til modellen og data for uautorisert personell
Anvendelig	Kunnskap som kreves for å lære, betjene og tyde inn/utdata av modellen

Vedlikeholdsevne	Prestasjon som kreves for å lokalisere og fikse feil ved modellen
Testevne	Prestasjon som kreves for å teste modellen for å sikre at den utfører de riktige oppgavene
Fleksibilitet	Er modellen vanskelig å modifisere
Flyttbarhet	Prestasjon som kreves for å flytte en modell fra hardware og/eller software plattform til en annen.
Gjenbruk	I hvor stor grad software/hardware kan brukes i andre applikasjoner eller modeller
Samspilleevne	Hvor mye kreves for å kople en modell til en annen.

Mange forfattere har laget en oversikt over simulering og modellering prosessen men den som muligens er mest brukt er den Sargent (1984) har kommet opp med. Han var en av de første som skilte problemet, modellen og det å programmere selve modellen. Steget fra å ha et problem til å lage en modell av det kaller han problemanalyse og modellering. Neste steg som gjøres er programmering og implementering. Og sist er steget fra den databaserte modellen tilbake til det virkelige liv kaller han eksperimentering.

3.11 Eksempler ved bruk av simuleringsmodeller

For å gi noen eksempler på simulatorstudier som er gjennomført er det nærliggende å ta utgangspunkt i simuleringer rundt tog og energiforbruk. Vestlandsforskning har i lengre tid hatt et samarbeid med NSB i forhold til energiberegninger og drift, og det vil bli sett på en simuleringsstudie de hadde på togtype 73 i 2000.

KTH har et prosjekt kalt SimERT (Simulation of energy and running time for trains). Målet med dette prosjektet er å finne ut av energiforbruk og kjøretid på tog er påvirket av kjøreteknikken til lokfører. Det er laget en modell som er utviklet med bakgrunn på målinger fra det virkelige liv, som har blitt til en doktoravhandling. Dette prosjektet vil også bli sett på ,som et eksempel på en simuleringsstudie. Prosjektet er i samarbeid med Banverket og ÅF – Infrateknik AB.

For å begrense oppgaven vil ikke beregningene på hvordan modellen er bygd opp bli vektlagt. Det vil heller ses på innsamling av data, datagrunnlaget, antagelser som er gjort og hvilke metoder man bruker for å validere modellen.

3.11.1 "På tur med Signatur"

NSB har siden 1999 hatt kregende, elektriske motorvognsett av togtype 73, Signatur. Denne trafikkerer mellom Oslo og Kristiansand.

3.11.1.1 Bakgrunn

Bakgrunn for studien var at NSB ville ta i bruk krengeteknologien for å øke gjennomsnittshastigheten på tog og dermed redusere reisetiden. Det fantes ikke noen gode data for hvordan Signatur energimessig oppfører seg i norsk natur, derfor ønsket NSB en beregning på hvor mye elektrisk energi disse togene bruker eller vil bruke på en gjennomsnittstur mellom Oslo og Kristiansand.

3.11.1.2 Metode

Energiforbruk for transport av passasjerer og gods blir gjerne omtalt som energiforbruk pr. km forflytning (passasjerkm og tonnkm). Dette er gjennomsnittstall. Vestlandsforskning tar

ikke bare utgangspunkt i Sørlandsbanen som er på 354 km, som vil si det totale energiforbruket for å flytte togsettet fra A til B, men også ned på detaljnivå for å se hvordan resultat som fremkommer av akkurat dette spesifikke togsettet.

Derfor har de valgt å gå detaljert som mulig inn i Sørlandsbanens egenart, for å gi et mest realistisk bilde av de ulike energimessige utfordringene som bruk av dette togsettet gir på denne banen.

Rapporten tar utgangspunkt i en rekke forhold som påvirker energiforbruket. De har valgt å dele disse inn i fire:

- Signatur konstruktive særtrekk, for eksempel aerodynamisk utforming, tyngde, motoreffekt osv.
- Sørlandsbanens infrastruktur, for eksempel kurveradiene, stigningsforholdene, tunnelandelen osv.
- Vær og førerforhold på en gjennomsnittsdag
- Rutetider og rutetidsreserver, og hvordan lokfører disponerer disse reservene.

Her vil det naturligvis oppstå noen antagelser, spesielt på de to siste punktene. Vestlandsforskning hadde forholdsvis gode og detaljerte datamateriale, slik at kurveradier, stigningsnivå og tillatt fart er kjent for ethvert banepunkt.

De forenklingene som er blitt gjort er blant annet at de har delt opp i ulike baneavsnitt. Hvis noen baneavsnitt er nærmest identisk, vil alle disse "like" baneavsnittene beregnes som ett. De mener denne forenklingen ikke går på bekostning av detaljeringsnivået i datamaterialet.

Når de har laget modellen ser de på Signatur energiforbruk til drift delt inn i tre komponenter:

- Energi som maskineriet bruker til fremdriften av togsettet
- Energi til funksjons- og komfortmål, for eksempel oppvarming kupeene, belysning, automatisk dørlukking osv.
- Overføringstap mellom uttaket fra det allmenne elektriske forsyningsnett og inntaket til Signatur-togsettet.

Hvordan de fysiske sammenhengene som bestemmer togets bevegelser og energiforbruk, og hvordan oppbyggingen av det matematiske instrument er gjennomført, vil som tidligere nevnt ikke bli prioritert å belyse. Dette er et grunnlag som kan nyttes på de fleste togtyper, er en grunnmur i modelleringen som gjøres på bakgrunn av grunnleggende fysiske lover.

3.11.1.3 Antagelser og datagrunnlag

Ved beregning av kraft og motstand har Vestforsk tatt utgangspunkt i leverandørers datasett samt erfaring fra tidligere beregninger. Det de beregner er trekraft på toget, friksjon, kjøremotstand, motvind, banehelling, kurvemotstand, andre klimatiske faktorer (lufttrykk, temperatur, snø) og tunneler. Disse beregningene gjør grunnlaget for utregninger av energiforbruket. Ved beregning av energiforbruk setter de først opp en ligning for energiforbruk ved konstant fart, for så å se på sammenhengen mellom kraft masse og akselerasjon for å se på energiforbruk ved andre typer kjøring enn konstant fart. Datagrunnlaget som brukes er de fysiske lover som gjelder, og hva andre aktører har gjort tidligere, blant annet i Tyskland og Frankrike. I forhold til klimatiske faktorer har de tatt utgangspunkt i statistiske årbøker, for så å finne et snitt av vær og vind.

Det som er vært mye diskutert er hvilke virkningsgrad som brukes på toget. Den elektriske energien som toget tar fra kontaktledningen er ikke den samme som en kan måle i berøringspunktet mellom hjul og skinne. Noe energi går tapt i maskineriet i form av varme. Vestforsk har valgt å bruke en virkningsgrad på 85 % på bakgrunn av erfaringstall fra andre sammenlignbare tog. Denne faktoren er mye diskutert.

Det samme gjelder ved generatorisk bremsing. Dette er motorbrems hvor toget omdanner togets bevegelsesenergi til elektrisk energi som blir matet inn i kontaktledningen og kan for eksempel brukes av andre tog. Denne setter Vestforsk til 75 %, som vil si at 75 % av energien Signatur produserer under bremsing kommer til nytte andre steder.

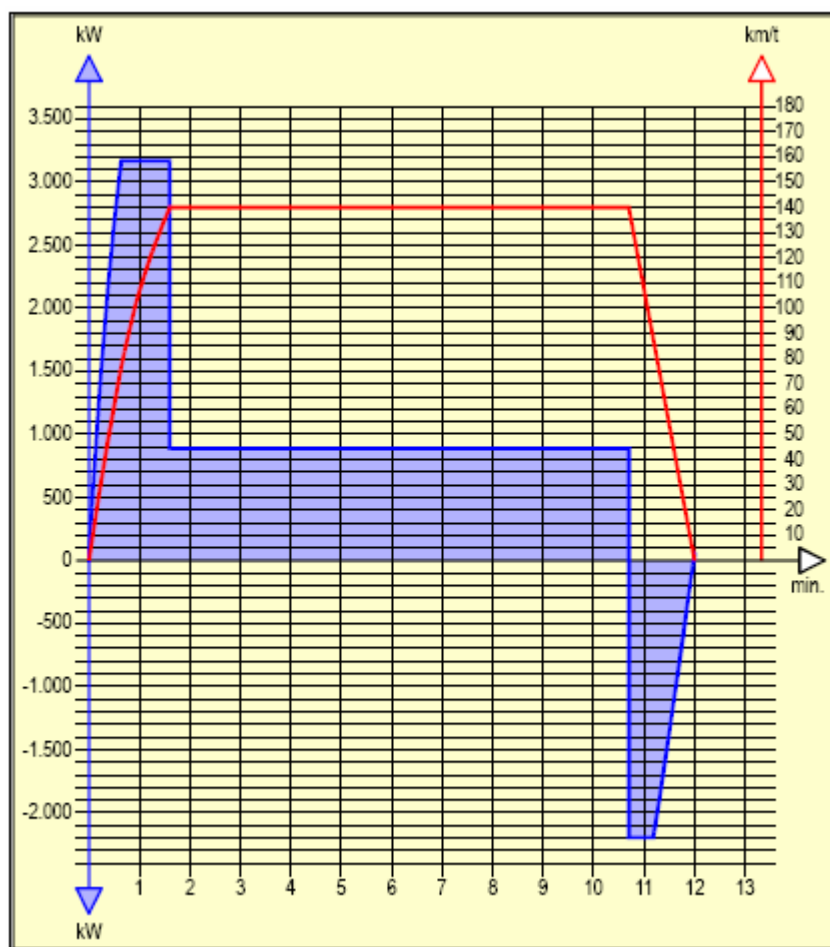
Annen faktor som bruker energi er oppvarming, kjøling, ventilasjon og belysning av kupeene og til kjøkkenmaskiner, vannpumper, informasjonssystemer, dørlukking, batteriladning og lignende. Disse er betydelige og Vestforsk regner med en gjennomsnittelig konstant effekt på bakgrunn av erfaring.

3.11.1.4 Simulering og antagelser

Da det er blitt valgt å se bort ifra oppbyggingen av modellen, vil gjennomføring av simulering og validering av data være de viktigste punktene som bør belyses.

Modellen er bygd, og eksperimentering med modellen skal gjøres. En måte Vestforsk har valgt å gjennomføre disse kjøringene på, er hvordan en kjører distansen på, dvs hvordan en bruker den disponible rutetiden for å bedre forståelsen av hva som påvirker energiforbruket på tog.

Det første de simulerer er kjøring på kortest mulig tid. De har valgt en horisontal bane med kurvemotstand på 2600 N og laber bris rett mot toget (4 m/s). Se Figur 11 Signatur kjøring: 25 km med maks. 140 km/t. Effekt (blå kurve) og fart (rød kurve) (Vestby 2000).



Figur 11 Signatur kjøring: 25 km med maks. 140 km/t. Effekt (blå kurve) og fart (rød kurve) (Vestby 2000)

Toget akselerer med maksimal trekkraft fra 0 til 140 km/t, holder denne farten i omtrent 9 minutter, bremses ned med $0,5 \text{ m/s}^2$, som Vestforsk har satt som det maksimale en bør utsette passasjerene for, og står stille etter 12 minutter. Dette gir et inntrykk av hvilke betydning de ulike kjørefasene har for Signatures energiforbruk. For eksempel krever det å akselerere fra 0 til 140 km/t 39 % av energien. Den viser hvilke betydning fartsendring har for energiforbruket. Dette var et lite eksempel på hvordan Vestforsk har brukt modellen sin.

De har laget en dynamisk modell, gjort noen antagelser i forhold til virkningsgrad, vær og vind osv. Dette er en prosess som er grei og kvalitetssikre i forhold til de antagelser og beregninger som er gjort, da det ikke er for omfattende (oversiktelige sjekklister osv.) og datagrunnlaget er godt, både fra andre aktører, leverandører og kunden. Oppstår det uenigheter eller usikkerhet, er dette parametere man kan gå tilbake for å sjekke.

Det som vil bli den essensielle kvalitetssikringsdelen er å få ruten til å representere virkeligheten i forhold til rutetabell, opphold, kryssing osv. for å få en god representasjon.

De har valgt å bruke et representativt kjøremønster i stedet for å beregne energiforbruket for hver avgang. De analyserer altså hver eneste avgang og gjør det på følgende måte:

- De tar utgangspunkt i rutetabellen, og tar kun med de avganger som kjøres på hverdager
- Den samlede oppholdstida på hver stasjon tas med utgangspunkt i hvilke stasjon toget stopper ved som er satt fra 1 minutt til 2 minutter som tas i utgangspunkt i rutetabellen. Disse tidene har de inkludert å innholde passasjerenes av og på stigning,

døråpning/lukking, avgangsprosedyrer og noen titalls sekunder for start og stopp. Det sistnevnte gjør de for å ikke komplisere regnestykker unødvendig. De beregner altså kjøretidene som om toget skulle starte med full trekraft fra første øyeblikk og bremses med full bremskraft til siste sekund. I praksis prøver en å unngå slike rykk og bruke noe mer tid

- Kryssningsmønsteret blir forutsatt at Signatur får prioritet foran alle andre togtyper, slik at stopp eller lav fart på kryssningsspor kun er nødvendig ved kryssning av andre Signatur tog. For hver slik kryssning regner de med et halvt stopp for hvert av togene siden de ikke vet hvilke som kommer først. De mener det ikke er urimelig å bruke denne antagelsen
- Oppholdstiden på kryssingssporene antas som et minutt pr. kryssing, som deles likt mellom togene
- Antall stopp som fremkommer, blir en sum av stopp på stasjon og kryssing.

Dette er noen av antagelsene som blir gjort, og disse er godt kvalitetssikret fra NSB sin egen dokumentasjon, som er en god kilde. Det er også variasjoner i kjøretidene som tas hensyn til.

Vertikalkurvatures betydning for kjøretid og energiforbruk, dvs. stigningsnivået til de forskjellige avsnittene av en banestrekning har de beregnet seg frem til at det har ingen betydning for energiforbruket så lenge toget ikke må bremse. Dette gjør det mulig å forenkle, slik at energiforbruket kan bli beregnet på alle banestrekninger med samme fartsgrense under ett. Dermed kan de dele inn prosentvis andel av baneavsnittet med bestemte stigningsnivå. Man må vite at man bruker lengre tid på en stigning i forhold til en horisontal bane. De gjør et forbehold ved de aller største fartsnivåene, slik at de resterende utgjør marginale feil på sluttresultatene dersom de bruker strekningens gjennomsnittelige vertikalkurvatur for alle baneavsnitt med en bestemt fartsgrense. De opererer med 24 ulike stigningsnivåer på strekningen. Dette gjør utregningene veldig omfattende og Vestforsk velger å finne et representativt stigningsnivå for alle 24 nivåene. De tar utgangspunkt i den gjennomsnittelige økningen i energiforbruket og kjøretid med bakgrunn i alle nivåene og kommer frem til en stigning felles for hele ruten, med marginale avvik, og omtrent samme resultat. De mener dette avviket ikke er noen feil, men øker nøyaktighetene til kalkylene.

Å bruke et representativt stigningsnivå gir en betydelig forenkling av kalkylene, fordi man ikke trenger beregne vertikalkurvatures gjennomsnittelige innvirkning på energiforbruk, kjøredistanse og tid separat for ethvert fartsnivå.

Datamaterialet på strekningen Oslo-Kristiansand er fra den tiden det ikke fantes krengetog på Sørlandsbanen. Dette gjør det vanskelig å anta nye fartsgrenser på de enkelte baneavsnittene. I teorien har et krengetog lov til å kjøre 30 % fortere enn andre tog, men det er en del andre faktorer man også må ta hensyn til derfor har Vestforsk valgt en økning mellom 10 og 20 % fartsøkning. Dette er en antagelse som må tas på bakgrunn av erfaring og observasjon av systemet.

For å beregne energiforbruket må de vite hvor ofte og hvor mye fartsgrensene endrer seg på strekningen. Dette fant de av NSB sin data.

3.11.1.5 Hovedkalkyle

Hovedkalkylen er beregning på hele strekningen når man tar hensyn til kurveradiene, vertikalkurvaturen og fartsvariasjonene. Som nevnt ovenfor har de gjort en del antagelser og regner med noen snittverdier som regenerativ bremsing, maskineri, vindforhold, lufttemperatur, kurvemotstand og vertikalkurvatur. På bakgrunn av disse antagelsene simulerer de på denne fremgangsmåten:

- Det finnes 200 fartsendringer hvor det beregnes kjøretid, -distanse og energiforbruk på en bane med 10,5 ‰ stigning og på en bane med 10,5 ‰ fall
- Det beregnes gjennomsnittet for disse to kjøringene, både for kjøretid, -distanse og energiforbruk, og sortere resultatene etter det største av de to fartsnivåene
- Samle hvert fartsnivå. Trekker ut hvert fartsnivå ved akselerasjon og nedbremsing og disse blir beregnet. Da får man igjen den samlede distansen som kan kjøres med konstant fart
- Beregner energiforbruket pr. km ved konstant fart både på en bane med stigning og på en bane med fall. Beregner snittverdier fra disse
- Summerer energiforbruk og kjøretid ved akselerasjon/nedbremsing og ved konstant fart
- Legger til energiforbruket til komfort- og funksjonsmål for den tiden som Signatur har til reserve i ruteplanen og som toget står stille på stasjoner og kryssningsspor.

3.11.1.6 Resultat

Det som kommer frem av simuleringen er at energiforbruket ligger forholdsvis lavt i forhold til faglitteraturen gjenspeiler som ”vanlig” jernbanedrift”. Vestforsk trur dette kommer av at Signatur har forholdsvis mange motordrevne akslinger og at en betydelig del av energien som frigjøres ved bremsing kan omdannes til energi. De mener dette har en del å si for energiforbruket, spesielt på en strekning med mange fartsendringer

Tabell 2 Signatures energiinntak, -produksjon og -forbruk etter hovedkalkyle, i kWh (Vestby, 2000)

Energi	Inntak	Produksjon	Forbruk
Akselerasjon og nedbremsing	1355	-474	881
Kjøring med konstant fart	1738	-275	1464
Opphold i stasjoner osv.	24	0	0
Sum	3117	-749	2368

Tabell 2 Signatures energiinntak, -produksjon og -forbruk etter hovedkalkyle, i kWh (Vestby, 2000) viser sluttsummene, og er spesifisert for både inntaket av energi fra kontaktledningen, produksjon av energi – som mates tilbake i kontaktledningen og etter et visst tap kan brukes av andre tog eller i det allmenne elektriske forsyningsnettet- og energiforbruket.

Forskjellen mellom teori og praksis kan variere i en slik kalkyle. I dette eksempelet er lokfører opptatt av reisekomfort, slik at han vil sannsynligvis ikke akselerere med full trekraft fra første øyeblikk og bremses ikke med full bremskraft til siste sekund. Dette kommer ikke frem i denne kalkylen. En annen faktor er det fysiske aspektet. Hvis skinnene er våte vil friksjonene være lav, og det kan være vanskelig å dosere bremskraften slik at hjula ikke glir.

Både ved kjøretid og energiforbruk finnes de momenter som tilsier avvik, og muligens en økning i forhold til denne simuleringen.

Andre tillegg som blir tatt med i beregningene til slutt er snittverdier for tillegg av tunneler, snø og driftsforstyrrelser. Oppvarming før avgang, tomkjøring, kjøring til verksted, overføringstap og merforbruk for andre tog er også tillegg som må tas med. Når disse tas med vil man få en ny beregning av energiforbruket:

Tabell 3 Beregnede energiinntak, -produksjon og -forbruk på strekningen, sluttresultat, i kWh (Vestby, 2000)

Inntak	Produksjon	Forbruk
--------	------------	---------

Sum pr. togtur	3709	-663	3046
-----------------------	------	------	------

Man kan spekulere hva som påvirker og hvordan det påvirkes så mye man vil, men man vet ikke eksakt om modellen er riktig før den er validert, altså en sammenligning med det reelle systemet, for så å rette opp eventuelle feilvurderinger.

3.11.1.7 Sammenligning med reelle målinger

For å finne ut hvor god modellen og simuleringen er, sammenligner man med reelle målinger fra Sørlandsbanen. Da Signatur ikke hadde vært på sporet over lang tid, fantes det lite med målinger å sammenligne seg imot, kun 12 målinger, hvorav 4 målinger skilte seg ut og ikke er tatt med her.

Tabell 4 Målte energinntak og forbruk på strekningen, produksjon (NSB, 2000)

	Inntak	Produksjon	Forbruk
Sum pr. togtur	3221	-491	2730

Fra tabellen er det målt inntak, og Vestforsk har beregnet et tap på 25 % av produksjonen for å få et godt sammenligningsgrunnlag. Som man ser fra målingene har disse åtte turene et gjennomsnittelig inntak på 3221 kWh. Dette er så å si identisk med beregningsresultatene fra hovedkalkylen, en forskjell på kun 1,5 %. I forhold til produksjon ligger de reelle målingene noe under simuleringen, omtrent 6 %.

Simuleringen ligger på 41,5 Wh pr sete-km som er noe større enn de tog- og banetekniske forutsetningene skulle tilsi. For å få validert modellen tilstrekkelig trengs det flere reelle målinger for et bedre sammenligningsgrunnlag. Ved en fullstendig validert modell kan man begynne å eksperimentere mer med modellen for å se hva som påvirker energiforbruket i positive og negative retninger, for så å komme med forbedringsforslag på bakgrunn av dette. Slik modellen er nå, vil det ikke være mulig.

3.11.1.8 Oppsummering Signatur simulering

Dette er en forholdsvis enkel simulering, og kjøres på et program som for eksempel Microsoft Excel. Denne modellen ble laget for å lære mer om hva som påvirket Signatures energiforbruk, men er nok ikke et program som kan brukes av den allmenne, da man bør ha dybdekunnskap for å operere med modellen. Det som kommer frem av dette er at ved modellering og simulering må man ta mange antagelser, mange ganger på et godt grunnlag og andre ganger på et noe tynnere grunnlag. Dette er noe man uansett kommer borti ved modellering og simulering, noe som gjør det viktig med god inndata og gode forundersøkelser.

I neste avsnitt skal det ses på en mer avansert modellering og simulering.

3.11.2 SimERT – en simuleringsstudie

Dette er en doktoravhandling som tar for seg bestemmelse av energiforbruk og kjøretid for tog på bakgrunn av en simuleringsstudie. Den hadde som et mål å utvikle en valid modell av energiforbruk på tog med hensyn på kjøreteknikk og togdynamikk hvor alt er basert på reelle resultater hentet fra Banverket i Sverige.

Dette er en mer inngående simuleringsstudie, og vil bli sett nærmere på med hensyn på eksempelvis validering.

Det avhandlingen tar for seg er kjøremotstand hvor det blir vektlagt hvordan blant annet "coasting" innvirker på energiforbruket. De togene som tas utgangspunkt i er høyhastighetstoget SJ X2000, tradisjonelle passasjertog, men i størst grad godstog. Innflytelsen av fart, antall aksler, akseltrykk, type spor og toglengde er studert. Andre vitale faktorer og parametere på tog, som har innvirkning på energiforbruket, er identifisert, analysert og til slutt er det laget en modell med bakgrunn av dette. Lokførers atferd er studert for godstog og noen kjøreteknikker er foreslått.

Dataprogrammet som simuleringen tar utgangspunkt i er utviklet i Matlab. Simuleringen kalkulerer energiforbruk og kjøretid for ett tog. Det er gjort sammenligning mellom simulering og tilsvarende målinger.

I denne oppgaven vil det ikke bli vektlagt å se på utviklingen av modellen eller å gå i dybden av datagrunnlaget, men å se på de resultater og hvordan modellen er kvalitetssikret gjennom databruk, antagelser, verifikasjon og validering. Denne avhandlingen er et meget godt eksempel på en god modellering, da man har gode og reelle målinger på alle togtypene som blir modellert. Den tar utgangspunkt i reelle målinger på nesten alle felt, noe som gjør den meget god.

3.11.2.1 Modellering av kjøremotstand

Det første avhandlingen gjør er å ta for seg kjøremotstanden. Med dette menes mekanisk motstand, aerodynamisk motstand og helningsmotstand. Kjøremotstanden tas på bakgrunn av de fysiske lover som finnes, og forfatteren mener at kjøremotstanden kan beregnes på alle tog og ruter på bakgrunn av disse lovene, dermed er feil ganske enkelt å estimere. Dette gjelder ikke aerodynamisk motstand, hvor man bør teste de ulike togene ved hjelp av måleinstrumenter. Kjøremotstanden uttrykkes ved

$$F_R = A + Bv + Cv^2$$

Hvor A er motstanden uavhengig av farten, men avhengig av lasten. B utgjør motstanden som er proporsjonal med den startkraften og farten maskineriet utgjør, mens C er proporsjonal med kvadratet av farten og stammer fra tapet fremstilt av luftmotstanden. A, B og C er koeffisienter som må fastsettes, altså ikke konstanter

Det ble foretatt reelle tester på luftmotstanden på fire ulike togtyper: ordinære passasjertog, høyhastighetstog og to typer godstog. Temperatur, vindhastighet og atmosfærisk trykk var målt seksjonsvis under testingen. Vindmåleren var kalibrert i en vindtunnel, som gjorde den svært pålitelig. Det ble også målt på to typer skinneganger, betong- og tresviller for å finne ut hva dette utgjør på kjøremotstanden.

Det ble målt på fire ulike passasjertog med ulik lengde. Passasjertogene bestod av ett lokomotiv pluss passasjervogner. Fartsprofilen ble registrert med et tachymeter, som er et apparat som brukes til hurtige målinger av avstander og høydeforskjeller. Det var ingen passasjerer med under målingene. Høyhastighetstoget som ble målt består av drivverk på hver side av vognene. Her ble også et tachymeter brukt om bord i toget for å registrere fartsprofilen, og togene hadde ingen passasjerer med seg. Ventilasjon ble slått av under testkjøring både på høyhastighets- og passasjertog.

På godstogene ble det spesielt lagt vekt på å teste akseltrykk oppimot kjøremotstanden. Vekten av godstogene fant de ved hjelp av en vekt, noe som gjør målingene mer nøyaktig enn å ta et estimat av vekten.

3.11.2.2 Resultat fra reelle målinger

Resultatene av disse testene ga et snittverdi på luftmotstanden, og gir et godt bilde av hvor denne verdien bør ligge ved modelleringen. Ulikhetene lå på mellom 1-2,5 % i en hastighet på 25 m/s. Feilkildene på disse målingene er hvor nøyaktig farten ble målt, variasjonen på radiusen på hjulet og svingninger på toget under kjøring. Ved for eksempel variasjonen på radius av hjul, vil en radius på $\pm 0,5-1$ mm gi en feilkilde på farten på ca $\pm 0,1-0,2$ %. Disse er små feilkilder, men bør tas med i betraktninger.

Ved godstogene ble det spesielt lagt vekt på å teste akseltrykk mot kjøremotstanden. Testene viste at kjøremotstanden øker nesten helt lineært med kjøremotstanden. Testene viser også at kjøremotstanden mot antall vogner øker lineært med kjøremotstanden.

Kjøremotstanden kan nå beregnes på en god og pålitelig måte på bakgrunn av disse testene på Svenske passasjertog, høyhastighetstog, og ulike godstog. Teoretisk har man en feilkilde på omtrent ± 8 % på kjøremotstanden på godstog. Men etter disse testene har denne feilkilden gått ned til mindre enn ± 3 %. Alle teoretiske metoder er sensitive, spesielt for å finne feilkilder innen hastighet og spordata. Denne begrenses ved å måle nok ved mindre distanser, slik at feilkilden blir mindre.

Koeffisient A øker lineært med antall aksler og blir delt inn i to deler. En del er konstant for en type skinnegang, mens den andre delen øker lineært med akseltrykket. Koeffisienten er altså berørt av skinnegangen; for et passasjertog vil motstanden være høyere ved tresviller enn ved betongsviller.

Betegnelse Bv blir også delt inn i to deler. B øker omtrent lineært med antall aksler eller tog lengde, men viste ingen systematisk variasjon med akseltrykket. Denne koeffisienten er sannsynligvis også påvirket av aerodynamikken som ikke blir dekket av kvadratet i neste koeffisient. Denne er også påvirket av skinnegangen, da tresviller ga et større motstand også her.

Den siste betegnelsen Cv^2 deles inn i to deler. Den første delen er konstant og tar for seg luftmotstanden i front og bakerste del av toget. Den andre delen øker lineært med lengden av toget. Luftmotstandsområdet er en funksjon av tog lengden, hvorav åpne lastevogner på godstog gir høyere luftmotstand enn lukkede vogner.

På bakgrunn av disse målingene vil datagrunnlaget bli veldig mye bedre enn ved ren dokumentasjon og antagelser, som gjør modelleringen enklere og mer nøyaktig da feilkildene begrenses.

3.11.2.3 Innsamling av data

Ordinære Svenske godstog ble studert grundig i en studie mellom 1996-1997. En type elektrisk lokomotiv fikk installert målere og utstyr for å måle ulike variabler som fart, krafttilførsel og bremsing, kraftinntak, nettspenning, kraftomformer, hjelpemotorer, ATC signaldato osv. Det var også installert en GPS på lokomotivet for å hele tiden logge posisjon. Fra disse dataene ble det mulig å estimere trekraft, akselerasjon og retardasjon, sluring, geografisk posisjon og lokførers handlinger i forhold til disse elementene.

Lokomotivene ble brukt over hele Sverige på mange ulike linjer og med ulik last og lengde over en periode på nesten ett år. Det var et godt utvalg av forskjellige lokførere som kjørte lokomotivene uten noen form for tekniske hjelpemidler, og er helt uanfektet av de målingene som blir gjort. Dette er viktig, spesielt for atferdsmodelleringen, for å få et realistisk bilde av fremføringen av tog.

Målet med slike detaljerte målinger var å få et godt datagrunnlag for å lage en modell av tog og hvordan føreren påvirker det, med hensyn på kjøretid, energiforbruk og kjøreatferd. Modelleringen på dette stadiet tar kun for seg godstog.

Lokomotivene som det ble samlet inn data på ble brukt over hele Sverige og er et ordinært godstog, som ble kjørt av alle mulige førere. Dataene fra togene ble fortløpende lagret i en database. Databasen inneholdt informasjon om togene underveis i målingsprosedyrene. Den inneholdt:

- Togidentifikasjonsnummer
- Avreisestasjon, dato og tid
- Ankomststasjon, dato og tid
- Total vekt på last (lokomotiv ikke inkludert)
- Lengde (lokomotiv ikke inkludert)
- Antall aksler
- Type lastevogner og dens posisjoner på toget
- Antall lokomotiver som trekker lasten

De dataene som er evaluert stammer fra 54 ulike togsett, kjørt av ulike førere. De fleste settene kjører med lange laster og kjøres over lang tid. Derfor ble det valgt å dele opp i mindre seksjoner, på en tid mellom 50-60 minutter.

Dataene blir logget hvert eneste sekund er:

- Totale kraftinntak ved pantografen
- Ensrettet snittverdi på spenningen
- Rotorstrøm på hver motor
- Feltstrøm på hver motor
- Tid
- Omdreining per motor
- Toghastigheten målt ved hjulkran
- Toghastigheten målt med radar
- Hastighet samlet ved ATC antennene
- Effektnivå
- Bremsetrykk
- GPS koordinater

GPS, geographical positioning system, blir målt hvert tiende sekund. Ingen av lokomotivene har tilbakeføring av energi. Alle målingene har et feilestimat som er tatt med i beregningene. Ved gjennomføring av testene ble hjuldiameteren målt hver andre uke. Det som er viktig ved testene er at lokføreren er fullstendig upåvirket av disse testene, slik at lokomotivene blir kjørt som vanlig. Dette er viktig for å få en så riktig modell som mulig.

Spordataene ble innhentet fra Banverket sine databaser og inneholdt:

- Distansen på sporet fra et startpunkt
- Posisjonen til stasjonene
- Kurver; radius, start og slutt punkt på kurvene
- Stigning/helning; vinkel, start og slutt punkt
- Hastighetssignaler; posisjon på sporet og hvilke fart

Lokomotivene gikk over store deler av Sverige, men de fleste registreringene ble foretatt på en 1500 km lang bane mellom Sävenäs og Boden i begge retninger. Høydeforskjellen mellom disse to endestasjonene er 47 meter, men forfatteren mener dette er ubetydelig ved videre analyser, siden det er forholdsvis lite i forhold til strekningen som er på 1500 km.

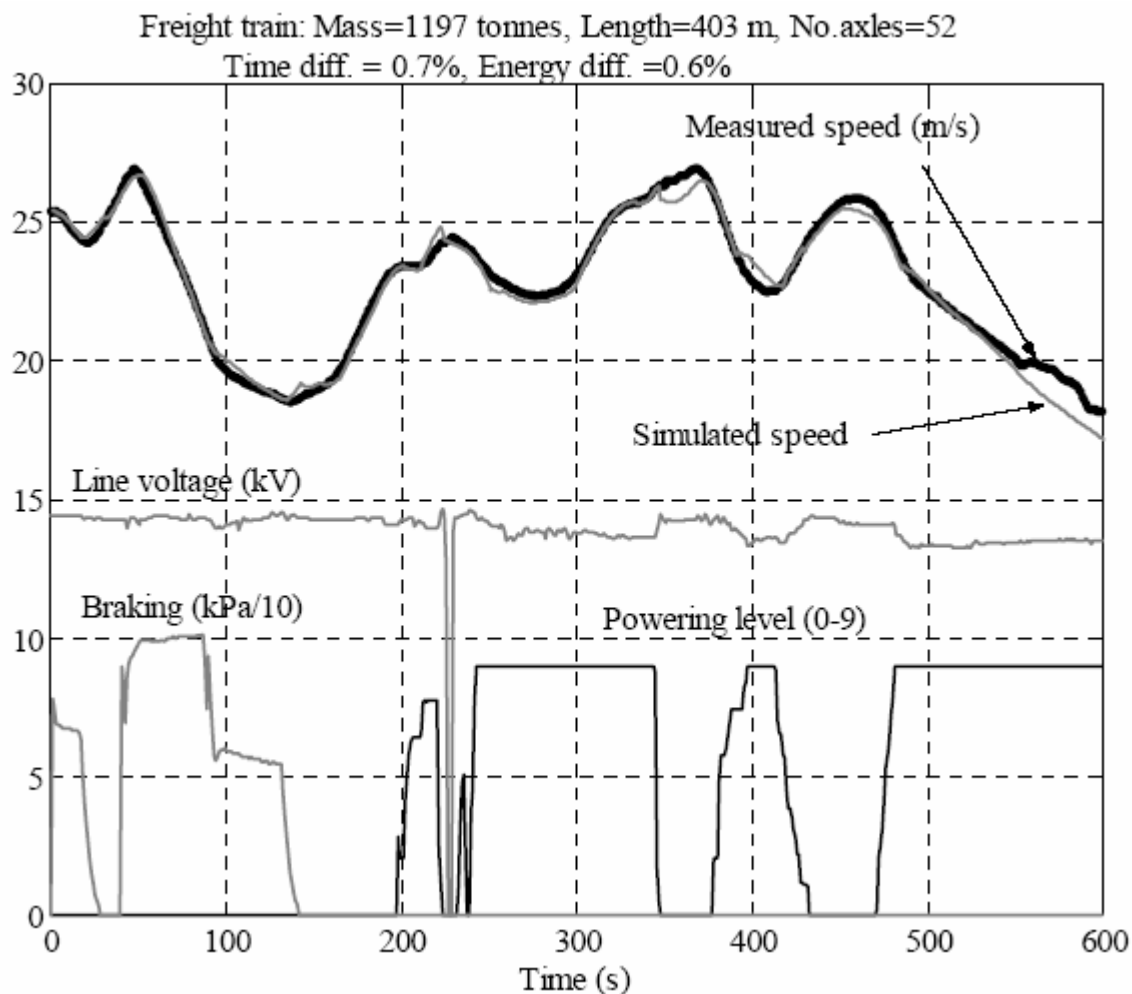
3.11.2.4 Validering og kalibrering av modellen ved simulering

Valideringen av modellen skjer ved å synkronisere simuleringen med ekte kjøring. Det tas utgangspunkt i de målte dataene, geografisk startpunkt, motorkraft, bremskraft osv. Togmodellen blir kalibrert med hensyn til kjøremotstanden på de reelle togene og tilgjengelig adhesjon. Hvis det ikke gjøres slik vil det ikke være mulig å få til en korrekt sammenligning mellom modellen og de reelle målingene i forhold til trekk og bremskraft som er blitt utført av føreren.

Den antatte kjøremotstanden av toget i modellen kan bli sammenlignet med motstanden av det reelle toget i løpet av ”coasting” perioden (når toget ruller). Hvis det er mer akselerasjon ved simulering enn reelt, for samme spor og fart, vil den antatte kjøremotstanden sannsynligvis være for lav. Disse antagelsene blir rettet på ved for eksempel å øke luftmotstanden på modellen. Ulike togkonfigurasjoner, lastevogner og påvirkning av vær og vind gjør slike tilnærminger nødvendig.

Når kjøremotstanden er omtrentlig kalibrert, er det mulig å anta for eksempel adhesjonen. Dette kan gjøres ved at sammenligne simulert akselerasjon med akselerasjon på det reelle toget med full krafttilførsel ved kjøring i en stigning. Hvis den simulerte trekkraften og akselerasjonen er for lav, er det mest sannsynlig at den antatte adhesjonen også er for lav. Når man foretar slike simuleringer kaller man det kalibrering.

Etter at kalibreringen er gjennomført, er det mulig å sammenligne og stille inn bremskraft og tid. Det er også mulig å få finstilt kurvemotstanden når man kjører gjennom kurver.



Figur 12 Eksempel på en sammenligning mellom simulering og reelle målinger

Figur 12 Eksempel på en sammenligning mellom simulering og reelle målinger er det inndata med målt nettspenning, kraft og bremses fra reelle tog.

Modellen bruker altså reelle målinger som et utgangspunkt.

3.11.2.5 Førermodell

Kjørerenes atferd har en betydningsfull påvirkning på energiforbruket og kjøretiden på tog. Dermed mener forfatteren at det vil være naturlig å lage en egen modell av føreren. Før en slik modell kan bli laget, må parametrene bli fastslått og definert. Definisjonen og analysene av disse parametrene er basert på de reelle målingene og observasjon av systemet.

Det ble observert tre hovedpunkter av førerens innflytelse:

- Krafttilførsel. Trekkraften blir bestemt av føreren
- Bremsing. Bremskraften bestemmer føreren
- ”Coasting”, hvordan toget beveger seg fremover uten noen form for kraft eller brems.

Det er tre metoder som blir brukt på disse hovedpunktene:

- Akselerasjon opp til tillatte fart
- Holde konstant fart

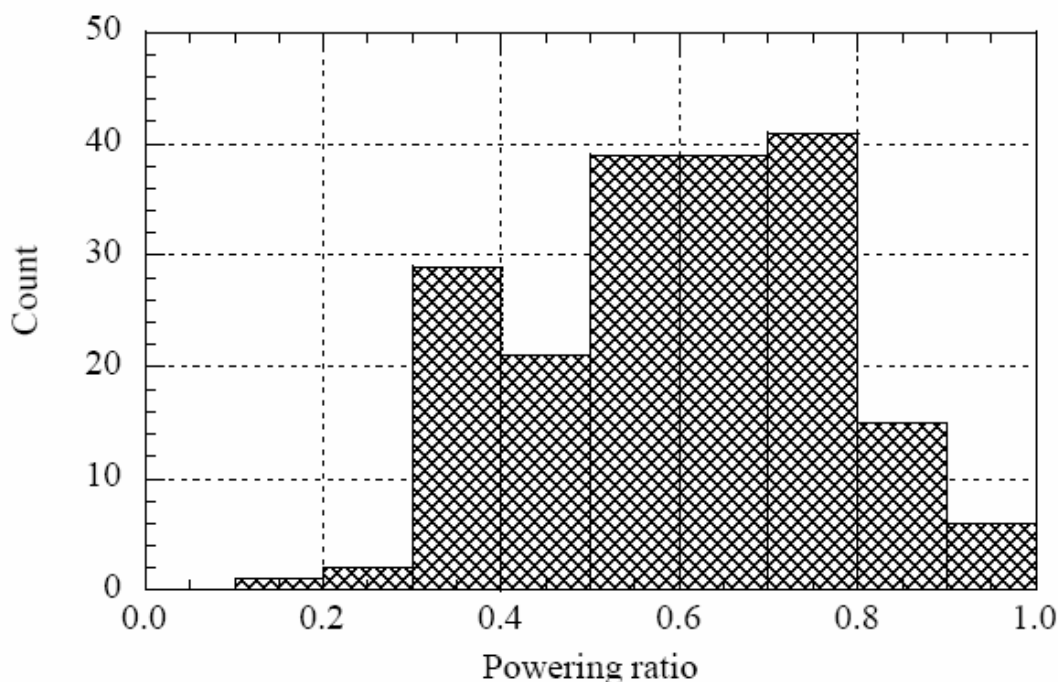
- Retardasjon

For tunge godstog vil akselerasjon kreve full krafttilførsel opp til tillatt hastighet. Retardasjon fremkommer som regel av bremsing, men kan også oppnås ved "coasting" da toget enten går i oppoverbakke eller horisontalt.

Kjøringen er begrenset av:

- Fartsbegrensninger eller stopp, indikert av signaler eller ATC
- Ruteplanen

Målinger ble gjort for å finne ut av hvor mye akselerasjon som ble gitt under kjøring.



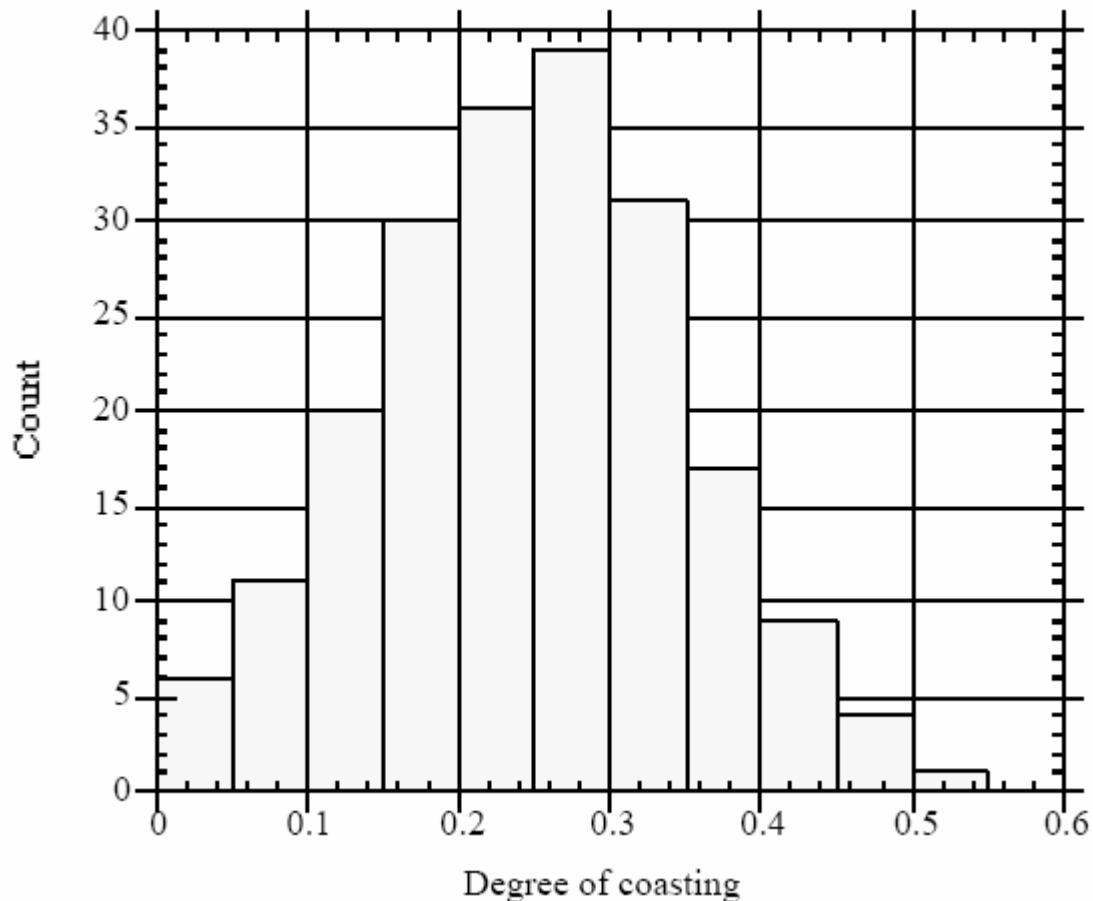
Figur 13 Fordeling av krafttilførsel av 193 målte kjøring

Figur 13 Fordeling av krafttilførsel av 193 målte kjøring viser fordelingen av krafttilførsel. Denne krafttilførselen må selvfølgelig ses i sammenheng med massen på toget, hvor krafttilførselen øker tilnærmet lineært med massen av toget. Det som kommer frem av målingene er at føreren sjelden bruker full krafttilførsel på toget i gjennomsnitt.

Farten blir altså begrenset av fartsbegrensning eller hvordan føreren tilpasser farten. Hvis toget kjøres manuelt er det ikke sikkert den følger fartsbegrensningene slavisk. ATC er et sikkerhetssystem som stopper toget automatisk hvis toget går fortere enn 10 km/h over den fastsatte begrensningen. De fleste simuleringsprogrammer tar utgangspunkt i denne fartsbegrensningen og setter denne som maksimal hastighet. Dette mener forfatteren er feil da man har den muligheten til å ligge litt høyere enn denne, for eksempel hvis man ligger etter tidsskjema. Derfor er det viktig å finne ut av hvor ofte føreren går over (og under) denne fartsbegrensningen, noe som vil gjøre denne modellen enda mer nøyaktig. Det viser seg ved reelle målinger at ved vanlig kjøring lå man i snitt 5 km/h over begrensningen som var satt, og

enda høyere når man lå etter ruteplanen. Dette viser viktigheten med god observasjon av systemet, slik at man får god inndata.

Tilslutt må undersøkes det hvor stor andelen av "coasting" er ved en vanlige togturner.



Figur 14 Fordelingen av "coasting"

Figur 14 Fordelingen av "coasting" viser at fordelingen av "coasting" er tilnærmet normalfordelt. Den viser at det ikke er noen sammenheng mellom "coasting" og massen på toget, og ikke noe sammenheng mellom stigning/helning og "coasting". Det er ganske overraskende at man ikke har et høyere nivå av "coasting" i nedoverbakke. Dette kan komme av at bakkene hvor testene ble foretatt rett og slett ikke var lange nok, hvor man kanskje hadde fått et annet resultat.

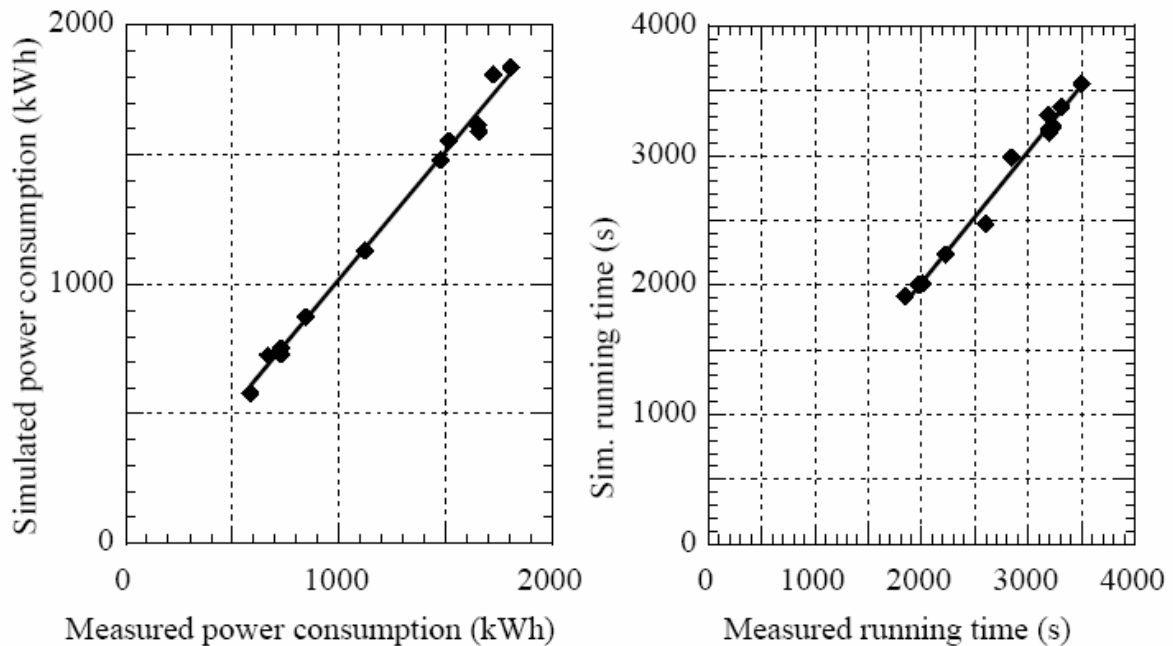
Sammenligner man energiforbruk og nivå av "coasting" så man en klar tendens at energiforbruket blir lavere ved et høyere nivå av "coasting", på godstog.

Fem hovedparametere er analysert og definert fra observasjoner av det reelle systemet. Disse parameterne kan ikke overses ved modelleringen, og kan brukes for å lage en førermodell som beskriver en gjennomsnittlig fører. De fem parameterne var krafttilførsel av fører, grad av bremsing, grad av "coasting", øvre gjennomsnittfart og nedre gjennomsnittfart. Ut fra disse dataene fant man ingen sammenheng mellom hvordan føreren kjørte toget i forhold til massen.

På bakgrunn av disse parameterne lager forfatteren to førermodeller; en normal manuell kjøring og en "minstetidskjøringsmodell". Normal manuell kjøring tar for seg alle

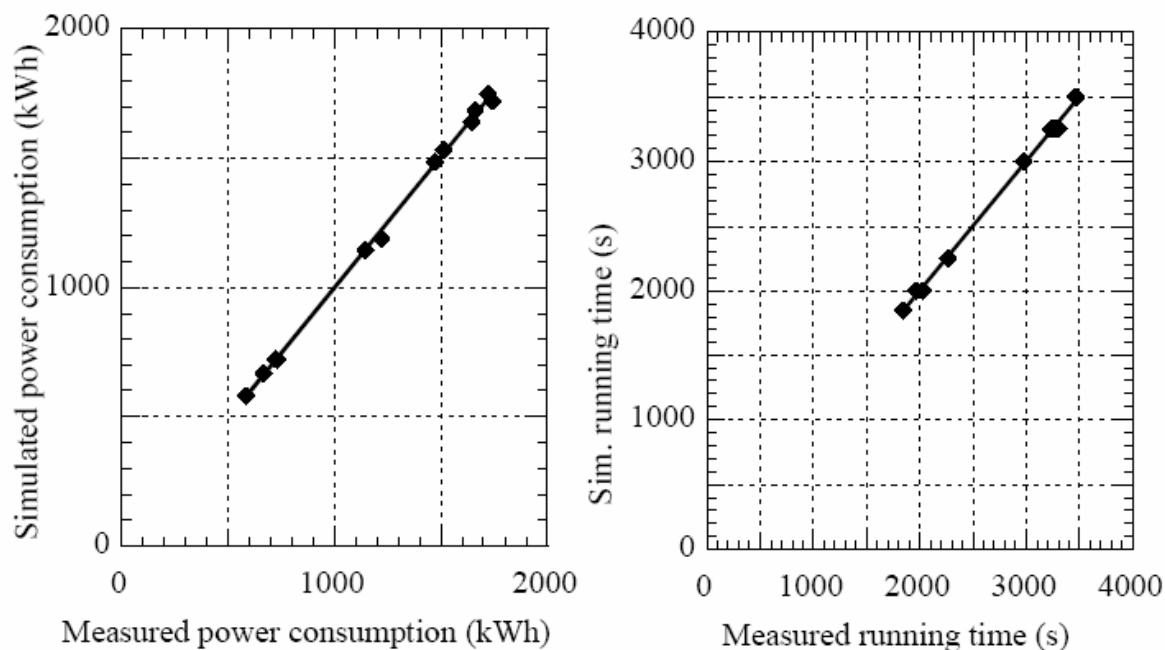
parameteren og er mer avansert en ”minstetidskjøringsmodellen”, som kun legger inn de fartsbegrensninger som er på ruten.

Førermodellen ble validert ved at man sammenligner simuleringsmålinger med reelle målinger. Innstillingene og startpunkt på ruten, farten, krafttilførsel og bremsenivå må være like ved simulering og det reelle systemet for å få validert modellen. Det var 12 målinger som tilfredsstilte disse kravene. Modellen er her ikke kalibrert i forhold til kjøremotstand og adhesjon og hadde en feil på $\pm 3,5\%$ ved energiforbruket og $\pm 2,6\%$ på kjøretiden. Dette vises i Figur 15 sammenligning mellom målte og simulerte verdier.



Figur 15 sammenligning mellom målte og simulerte verdier, ikke kalibrert

Når modellen ble kalibrert, i forhold til kjøremotstand og adhesjon, ble feilene mindre; $\pm 1,2\%$ på energiforbruket og $\pm 1,1\%$ i forhold til kjøretiden. Dette er meget små avvik, og meget godt resultat. Dette illustreres i Figur 16 sammenligning mellom målte og simulerte verdier, kalibrert.



Figur 16 sammenligning mellom målte og simulerte verdier, kalibrert

3.11.2.6 Oppsummering SimErt

Denne modelleringen viser et prakteksempel på hvordan en slik studie skal foregå. Man har alle de reelle målingene på forhånd, og målingene er foretatt med den hensikt at man skal modellere systemet. Fra disse målingene er både kalibrering og validering blitt foretatt med stor nøyaktighet slik at feilestimer begrenses ned til et minimalt nivå. Dette viser at inndataen og gode forundersøkelser er et krav til god modellering.

4 Metodologi, datakilder og verktøy

Dette kapitlet beskriver den valgte forskningsmetodikken for denne oppgaven. Det vil også bli vist hvilke verktøy og datakilder som blir brukt.

4.1 Valg av metode

På bakgrunn av de data og hvilken form disse er, skiller man i hovedsak mellom to ulike metoder; kvalitative og kvantitative metoder (Holme og Solvang, 1996). Hovedskillet mellom disse er bruken av tall, men det finnes ikke noe *absolutt* skille da de begge er arbeidsredskaper som i skiftende grad tar i bruk de ulike metodeprinsippene: det analytiske prinsippet, systemprinsippet og aktørprinsippet. Det er altså ingen ulempe å kombinere kvalitative og kvantitative elementer innenfor en og samme undersøkelse, tvert imot kan de utfylle hverandre i forhold til hver sine sterke og svake sider. Forskjellen mellom disse to metodene kan man si ligger i at kvantitativ metode omformer data til tall og mengdestørrelser for så å gjennomføre en statistisk analyse. Ved kvalitative metoder er det forskerens forståelse eller tolkning av informasjonen som står i forgrunnen. Med dette menes for eksempel tolkning av meningsrammer, motiver, sosiale prosesser eller sammenhenger, altså at det ikke kan eller bør tallfestes.

Metoder som blir brukt i oppgaven vil både være kvalitative og kvantitative. Ved kvalitative metoder vil det være forståelse og tolkning av litteratur som står i fokus, mens ved kvantitativ

metode omformes tall og data til mengdestørrelser. Det vil i hovedsak være tre metoder for innsamling av informasjon i denne oppgaven:

1. Søk etter litteratur og annen informasjon
2. Intervjuer og samtaler
3. Observasjon, praktisering og måling.

Søk etter litteratur og informasjon vil i hovedsak foregå gjennom tre kilder: 1: NTNUs ressurser representert ved bibliotek, databaser for artikler, tidsskrifter etc., 2: fagmiljø ved SINTEF og NTNU, 3: NSB og deres ressurser.

Eventuelle intervjuer og samtaler kommer i hovedsak til å fokusere på nøkkelpersoner i fagmiljøene ved NSB og simulatorsenteret.

Observasjon, praktisering og måling vil foregå ved simulatorsenteret til NSB, hvor innsyn i simulator og dens applikasjoner gir informasjon om dens oppbygging og funksjon. Bruk av analyseverktøy, kjøring og observasjon av simulator vil her være essensielt.

4.2 Dokumentanalyse

Denne oppgaven har et forholdsvis stort litteraturstudium og det vil være naturlig og diskutere rundt tema kilder.

4.2.1 Kilder

En kilde kan defineres som et nedtegnet materiale, men blir ikke kilde før en tar det i bruk (Solvang og Holme, 1996). Kildematerialet kan være av svært ulik karakter og kvalitet, så en bør være bevisst på de begrensninger dette gir. Dette gjelder spesielt internett hvor mye av den informasjonen som ligger der kan være av useriøs opprinnelse. Ved denne oppgaven brukes internett ved stor forsiktighet, kun de store og velkjente sidene brukes som kilde.

Denne masteroppgaven har en klar problemstilling som det arbeides med, og det er naturlig å spørre seg hvilke kilde kan belyse denne problemstillingen. Her er det naturlig å søke bibliotek og artikkeldatabaser som en start. Biblioteket ved NTNU er her til stor hjelp. Her kan man søke på søkeord, hvorav man kan finne relevante artikler og bøker. Ved mer konfidensiell materiale må man gå direkte til opphav, som her vil være NSB. Dette kan være en møysommelig prosess og det er viktig med gode kontakter for å finne ut av hvem man skal ta kontakt med og hvordan man skal søke. NSB har i samarbeid med Jernbaneverket et lite fagbibliotek som har mye litteratur som man ikke finner noe annet sted. Man kan også gå direkte til fagpersoner som jobber innen emne, å få rapporter/dokumentasjon innen ulike fagfelt, men man må ofte underskrive en taushetserklæring da dette er konfidensielt materiale. Det er viktig å få tidlig i prosessen en oversikt over hvilke kilder som er tilgjengelig og hvilke som er relevante, derfor har litteraturstudiet fått en betydelig del i oppgaven. I denne oppgaven er simulatorsenteret og materiellavdelingen ved NSB et godt utgangspunkt som konfidensielle kilder. Mye av dokumentasjonen på hvordan toget og simulatoren er bygd opp kan man finne her. Ved simulatoren vil også observasjon av senteret være en kilde i seg selv.

I litteraturstudiet er det viktig å fastslå hvor brukbare er kildene til det formålet som skal gjøres, det vil si hvilke troverdighet kilden har. Det er blitt lagt vekt på å søke opp de mest anerkjente forfattere innen emne, for så å sammenligne disse opp mot hverandre. Finnes det stort grad av samsvar mellom disse, styrker dette troverdigheten til kilden.

4.3 Datainnsamling

I dette avsnittet ses det på hvordan man kommer fra teori til konkrete målinger. Ved kvantitativ metode er det en forutsetning at en får presise og målbare uttrykk for den teoretiske problemstillingen man ønsker og drøfte. Overgangen fra teori til empiri er en kritisk fase (Solvang og Holm, 1996).

4.3.1 Teori

Som nevnt ovenfor utgjør litteraturstudiet en stor del av oppgaven. Litteraturstudiet tar i hovedsak utgangspunkt i bøker rundt modellering og simulering, med supplement fra artikler som går spesifikt på et av disse områdene. Universitetsbiblioteket i Trondheim er utgangspunktet for litteratursøket, i tillegg til de artikkeldatabaser som NTNU abonnerer på.

Litteratursøket startet med at det ble søkt i BIBSYS bibliotekbasen på bøker med relevant innhold innenfor modellering og simulering. Det ble valgt bøker som anses som de mest anerkjente innen fagområdet, for så og sette seg inn i litteraturen. Dette gjorde at man ble kjent med hovedinnholdet, og kunne utvide søket etter mer spesifikke artikler. For en nærmere beskrivelse av litteraturen som er benyttet henvises det til referanselisten.

4.3.2 Empiri

Analysedelen av denne oppgaven skulle blitt gjort på bakgrunn av data, målt både på simulator og reelle tog. Ved bruk av data finnes det i hovedsak to måter å fremskaffe denne på:

- Samle inn nye data
- Bruke eksisterende data som allerede er samlet inn.

I denne oppgaven var det i lengde et mål å samle inn nye data, både fra simulator og reelle tog. Dette ble etter hvert en umulig oppgave, da man ikke fikk installert målere i reelle tog innen rimelig tid for denne oppgaven. Oppgaven måtte da skifte retning, og heller ta utgangspunkt i om det finnes noe eksisterende data som allerede er samlet inn, og kan brukes. Noe data ble funnet, men langt ifra optimalt til å lage en god analyse. Det var også en omfattende og vanskelig dataanalyse i forhold til det lille resultatet man fikk. Arbeidet gikk derfor mer i retning av hvordan man burde ha gjort det hvis datamaterialet hadde vært tilgjengelig.

4.3.3 Datakilder

For å få en forståelse av hvordan data er samlet inn og analysert blir det en liten gjennomgang av datakildene og verktøy som er brukt for analyse.

4.3.3.1 TELOC

Siden man ikke fikk installert målere på reelle tog ble det funnet frem noe rådata fra TELOC som en reserve løsning for å illustrere en liten del av hvordan man kan validere simulatoren. TELOC er et produkt som elektronisk registrerer og lagrer ulike elektroniske datasignaler fra tog. Disse signalene kan evalueres i etterkant ved behov, for eksempel ved ulykker og vedlikehold. En sammenligning kan være fly sine ferdskrivere. De dataene man kan hente ut fra TELOC er hastighet, distanse og tidspunkt. I denne oppgaven er hastigheten en parameter som er av størst interesse når man skal sammenligne med simulatoren. Dette med bakgrunn av at man kan illustrere hastighetskurver opp mot hverandre. Noe av problemet med TELOC sine registreringer er at hastigheten ikke blir registrert kontinuerlig. Distansen og tiden registreres kontinuerlig, i gjennomsnitt hvert andre sekund, men med stor variasjon opp til

minutt ned til en tidel. Da man har kontinuerlig registrering på distanse og tid, kan man finne hastigheten i hvert punkt en registrering har blitt foretatt. Det vil oppstå noe støy ved en slik tilnærming, men man vil kunne se trendene, og i det minste illustrere en sammenligning mellom reell kjøring og simulert kjøring.

Data fra TELOC hentes under normale omstendigheter ut i forbindelse med periodisk vedlikehold på ett togsett. Mantena har ansvar for vedlikeholdet på tog, derfor må NSB bestille fra dem om de skal ha data fra TELOC. Dette er altså ikke data som NSB sitter på kontinuerlig.

TELOC er fastmontert på ett togsett som betyr at man ikke kan be om å få tilgang til bestemte tognummer (som er det nummeret som står i publikumsruten). Ved denne oppgaven ble det tildelt et utvalg med rådata som måtte bearbeides. For å validere simulatoren er det viktig at nøyaktig samme strekning blir sammenlignet med hverandre. Man må altså finne igjen den aktuelle strekningen som blir simulert fra disse dataene. Dette gjøres ved å sammenholde logg for rullende materiell for den aktuelle tidsperioden med det aktuelle togsettets kjørelogg og ruteplan. Togsettet kjører ikke den samme strekningen kontinuerlig, noe som gjør det innfløkt å finne frem til den aktuelle strekning som skal sammenlignes. Dette er tidkrevende, derfor begrenses det hvor mange sammenligninger man kommer opp med, og langt ifra nok resultater for å få et statistisk godt sammenligningsgrunnlag.

Dataene ble tildelt på microsoft notisblokk hvor de blir videreeksportert til Microsoft Excel. Her må dataene bearbeides og sorteres slik at Excel forstår dataene og det kommer i riktig rekkefølge. Det ble laget et mindre script for å få til dette. De uinteressante dataene må filtreres bort, automatisk eller manuelt, for å fange opp de interessante dataene.

4.3.3.2 CorPra

CorPra er simulatorens analyseprogram hvor man kan få resultater ut grafisk og med måltall.

CorPra er et analyseverktøy som gjør det mulig å utføre en grafisk analyse med hensyn på distansen eller tiden. Kjøreanalysatoren brukes til å analysere de simuleringsdataene som lagres under treningsøktene på simulatorene. Dette brukergrensesnittet brukes til å sammenlikne simuleringsdata fra ulike økter for å kontrollere elevens kjøreferdigheter ved bruk av grafer og hendelser. Instruktøren kan forandre datautvalget ved å definere flere profiler, slik at han kan gjøre bruk av flere analysekriterier.

Dette gir en mulighet til å gå igjennom prestasjonen til eleven i forhold til ulike hendelser, handlinger og teknikk på forskjellige punkter på ruten. Dette verktøyet gir en detaljert analyse på den spesifikke ruten som er kjørt. Man kan analysere, hvis ønskelig, på et senere tidspunkt uavhengig av når man kjørte simulatoren da all data er lagret. Det er også mulig å sammenligne to og to førere sammen.



Figur 17 skjermbilde av CorPra

Man kan vise grafer, hendelser (event viewer) og tekst (hva som skjer på ruten i tekstform) kontinuerlig ved avspilling.

Visning av grafer gjør det mulig å få en fremvisning av kontinuerlig data som er samlet inn gjennom simuleringsøkten. Ved hjelp av CorPra kan man kombinere flere data på samme på samme fremvisning. Praktisk talt kan alle data bli kombinert. For hver av de valgte grafene kan man velge sine egne innstillinger for å skille de ulike grafene. Dette kan være egen farge, manuell skalering og lignende.

Man kan få frem en grafisk presentasjon av disse punktene:

- Kumulativ bremseenergi
- Kumulativ energi
- Kumulativ trekkraft
- Momentan bremseenergi (ikke implementert ennå)
- Momentan trekkraft (ikke implementert ennå)
- Toghastighet
- Togets akselerasjon

Annet

- Adhesjon i sporet
- Avstand til annet tog
- Samlet forsinkelse
- Simulert tid

- Togvekt

Disse er illustrert langs en tidslinje, så man får x som tid eller vei(ikke fungerende ennå) og y for den måleverdi som er aktuell, for eksempel kW/h.

Ved Event viewer vises det hendelsesforløpet langs tidslinjen med symboler for hver hendelse etter hvert som de oppstår. Eksempler på hendelser er lyssignal, bruk av tyfon, stasjoner og lignende. De ulike typer av hendelser man kan få frem er:

- Ytre feil.
- Feil.
- Ulike flyttbare objekter.
- Signaler.
- Stasjoner.
- Togadferd.
- Passasje.

Her kan man sammenligne grafene opp mot stasjoner, signaler osv, for å se hvor godt føreren tilpasser kjøringen sin etter disse. Slik ses det om føreren utfører de riktige handlingene til rett tid med hensyn på energisparing. Et eksempel kan være ”coasting” inn mot en stasjon, hvor man lett kan lese av grafen mot symbolet for stasjonen for så og se om den er riktig tilpasset med hensyn til fart og tid.

Text viewer er en beskrivende tekst av hendelsesforløpet. Denne teksten ramses kontinuerlig opp mens man går langs tidslinjen. Man har samme valg som hos Event viewer med tanke på hva som skal angis i teksten. På en lengre strekning kan det ved hjelp av Event viewer lettere finne frem til ulike handlinger, signal og stasjoner.

Ved validering av simulatoren vil programmet gi en god indikasjon på hvordan kjøreteknikken forholder seg ved simulatoren, da man grafisk kan illustrer hvordan fører opererer toget. Dette illustreres ved hastighetskurven, som man enkelt plotter ved hjelp av CorPra. Da man ikke får reelle målinger fra tog, finnes det ingen annet sammenligningsgrunnlag enn bearbeidede hastighetsdata fra TELOC.

4.3.3.3 End Of Run report (EORR)

Ved endt kjøring får man ut et sett med dataverdier som beskriver kjøringen kvantitativt. Her gis det en oversikt over hvordan føreren har kjørt med hensyn på generell data, kjøredata, energidata, førerfeil og rutetabell. Dette kommer direkte ut etter kjøring og gir et kjøpt oversiktsbilde av hvordan føreren har klart seg i forhold til den ruten som han har blitt testet på. EORR blir lagret på DAS maskinen slik at man kan gå inn senere og evaluere resultatene. Dette er en umiddelbar respons og en tilbakemelding på prestasjonen som er utført av føreren, en måling utført på operativt nivå.

Følgende får man ut kvantitativt ved EORR:

- Generell informasjon
 - Dato
 - Simulator ID
 - Førerens navn
 - Navn på scenario som blir kjørt

- Linjenavn
- Togsammensetting
- Kjøreplan navn
- Total togvekt ved oppstart
- Adhesjon ved oppstart
- Bremseseffekt ved oppstart
- Kjøredata
 - Reel tid (Start, stopp, total – inkludert pauser)
 - Simulert tid (start, stopp, total)
 - Kilometer kjørt (start, slutt, distanse)
 - Varighet togstopp
 - Antall togstopp
 - Gjennomsnittshastighet
- Energi
 - Energiforbruk
 - Tilbakeført energi
 - Sum energiforbruk
- Rutetabell
- Førerfeil
 - Antall nødbrems
 - Antall ATC overhastighet
 - Antall overhastighet
 - Antall passerte hindringer

Det som er viktig å vite ved en simulering er at instruktøren kan gjøre endringer som endrer forståelsen av EORR (samme ved CorPra). Ved for eksempel at instruktøren skifter togposisjon eller simuleringstiden blir endret vil disse dataene bli uforståelige. Et eksempel på et EORR er lagt i B.

5 Oppbygging av simuleringsmodellen Sundland

Corys er et firma fra Grenoble, Frankrike som spesialiserte seg på design og produksjon av simulatorer for trening og studier innen energi, transport og industrielle prosesser. De har over 20 års erfaring med simuleringsstudier. De begynte med simulering innen atomkraftverk, men har utviklet seg til å bli ledende innen energi og jernbane. Simuleringen de leverer kan omfatte de enkleste simuleringer, forståelse av systemet, til fullskalasilulatorer som representerer et system så nært opp til virkeligheten som mulig.

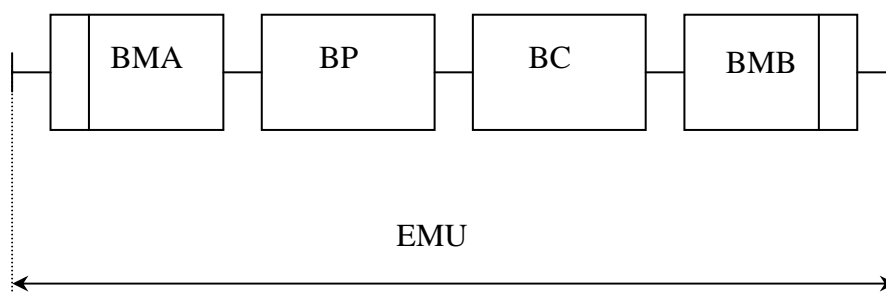
Corys T.E.S.S har laget og utviklet modellene og simuleringsanlegget på Sundland i Drammen i oppdrag fra NSB. Modellen inneholder alle de funksjoner som en reelt tog ville inneholdt, både de funksjoner og utstyr som finnes. Modellen er implementert med programmet "CORYS TESS MODELIX TOOL" som er Corys sitt eget modelleringsverktøy. Modellen som er laget samhandler med ulike subsystemer ved treningssimulatoren, ved direkte mating av data inn i de ulike system. De ulike subsystemene er:

- Styrepult
- Instruktørstasjon
- Ulike displayer
- Bevegelse og lydsystem
- Inndata og utdata subsystem
- Grafisk system

All dokumentasjon som er brukt ved modelleringen er hentet fra NSB og leverandøren av type 72 sine egne dokumenter. Disse er fra materiell og går direkte på oppbyggingen av togtype 72. I teoristudiet ble det diskutert godkjenning av modellen som akkreditering, Denne godkjenningen har ennå ikke funnet sted, så den dokumentasjon om antagelser, konstanter osv. som er gjort ved modelleringen er ikke dokumentert. Dette gjør dette at dette kapitlet begrenser seg noe, da leverandøren ikke vil gi fra seg alt før hele simulatorsenterets oppbygging er avsluttet.

5.1 Modelloppbygging

Modellen tar utgangspunkt i elektrisk togsett type 72 bestående av 4 vogner koplet sammen: to motorvogner kalt BMA og BMP lokalisert på hver sin side, en mellomvogn med strømvogner kalt BP, og en mellomvogn kalt BC. Hele enheten blir kalt EMU – "Electric multiple unit". Det er også mulig å kople sammen fire og fire vogner, opp til trippel sett.



Figur 18 Standardoppsett av togsett type 72

Figur 18 Standardoppsett av togsett type 72 viser oppsettet av togsettet. Begge BM vognene inneholder styrehus. Toget kan enten bli kjørt i automatikk eller manuell. Automatisk vil si at

føreren setter en fart og toget retter seg automatisk etter den, enten ved akselerasjon eller deselerasjon. Ved manuell kjøring styrer lokfører farten manuelt ved hjelp av ”stikka”. Ved modelleringen av disse er det høyst viktig at beregningene gjør simuleringen reell, både ved automatikk og manuell. Fra dokumentasjonen til Corys understreker de viktigheten av dette, slik at parameterne er riktig innstilt.

Modellen tar utgangspunkt i at man kan simulere:

- Enkelt togsett
- Multiple togsett
- Trippel togsett
- Godstog

Simulering av godstog ble ikke vektlagt ved modelleringen. Dette er en tilleggsware som Corys la inn i modellen, som kan brukes i en treningssituasjon, men modellen vil være forenklet.

5.1.1 Modelleringsverktøyet ”Modelix”

Corys TESS bruker modelleringsverktøyet Modelix for utvikling av modellen. Dette er et verktøy som Corys har utviklet som en grunnmur i sin modellutvikling. Dette programmet er et ”drag and drop” program som vil at modellereren kan skjematisk lage modellen av systemet ved å dra inn, droppe og samkjøre ulike grunnleggende elementer. All data har blitt forprogrammert slik at all inndata og utdata blir lagret i et felles system som deles mellom modellererne og programmererne.

Modelix er delt inn i fire ulike komponenter:

- Controlix
- Grafcet
- Hydraulix
- Electrix

Controlix er et program som tar for seg modelleringen av kontrollsystemer og krever en stor variasjon av elektriske og logiske kontrollelementer som logiske kretser, bryterer og knapper.

Grafcet er mer mot den endelige modelleringen direkte mot den ferdige simulatoren. Den lager en logisk rekkefølge av handlinger, som kan minne om flytskjemaer. Meste av programvaren som er i selve simulatoren er designet ved bruk av Grafcet.

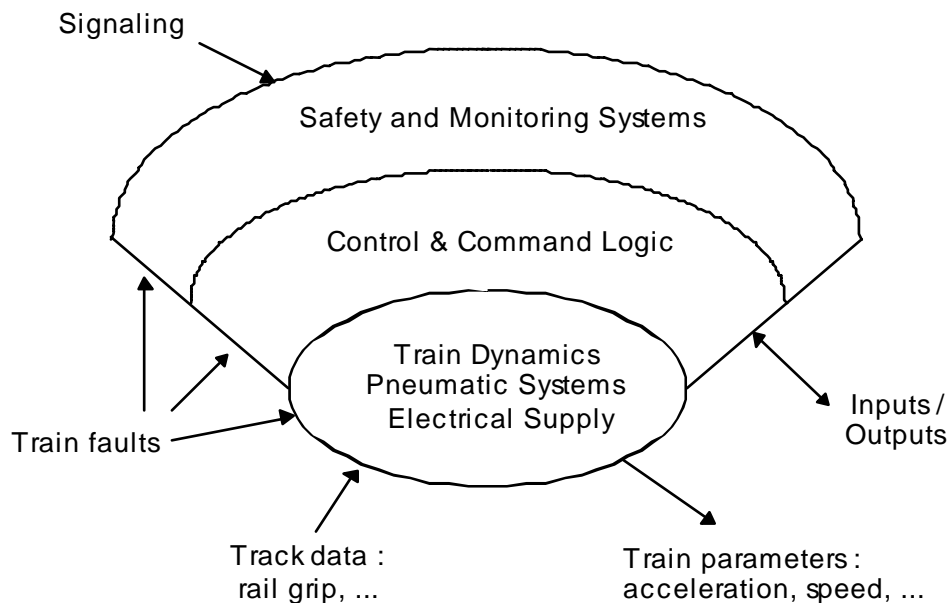
Hydraulix gjør det mulig å modellere pneumatiske og hydrauliske systemer. Dette kan modellere et stort utvalg av standardelementer som trykkbeholdere, ventiler, regulatorer og kompressorer.

Til slutt finnes programmet Electrix som er designet for å simulere det elektriske som motorer, generatorer og transformatorer. Denne delen av modelleringsverktøyet brukes som regel ikke ved utvikling av treningssimulatorene, siden den simulerte strømtilførselen som regel kommer fra en enkel logisk modell. De elektriske motorene kan bli modellert tilfredsstillende ved å ta utgangspunkt i trekraften til toget. Derfor kan dette bli gjort i Controlix, og Corys velger ikke bruke Electrix ved bygging av denne simulatoren.

5.1.2 Generell struktur på modelloppbyggingen

Corys mener at detaljeringsgraden (som vil si hvor detaljert toget og dens ombordkomponenter er designet til å frembringe så visuelt som mulig lyd, display, lys og ulike indikatorer som finnes i et reelt tog) på simuleringen bør være så god som overhodet mulig. Derfor må modellen kopiere alle funksjoner som finnes om bord i toget og dens samhandlinger med førerbordet for å sikre riktig respons på toget i forhold til det føreren utfører.

Modellen som Corys har laget tar utgangspunkt i tre lag:



Figur 19 Struktur for togmodellen (Corys, 2003)

Den fysiske togmodellen er ansett som grunnstammen i modellen. Den tar for seg togdynamikken, pneumatiske systemet og krafttilførsel på toget. Typiske parametere som er beregnet på den fysiske modellen er langsgående og sideveis akselerasjon, fart på toget, bremsing og fordeling av strømmen.

Det mellomliggende laget av modellen tar for seg kontroll og de ulike kommandoer som blir gitt. Det vil si hvordan man kontrollerer de ulike togfunksjonene som trekkraft/bremse manøvrer, lufttilførsel, dører osv. Dens rolle som et mellomliggende lag er å viderebringe alle de kommandoer fra den fysiske modellen, for eksempel hvor stor krafttilførsel det skal gis. Dette skaper også samhandling mellom overvåking og sikkerhetssystemet som er det øverste laget. Det mellomliggende laget sørger også for at data utveksles med inndata og utdata fra førerdeskene.

Overvåking og sikkerhetssystemet er modellert som det øverste laget på togmodellen. Denne kommuniserer kun med det mellomliggende laget.

Som man kan se fra Figur 19 Struktur for togmodellen (Corys, 2003) kan togfeil oppstå på alle deler av modellen.

I de neste avsnittene skal det ses nærmere på de ulike delene av modellen, men med størst vekt på den fysiske modellen da det er her energiforbruket blir beregnet.

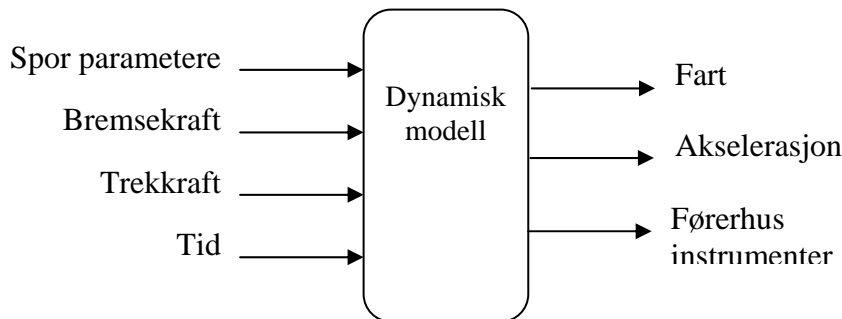
5.2 Den fysiske togmodellen

Dette kapitlet tar for seg den fysiske modelleringen. Dette er for å få forståelse av hvordan modellen er bygd opp og hva som påvirker hverandre. Det er viktig å ha en grunnleggende forståelse av modellen for å kunne verifisere og validere simulatoren. De konstanter og antagelser som er gjort ved modelleringen er dessverre ikke tilgjengelig i nåværende øyeblikk da leverandøren av simulatoren vil ha alt på plass før de overleverer disse. Dette begrenser noe av forståelsen, men det er allikevel prøvd å gi en liten oversikt over modelleringen.

5.2.1 Dynamisk modell

Den dynamiske modellen beregner fart og akselerasjon på bakgrunn av de krefter som virker på toget. Beregningene på hvor toget befinner seg på sporet gjennomføres utenfor selve togmodellen. Kinematikken er utledet på bakgrunn av Newtons dynamiske lover.

Den dynamiske modellen kan overordnet se slik ut:



Figur 20 Dynamiske modell (Corys, 2003)

Følgende krefter er kalkulert for den dynamiske modellen:

- Rullefriksjon på hele toget
- Kurvemotstandskraft
- Hellingskrefter
- Trekkraft
- Dynamisk bremskraft
- Pneumatisk bremskraft
- Parkeringsbremskrefter
- Motstandskrefter (luft/friksjon)

I den dynamiske modellen blir toget sett på som en enkel masse slik at de overstående kreftene blir kalkulert langs hele toget for å finne togets akselerasjon. Forandring i togets fart blir da fastsatt fra akselerasjonen.

De forskjellige kreftene blir beregnet for hver vogn så summert og anvendt på hele toget ut fra et punkt sentralt på toget.

5.2.1.1 Masse

Følgende masse på vognene er brukt:

Tabell 5 Masse, type 72

Vogn	Netto vekt(tara vekt) [kg]	Brutto vekt [kg]
BMA	48 926	60 601
BP	28 779	40 454
BC	28 743	40 418
BMB	48 926	60 601
Total:	156 300	203 000

Arrangementet er basert på et enkelt togsett. Det er mulig å variere lasten på toget fra 0 til 120 prosent for å simulere ulik vekt med hensyn på passasjerer og lignende. 120 prosent er maksimal tillatt vekt for toget (213 300 kg). Når den dynamiske kalkuleringen av toget blir gjennomført, vil roterende komponenter øke massen av toget på grunn av tregheten. Det er antatt en økning på 4 % av vognene, og en økning på 7 % på trekkvognene. Disse er hentet fra NSB sin dokumentasjon av type 72 tog. Dokumentasjonen som er programmert inn i simulatoren er fra 2001. Denne er i dag oppdatert fra NSB sin side, og vekten er noe annerledes enn den som er programmert inn i simulatoren i dag, f.eks er totalvekten oppjustert til nettovekt på 161 tonn.

5.2.1.2 Kjøremotstand

Kjøremotstand er beregnet som en funksjon av fart og masse til toget, samme funksjon som tidligere vist i kapittel ”simuleringsstudie”:

$$Rullefriksjon = Av^2 + Bv + C$$

hvor v er fart og A,B,C er koeffisienter som må fastsettes, altså ikke konstanter. Faktorer som spiller inn på disse er type materiale, skinnegang, toghjul etc. Innstillinger gjøres for å få disse koeffisientene helt korrekt. Disse forandrer seg kontinuerlig etter hvordan man kjører f.eks om det regner/snør, om man er i tunnel osv.

5.2.1.3 Kurvekrefter

Kraften som virker med hensyn skinnegangens kurve blir beregnet ut fra radiusen til kurven og massen til vognen. Følgende funksjon blir brukt for å beregne kurvekraftene:

$$Krumningskraft[N] = \frac{0,8 \times m_{vogn} \times g}{r_{kurve}}$$

hvor m er massen til vognen i kg, g er 9,8 m/s² og r er radius til kurven i meter. Kurvedataene er hentet fra NSB og jernbaneverket sin dokumentasjon.

5.2.1.4 Gradientkrefter

Gradientkreftene er beregnet med hensyn på massen av vognen og skinnegangens helning.

$$Gradientkrefter[N] = m_{vogn} \times g \times Gradient \times 0,001$$

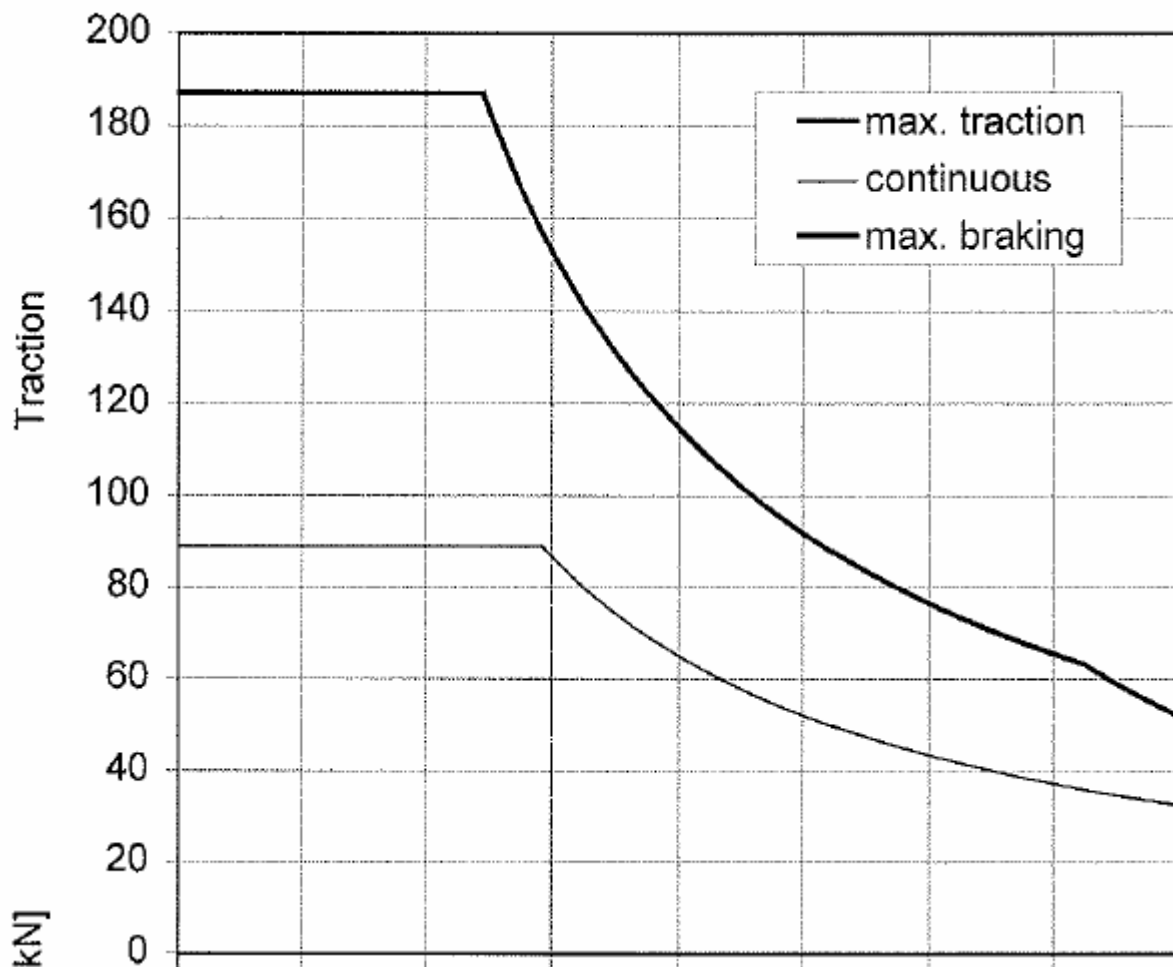
hvor massen til vognen er i kg, g er 9,8 m/s² og Gradient er mm/m. Tre ”sensorer” er tilstede på hvert togsett for å hele tiden lese av helningen og beregne farten.

5.2.1.5 Trekkraft

Trekkraften er bestemt ut fra fartskurver som er fastsatt. Kraften og farten blir regulert fra den tilgjengelige trekkraften. Fastsatt trekkraft på toget:

Maksimum kraft på hjulene:	2552 kW
Kontinuerlig kraft på hjulene:	1447 kW
Maksimum igangsetting:	187 kN

Hvordan denne trekkraften forholder seg til hastigheten. Denne er fra leverandøren av type 72, og som man ser fra grafene er det den teoretiske trekkraften, altså ikke målt på reelle tog. Her er trekkraften langs y-aksen, og hastighet langs x-aksen.



Figur 21 Trekkraft ved 885 mm hjuldiameter (Ansaldo, 2000)

Alle beregninger blir gjort ut fra at hjulene har størrelse på 885 mm hjuldiameter.

5.2.1.6 Dynamisk bremsing

Med dynamisk bremsing menes all elektrisk bremsing, regenerativ og elektromagnetisk.

Ved regenerativ bremsing blir strømmen, som genereres av motorene, returnert til linjen. Elektromagnetisk bremsing blir bare slått på ved nødbrems. En utløser hjelper magneter ned til skinnegangen og utløser en bremseeffekt.

5.2.1.7 Elektropneumatisk bremsekraft

Luftbremsekraftene er kalkulert fra det beregnede bremtesynderpresset. Bremsekraftene vil bli kalkulert fra en lineær forbindelse mellom sylindetrykket og bremsekraftene.

$$\text{Bremsekraft [N]} = (\text{Sylindertrykket [KPa]} - \text{fjærtrykk [KPa]}) \times \text{Sylinderkraftfaktor [N/KPa]}$$

Den pneumatiske modellen kalkulerer sylindetrykket og bremsekraft.

5.2.1.8 Parkeringsbremsekraft

Parkeringsbremsekraft er den kraften som brukes når toget parkeres. En kraft på 23 kN per vogn bli brukt i modellen på bakgrunn av dokumentasjon av NSB.

5.2.1.9 Akselerasjon og fartsberegninger

Akselerasjonen er beregnet fra fundamentale ligninger for bevegelse

$$\text{Akselerasjon } a \text{ [m/s}^2\text{]} = \text{Totale kraft på toget } F \text{ [N]} / \text{massen } m \text{ [kg]}$$

Her er massen den effektive massen av toget sammen med vekten av antall passasjerer i toget.

Togfarten er beregnet fra akselerasjonen og tiden på simuleringen

$$V_{i+1} = V_i + a * dt$$

Den sannsynlige bevegelsen er også beregnet fra den forrige posisjonen på toget, ved å integrere farten med hensyn på tiden dt

$$dx = V * dt$$

Simuleringstiden per steg er satt til 0,1 sekund.

5.2.1.10 Toget i ro

Følgende krefter vil alltid motsette seg mot retningen av bevegelsen

- Kjøremotstand
- Kurvekrefter
- Bremsekrefter

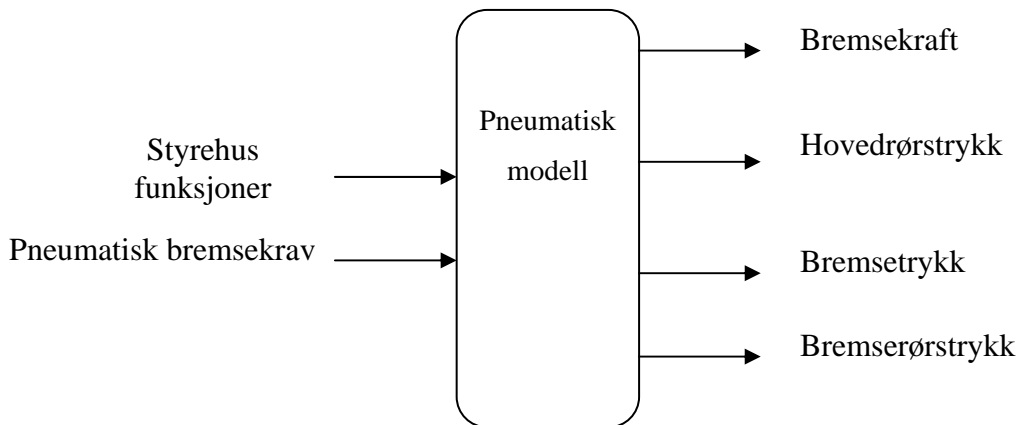
Disse kreftene får en spesiell behandling når toget stopper eller er på vei til å stoppe. Ved et stopp, vil størrelsen på disse kreftene variere fra null opp til de beregnede verdiene for å holde toget i ro. For å få toget til å gå fremover, må enten trekraften eller gradienten være litt større enn summen av disse tre kreftene.

5.2.2 Pneumatisk modell

Den pneumatiske modellen reproduserer hovedelementene av de luftforsyninger og bremseutstyret på toget. Dette kan være beholdere, rør, ventiler og kompressorer. Corys mener de har gjort en tilfredsstillende innstilling på modellen da de har brukt data som er målt på reelle tog.

Modellen viser et realistisk forbruk på de ulike elementene, i tillegg til at trykket i hovedrøret og bremsrøret stadfestes.

Corys har laget et diagram over inn og utdata på den pneumatiske modellens system, Figur 22 Pneumatisk modell (Corys 2003).



Figur 22 Pneumatisk modell (Corys 2003)

Modellen innebefatter følgende elementer:

- Kompressor/hovedrør/bremsrør/beholder
- Luftbremseutstyr
- Dørutstyr
- Horn
- Annet pneumatiske utstyr
- Permanent normal og tilfeldig lekkasje.

5.2.2.1 Hovedkompressorsutstyr

På vogn BP finnes en kompressor som leverer komprimert luft for lagring i en hovedbeholder. Fra hovedbeholderen fores hovedrøret, som går gjennom hele toget.

Det blir tatt luft fra hovedrøret inn i ulike sub-systemer. Hovedrøret skal ha et normaltrykk på 10 Bars.

5.2.2.2 Bremsutstyr og trykk

Bremsluftutstyret er et system som selvutløses som en sikkerhetsløsning. Trykkluftbremsene blir utløst automatisk hvis det oppstår en feil ved det elektriske bremsesystemet.

En tilsvarende bremsesyndler er beregnet for hver vogn. Bremskraften er en sum av de krefter som er fastsatt på hver bremsesyndler.

Modellen simulerer responsen av bremsesyndlertrykket ved en forandring i bremsrørtrykket, se Tabell 6 trykket i bremsesyndler kommer an på trykket i bremsrøret.

Tabell 6 trykket i bremsesyndler kommer an på trykket i bremsrøret

Bremsrørstrykk [bar]	Bremsesyndlertrykk [bar]	Bremsesyndlertrykk [bar]
----------------------	--------------------------	--------------------------

	Vogn ikke lastet	Vogn lastet
5.0	0	0
4.6	0.7	0.9
3.3	2.45	3.6
< 1	2.45	3.6

Denne modellen beregner følgende parametere:

- Hovedbeholdertrykk
- Bremsørstrykk
- Hovedrørstrykk
- Bremsesylindertrykk
- Hjelpebeholdertrykk
- Rate på luftstrøm fra bremsør
- Lekkasje fra bremsør
- Lekkasje fra hovedrør

5.2.2.3 Parkeringsbrems og dører

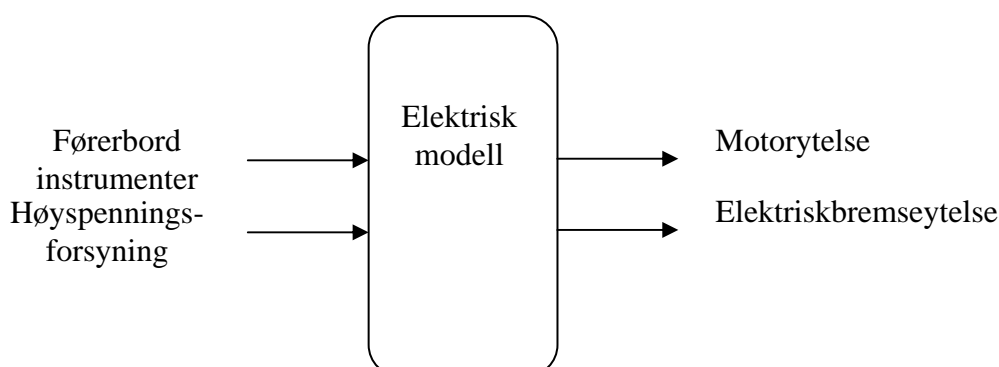
Parkeringsbremsen og dører blir ikke simulert på bakgrunn av den pneumatiske modellen. Effekten blir representert med et konstant luftforbruk. For å aktivere parkeringsbremsen blir en simulert krets åpnet slik at en fjær kan anvende luftrykket.

5.2.2.4 Hjelpekompressor

En hjelpebeholder er tilstede for å aktivere pantografen når hovedbeholdertrykket er for lavt. Denne kompressoren er på vogn BP, og skal gi en kapasitet på 70 l/min. Hvis beholderen er helt tom vil fylletiden for å heve pantografen satt til omtrent 30 sekunder.

5.2.3 Elektrisk modell

Den elektriske modellen representerer den logiske oppbyggingen av de handlinger og elementer som finnes ved tilførsel av elektrisk kraft. Den ”elektriske kjeden” starter ved høyspenningsledningen og ender opp ved batterier og ladere.



Figur 23 Elektriske modell

Motorytelsen er den akselerasjon eller bremse verdien som motoren setter. Den kalkuleres på to ulike måter:

- Enten av ATC eller den automatiske modus som finnes på toget

- Ved hjelp av ”stikka”, som blir kontrollert manuelt av føreren

Modellen tar med følgende i sine beregninger:

- Motor
- Kompressor
- Batteri
- Annet elektrisk utstyr

5.2.3.1 Motor

Motorene på vognene er modellert slik at summen av kreftene fra de to motorene er lik kraften som blir gitt fra begge. På panelet i førerrommet vil det bli gitt en oversikt over motorene uavhengig av hverandre, slik som i det virkelige liv.

Man kaller hver enhet i motoren som en ”trekkraft enhet”, hvorav de er fire slike, to i BMA og to i BMP. De krefter som motoren produserer bestemmes enten av hva ATC systemet krever, eller hvordan føreren handler.

Ved simulering kan man legge inn en funksjonsfeil på en ”trekkraft enhet”, som fjerner 25 % av den elektriske trekkraften på toget (dette gjelder for enkelt togsett).

5.2.3.2 Kompressorer

Kompressorene finnes i BP vognen, og det er to kompressorer i hvert togsett. Disse to er:

- Hovedkompressor som forsyner luft til hovedpneumatiske kretsen
- Hjelpekompressor som hjelper til å heve pantografen i tilfelle svikt i hovedkompressor

5.2.4 Andre modeller

Det er også modellert andre modeller, men som ikke går nærmere inn på enn å beskrive de kort. Disse forholder seg mest til ulike treningssituasjoner.

5.2.4.1 Koplingsmodell

Hvordan man kople og frakobler sammen ulike sett er modellert slik at man kan bli simulere og trene på denne prosedyren. Ved sammenkopling av togsett vil for eksempel togene bli automatisk koplet sammen når distansen mellom de nesten er null. Hvis den simulerte farten er høyere enn 5 km/h når den ”treffer” det andre toget, vil simuleringen bli fryst og simuleringen vil oppfatte det som en kollisjon. Ved frakobling av togene må bremsene være fullstendige og toget må være stasjonert. Det finnes en egen avkoplingsknapp på selve førerbordet.

5.2.4.2 Kontroll og kommandomodell

Denne modellen tar for seg selve førerbordet og hvordan den responderer mot den kalkulerte dynamikken. Den tar for seg hvordan føreren handler:

- Reléstyringslogikk
- ATC (automatic train control)
- Drivkraftstyring
- Bremsstyring
- Dørstyring

- Hjulsluring

Reléstyringslogikken styrer alle AC/DC spenningsfunksjoner på toget. Denne er koplet til de elektroniske elementene på førerbordet slik at ulike oppgaver kan bli trent på.

ATC systemet sikrer at føreren følger de signaler og fartsgrenser som er satt på sporet, hvis ikke vil ATC automatisk bli koplet inn med et signal eller nødbremse hvis dette ikke blir overholdt. ATC systemet er modellert slik at den kontinuerlig overvåker førerens handlinger og forhold til fart og signaler. Føreren vil få en melding på førerbordet hvis han overkjører ATC systemet.

Drivkraft og bremsestyring er modellert slik at føreren kan sette ønsket drivkraft og bremsing på toget. Trekkraft og bremsemodelleringen er definert på bakgrunn av leverandørens data.

Dørstyringen kan kun bli aktivert når toget styr stille på en stasjon, hvor det også er umulig å åpne dørene på motsatt side. Det finnes åtte dører på et togsett, og disse er simulert som en enhet.

Hjulsluringen er modellert som en konstant parameter. Instruktøren kan legge inn ulike adhesjonsfaktorer gjennom en øvelse. Det er antatt et normalt adhesjonsnivå på 0,25 på det simulerte toget. Hvordan trekkraft og bremsekraft forholder seg til adhesjon er tatt utgangspunkt i formelen:

$$\text{Adhesjonskrefter [N]} = \text{Massen[kg]} \times g[9,8 \text{ m/s}^2] \times \text{adhesjonsnivå}$$

5.2.4.3 Sikkerhetsmodell

Sikkerhetsmodellen simulerer de ulike sikkerhetsaspekter som finnes på et tog. Disse er:

- Nødbremse, som kan trykkes på for å aktivere alle bremses i en nødsituasjon
- Nødsituasjon fra passasjerer, hvor passasjerene kan aktivere nødbremse fra passasjertogene (ved simulering er det instruktør som gjør denne prosedyren)
- SIFA, som er en pedal som føreren må aktivere med jevne mellomrom
- Kommunikasjon med passasjerer
- Brannvarslingssystem som blir aktivert av instruktør.

5.2.5 Oppsummering av modell

Som man ser av dette avsnittet er modelleringen av simulatoren basert på de fysiske lover som finnes og i stor grad data levert fra leverandøren og NSB. Dette gjør at for eksempel ved utregning av energiforbruket er det mange antagelser som er gjort.

6 Analysedel

I dette kapitlet tas det for seg simulatoren på Sundland og hvordan den kan verifiseres og valideres med hensyn på energiforbruk.

6.1 Verifisering

Som tidligere nevnt er verifisering den delen av en simuleringsstudie som sikrer at simuleringsmodellen har alle de nødvendige komponenter og kjøres slik som er tiltenkt. Ved bygging av simulatorsenteret på Sundland har de vært, fra et tidlig stadie, opptatt av at simulatoren er verifisert, spesielt innen sikkerhet. Den treningen som blir gjennomført ved simulatoren i dag er innen sikkerhetsprosedyrer, derfor er det viktig at denne delen er riktig. Inne verifisering av energiforbruket er det gjort lite.

6.1.1 CorPra – en feilanalyse

CorPra er som tidligere nevnt analyseverktøyet som blir brukt for å analysere de simulerte kjøringene. Programmet har vært svært lite brukt etter at simulatorsenteret ble bygd, derfor finnes det noen feil og mangler på softwaren som ennå ikke er rettet opp av leverandøren. I prosjektoppgaven ”Prestasjonsmåling av energiforbruk på tog” ble programmet brukt, uten å se spesielt på feil og mangler på selve programvaren, men noen forbedringer ble foreslått. I løpet av denne oppgaven og prosjektoppgaven har undertegnede gjort seg godt kjent med CorPra, og vil med dette kunne dokumentere de feil og mangler som finnes.

Det er ikke lenge til garantitiden er over, derfor vil det være viktig at alt som er bestilt fungerer og kan driftes.

Det ble også gjennomført et møte med to av designerne hos leverandøren hvor de fleste feil ble påpekt, og ble lovt rettes opp. En oversikt over disse feilene ser man i Tabell 7 feilanalyse. Det finnes også noen mangler, som nødvendigvis ikke er direkte feil, men som hadde vært en fordel og fått til.

Tabell 7 feilanalyse

Hvor i programmet	Feil	Hva er feilen	Annet
Graph Viewer	Instantaneous braking energy	Plottes ikke	Dette er en funksjon som bør være tilgjengelig
Graph Viewer	Instantaneous traction energy	Plottes ikke	Dette er en funksjon som bør være tilgjengelig
Graph viewer	Har hastighet på 1 km/t i startposisjon	Dette gjør utslag i f.eks akselerasjons-grafen	Et tog kan umulig kjøre i 1 km/t når det står stille!
Event Viewer	???	En avkryssningsboks med ???	Her er det en unødvendig boks med ???. Bør fjernes eller få en tiltenkt funksjon.
Event Viewer	Vises feil data på	Feil data vises	Feil som kan rettes

	hastighetskurven	når man fører musen over grafene	opp umiddelbart
Event Viewer	Mus over graf	Noen ganger vises ikke data i det hele tatt med musen over graf	Kan ha sammenheng med feilen ovenfor
Bremsesyylindertrykket	-	Plottes rart i starten av grafen.	En funksjon som er til bruk ved godstog, dermed ikke essensiell ved type 72 analyse.
Tools→options	Ingenting skjer	Ingen funksjon	Hvis funksjonen finnes, bør den være tilgjengelig
View→axis→milestone	-	Energigrafene plottes merkelig	Diskuterte denne feilen med leverandøren, hvorav han var uenig. Nærmere sjekk bør gjøres.
View→status bar	Tid og km vises ikke	Står null både på tid og km	Burde være en enkel feil å rette opp
Help	Ingen "help" funksjon	-	Står "help" på menylinjen, dermed bør det også være en hjelpefunksjon tilgjengelig.
Help→about	Ingenting vises	kun en boks med logo vises	Her bør det være informasjon om leverandøren
Språk	Ulike språk	Finnes norsk, engelsk og fransk i programvaren	Språket bør være standardisert i hele programvaren.

Det finnes også noen funksjoner som ikke er feil, men som kunne vært en fordel og hatt med. Dette er noen helt essensielle funksjoner som bør være der, til funksjoner som man kan diskutere nytteverdien av. Se Tabell 8 .

Tabell 8 Forbedringer av CorPra

Hva	Hvorfor	Hvordan	Annet
Gradientkurve	For å vise helning og stigning på ruten som blir kjørt	Gjør det enklere å analysere grafene	Dette ble diskutert med leverandøren i fjor sommer, men ingenting har skjedd
Bedre bildebehandling	For å lette bruken av programvaren.	Digitalt bilde av grafer og data direkte	Ble diskutert i fjor sommer. Ble

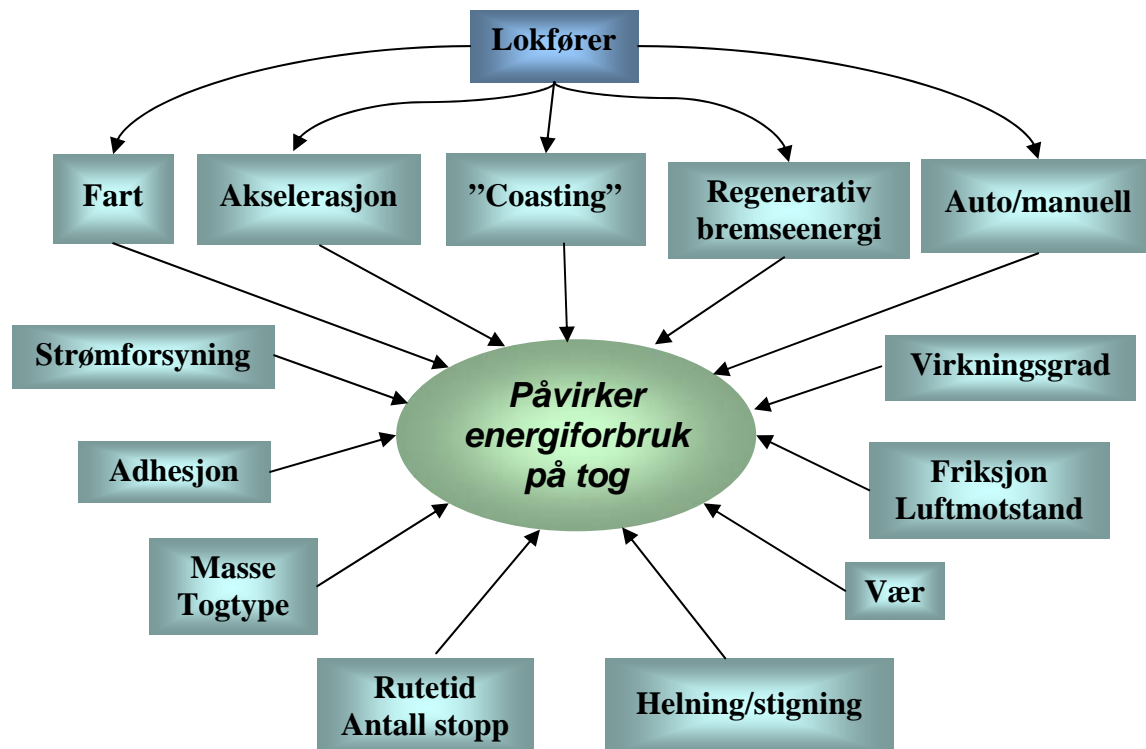
		inn på jpeg fil	diskutert på nytt i vår, hvorav leverandøren ikke så noe fordel med dette.
Automat/manuell fremstilling	Få frem i analyseverktøyet om toget kjøres i automat eller manuell	Et symbol som viser om føreren kjører i automat eller manuell	Dette har blitt diskutert uten gode svar fra leverandøren.
Verdier på x og y grafer får man kun ved tegning av en eller to grafer.	Velge om man vil ha verdier på x og y grafene uavhengig av hvor mange grafer som plottes.	Kunne ha en funksjon hvor man haket av hvilke verdier man vil ha på x og y	Diskuterte dette med leverandøren, men uklare svar.
Slippe manuell skalering av energigrafene	Lette arbeidet med analyseringen	Ha like verdier på alle energiplottene	Diskuterte dette med leverandøren, hvor han ikke så fordelene med dette.

Begge disse tabellene viser at det er rom for forbedringer av programvaren. Dette er et produkt som man har kjøpt og man skal da forvente at det meste bør være i orden før selve overtakelsen finner sted. Selve brukervennligheten er heller ikke spesielt god for en utenforstående. Dette bør også diskuteres nærmere for å komme opp med en løsning som begge er tilfreds med.

Møtet som fant sted i vår 2006 var et telefonmøte med en av designerne fra leverandøren Corys. Dette var et uformelt møte. Erfaringer tilsier at det tar tid å få rettet opp de påpekninger som blir gjort, men her er det viktig med god oppfølging slik at man får det man har betalt for.

6.1.2 Hva påvirker energiforbruket på tog

I prosjektoppgaven ble det diskutert hva som påvirker energiforbruket på tog, og det er nevnt fart, akselersasjon og ”coasting” som de tre hovedfaktorene. Det finnes også andre faktorer som påvirker energiforbruket, noen kan testes og muligens endres, mens andre er faste konstanter som er vanskelig å gjøre noe med. Figur 24 Hva påvirker energiforbruket viser de faktorer som påvirker energiforbruket.



Figur 24 Hva påvirker energiforbruket (Moen, 2005)

Lokfører er den kilden som kan påvirke energiforbruket betraktelig. Fra figuren ser man at det er fem faktorer lokfører kan påvirke: fart, akselerasjon, ”coasting”, regenerativ bremseenergi og auto/manuell kjøring. Regenerativ bremseenergi er tilbakeføring av energi ved bremsing. Bruker lokføreren aktivt denne funksjonen vil det kunne føre til innsparinger. Auto/manuell er hvordan lokfører kjører toget. Han kan selv bestemme om han vil bruke den automatiske funksjonen som finnes på toget eller om han vil kjøre manuelt. Den automatiske funksjonen fungerer slik at farten blir tilpasset automatisk etter hvor føreren setter hastigheten. Manuell kjøring er fartstilpassning ved hjelp av ”stikka”. Det diskuteres hva som er mest besparende, og etter målinger på Sørlandsbanen (Nag, 2005) viser den at automatisk kjøring er mest energibesparende. Alle disse fem faktorene kan testes mer inngående ved hjelp av simulator.

De resterende påvirkningsfaktorene er faktorer som er vanskelig eller umulig å gjøre noe med uten omfattende kostnader og arbeid. Alle disse kan også prøves ut i simulator for å få større forståelse av togets fremføring og energiforbruk. De som er mest interessante å prøve ut er masse/togtype, rutetid/antall stopp og helning/stigning på ruten. Disse tre er faktorer som kan vurderes i et langsiktig perspektiv innen energisparing da disse kan tilpasses eller påvirke kjøreteknikken til lokfører.

For å verifisere simulatoren med hensyn på energiforbruk er det naturlig å gjøre noen tester innenfor de områdene som påvirker energiforbruket, for å finne ut av om simulatoren reagerer slik som forventet. Det er meningen at simulatoren skal kunne grafisk plote momentanverdier av energiforbruket i CorPra. Denne funksjonen er ennå ikke i drift, noe som begrenser mulighetene til å for eksempel se på hvordan energiforbruket forholder seg til de ulike elementene kontinuerlig. Hadde man hatt denne funksjonen hadde verifiseringen vært lettere å belyse, da man kan se hvordan energiforbruket endrer seg på ulike nivåer.

Da man ikke har denne funksjonen er det valgt å se på tre faktorer som påvirker energiforbruket. Disse er masse, hastighet og akselerasjon. Målinger har blitt gjort for å finne

ut om man får de resultater man kan forvente, ved å foreta kjøring ved ulik masse, hastighet eller akselerasjon.

6.1.3 Kjøringene

21 kjøring ble gjennomført innen de ulike parametre nevnt ovenfor; 8 ved hastighet, 6 ved masse og 7 med ulikt pådrag. Fra et statistisk ståsted skulle det gjerne vært gjennomført flere kjøring, det tredobbelte, men da det tar tid å gjennomføre en kjøring begrenset dette seg. En kjøring har en simulert tid mellom 10-12 minutter. I tillegg kommer avslåing og oppstart av ny kjøring. Dette til sammen tar mellom 25 til 30 minutter for å gjennomføre en enkelt kjøring. Alle kjøringene har blitt foretatt av undertegnede, altså ikke av en lokfører. I samtale med Halvor Gundersen ved simulatorskolen, trudde ikke han dette hadde noen stor innvirkning og begrunnet dette med to punkter:

- Pr. i dag finnes det mange ulike måter å kjøre et tog på, altså ingen standardisering
- Kjøringen er såpass kort så avvikene vil ikke være store.

Allikevel resulterte det i noen kjøring som ikke var fullgode, og dermed ikke blitt tatt med i analysen. Ruten som ble kjørt var enkel og oversiktlig, derfor vil kjøringene være meget like. Den startet med en utgangshastighet ut fra stasjonen på 40 km/h, opp til 60 km/h, til 80 km/h og til slutt endte på den høyeste målte hastigheten de siste 3-4 minutter avhengig av målingene. Pådraget ble slått av automatisk på nøyaktig samme sted på alle målingene. De ble foretatt i automat, som vil si at farten stiller seg automatisk slik føreren setter den. Det har ikke blitt tatt hensyn til tilbakemating av energi, det er kun blitt sett på trekraften.

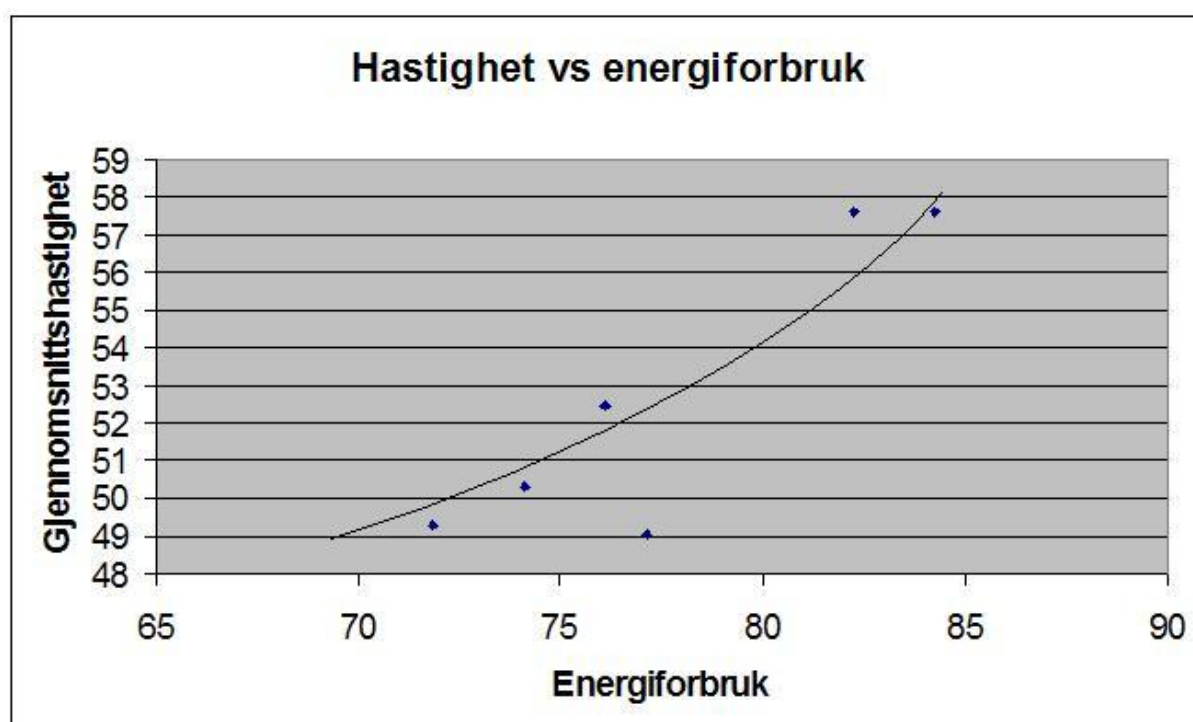
6.1.3.1 Hastighet

Det ble foretatt 8 kjøring for å finne ut om energiforbruket reagerer slik som forventet ved ulike hastigheter. Kjøringene ble foretatt som beskrevet ovenfor, men med 70, 80, 90 og 100 km/t som slutthastigheter slik at gjennomsnittshastigheten ble ulik. Gjennomsnittshastigheten vil gi et godt bilde av farten, da man ikke har noen stopp i kjøringene. Gjennomsnittshastigheten blir forholdsvis lav, da man har et minutt pause på stasjonen før start, men dette gjelder for alle kjøringene. Snitthastigheten leses av på EOR. Kjøringene vises i Tabell 9 Hastighet og energiforbruk.

Tabell 9 Hastighet og energiforbruk

Energiforbruk	Snitthastighet[EOR]
74.094	50.323
71.854	49.263
76.092	52.457
77.138	49.035
82.245	57.605
84.239	57.608
91.473	59.809
88.426	60.461

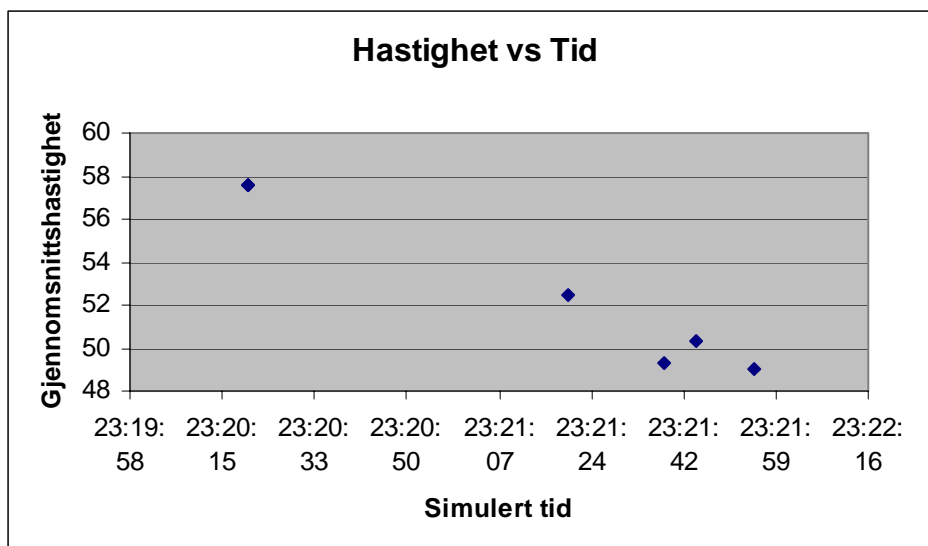
Teoretisk skal energiforbruket øke kvadratisk med energiforbruket, slik at man burde se en tendens til en parabel ved en samvariasjon av disse. Kjøringene er selvfølgelig ikke gjennomført ved konstant fart, da ville den blitt lineær med bakgrunn i den enkle ligningen for energiforbruk $E = Z \cdot s$, hvor Z er trekrafta og s er distansen. Det akselereres og bremses derfor vil den bli annerledes. Dette er teoretisk hvis kjøringene er perfekt gjennomført, noe som er vanskelig ved en fullskaleringssimulator. Uansett burde simulatoren reagere teoretisk riktig.



Figur 25 Hastighet vs energiforbruk

Som man ser fra Figur 25 Hastighet vs energiforbruk kan denne ha tendenser til å ligne en parabel. Som tidligere nevnt hadde det vært gunstig med flere målinger for å stadfeste den tendensen mer konkret. En kjøring faller noe utenfor de andre. Dette kan ha mange grunner, men størst sannsynlighet er det en kjøring som ikke er like vellykket som de andre. Denne kan man da antageligvis se bort ifra. Uansett viser simulatoren en trend for at energiforbruket stiger kvadratisk med gjennomsnittshastigheten, noe som vil være korrekt.

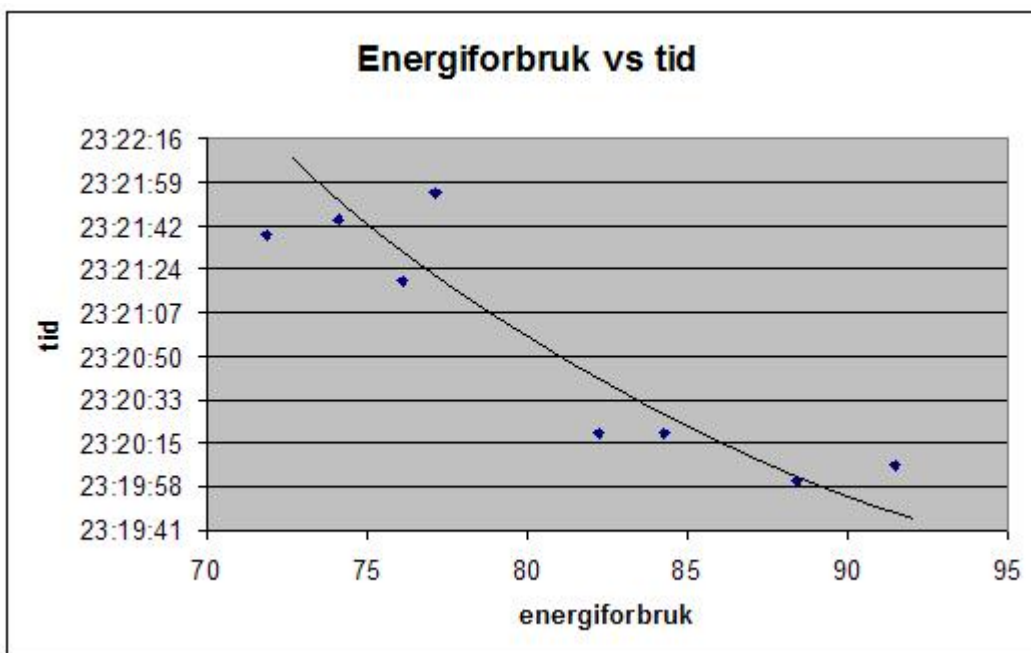
En enkel måte å verifisere om disse dataene er noenlunde korrekt, er å se på hastigheten sammenlignet med tiden. Denne skal ha en trend som er helt lineær.



Figur 26 Hastighet vs tid

Figur 26 Hastighet vs tid støtter det som ble nevnt ovenfor. Her er tendensen nesten tilnærmet lineær, utenom en kjøring som faller utenfor. Denne ser da korrekt ut.

Samme som ovenfor gjelder energiforbruket med hensyn på tiden på samme måte, på bakgrunn av sammenhengen mellom fart, strekning og tid. Jo lengre tid jo mindre energiforbruk ved en kvadratisk tilnærming slik at tendensen burde tilsi en parabel.



Figur 27 Energiforbruk vs tid

Fra Figur 27 Energiforbruk vs tid ser man denne tendensen, men med noe større spredning.

Ut fra de få målingene som ble gjort på hastigheten ser det ut som simulatoren oppfører seg i tråd med de teoretiske tilnærmingene. Denne støtter altså inndataen, slik den modellert, med utdataen, de verdier som kommer ut. Det burde vært gjennomført flere målinger for å få et bedre statistisk grunnlag, men man begynner allerede nå å se den riktige trenden.

6.1.3.2 Trekkraft

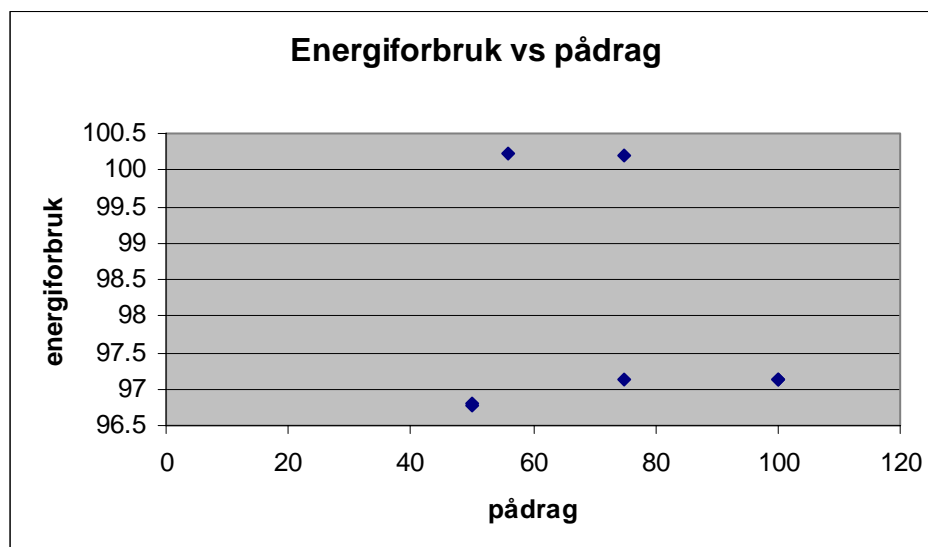
På simulatoren, og reelle tog, finnes det en innstilling hvor man kan stille ulik trekkraft på toget. Denne kan stilles fra 50 % til 100 %. For å illustrere hvordan akselerasjonen forholder seg til energiforbruket ble det valgt å bruke denne funksjonen. Ved lavere trekkraft, vil akselerasjonen også bli lavere. Som man så i modelleringskapitlet vil selvfølgelig trekkraften gradvis bli mindre jo fortere man kjører. Corys sin teoretiske modellering var meget forenklet og var tatt direkte fra leverandøren sine dokumenter, altså ikke fra reelle målinger. Det vil ikke si det samme som at den ikke er korrekt, noe den er med sammenligning av andre kilder, men noe forenklet.

Det ble gjennomført 7 ulike kjøring med ulik trekkraft på simulatoren. Disse spente fra 50-100 prosent trekkraft, se Tabell 10 pådrag og energiforbruk.

Tabell 10 pådrag og energiforbruk

Pådrag[%]	Energiforbruk
50	96.796
50	96.761
56	100.218
75	100.197
75	97.143
100	97.127
100	97.135

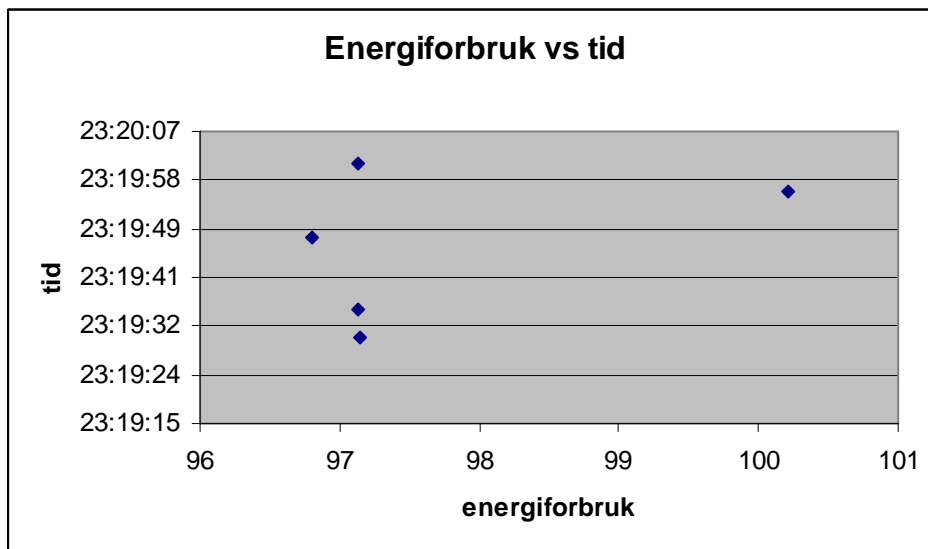
Som det ble diskutert i prosjektoppgaven ”Prestasjonsmåling av energiforbruk for tog”, var akselerasjon en av de parameterne som påvirket energiforbruket mest. Det skulle da tilsi en lavere akselerasjon, vil gi et lavere energiforbruk.



Figur 28 Energiforbruk vs pådrag

Fra Figur 28 Energiforbruk vs pådrag ser det ut som det ikke finnes noe sammenheng mellom energiforbruket og pådraget. Dette er meget bemerkelsesverdig. Teoretisk skulle man tro at jo lavere pådrag, jo lengre tid og mindre energi brukte man. Hvis man sammenligner energiforbruket og tiden som blir brukt innenfor de samme kjøringene, se Figur 29

Energiforbruk vs tid, ser man at de fleste kjøringene har tilnærmet likt energiforbruk, med unntak av to kjøringene som er helt like. Dette forteller lite, men kan være noe galt.

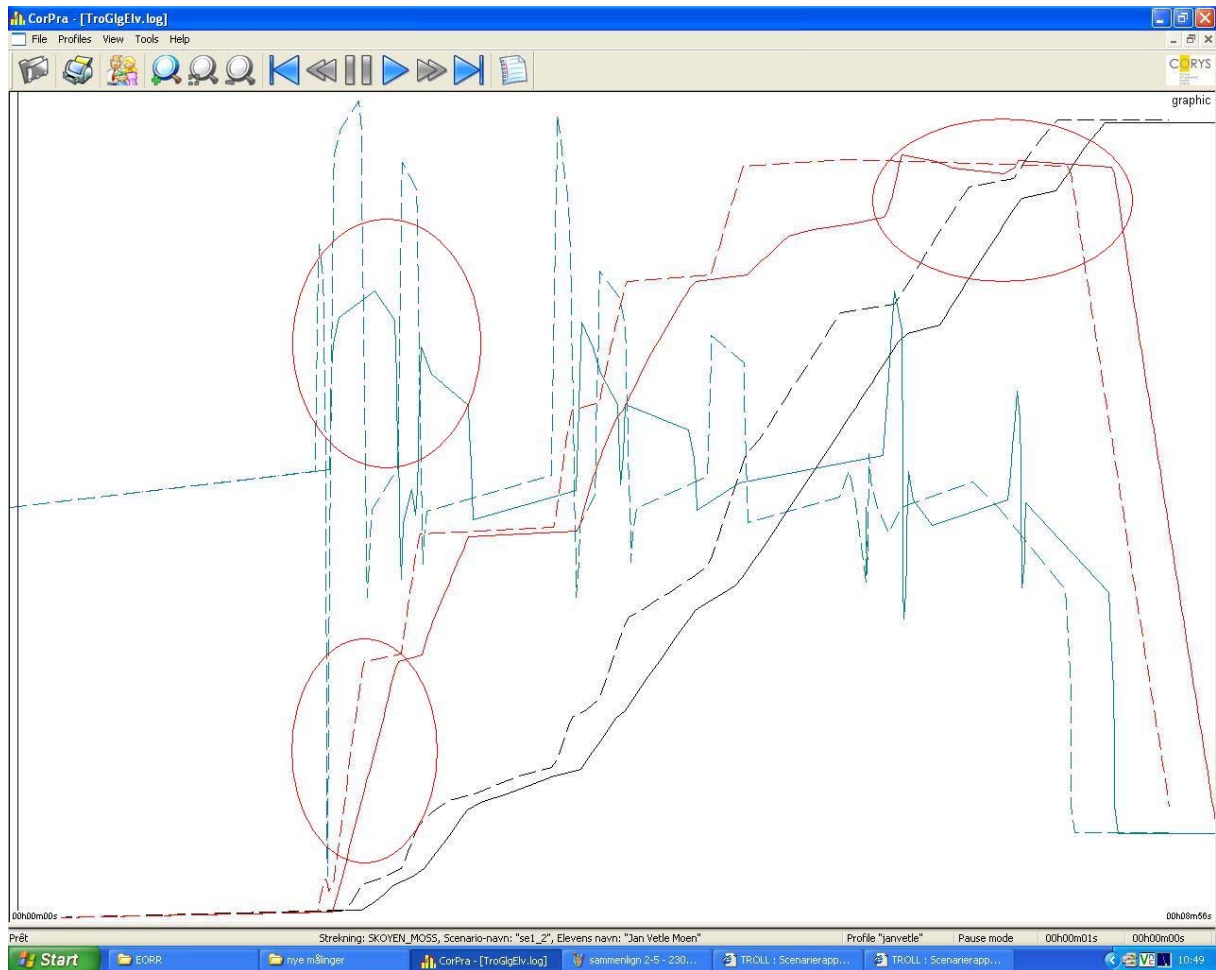


Figur 29 Energiforbruk vs tid

Simulert tid og snitthastighet gir en riktig illustrasjon, så det kan ikke være det feilen ligger.

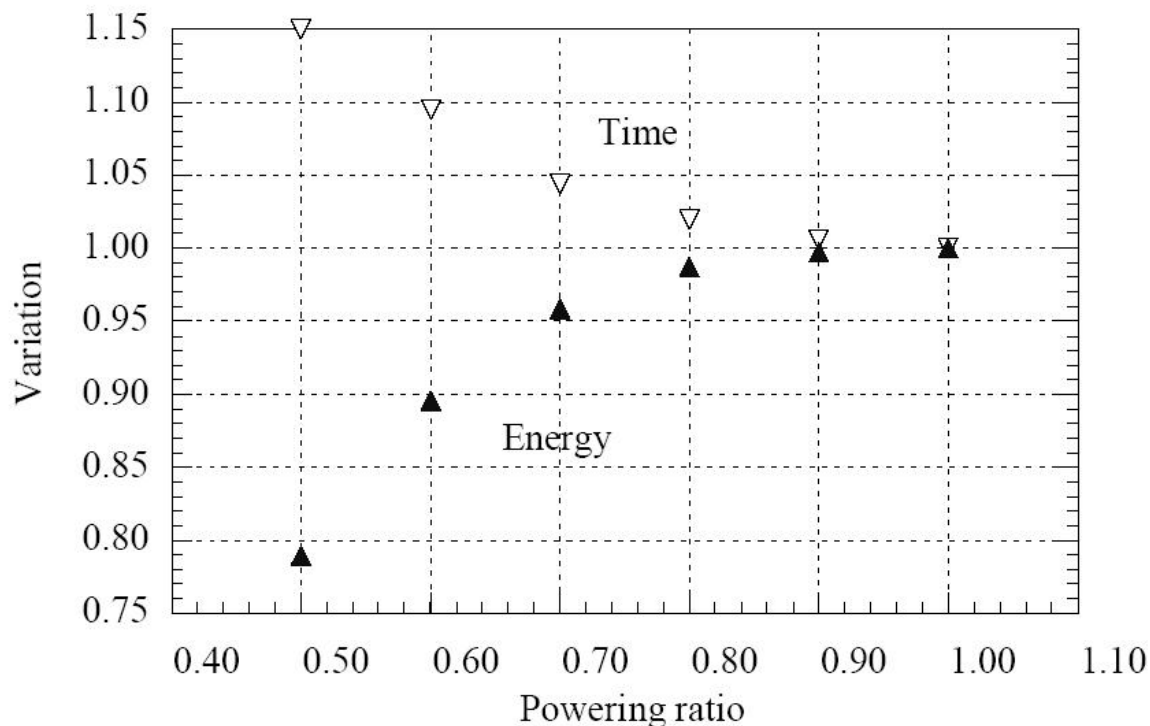
For å finne ut om simulatoren faktisk registrerer et lavere pådrag kan man bruke CorPra for å plote inn akselerasjon, hastighet og energiforbruk, se Figur 30 Sammenligning 50 og 100 % pådrag. Stiplet=100%, heltrukket=50 %. Turkis=akselerasjon, rød=hastighet, svart=energiforbruk.

Nederst til venstre på figuren ser man at pådraget registreres da de to ikke har like kraftig stigning på hastighetskurven. Man ser også dette øverst til venstre, hvor akselerasjonsgrafene er betydelig lavere ved 50 % pådrag enn ved 100 %. Det er altså en kraftigere akselerasjon hele veien, før mot slutten da 50 % pådrag får noen peaker på bakgrunn av litt dårlig kjøring. Øverst til høyre i figuren ser man også et eksempel på at topphastigheten holdes noe lengre. Dette skulle tilsi et høyere energiforbruk. På bakgrunn av dette skulle man tro at man ville se en trend i forhold til energiforbruket og pådraget, men det gjøres ikke. Det er så å si ingen forskjell på energiforbruket mellom disse.



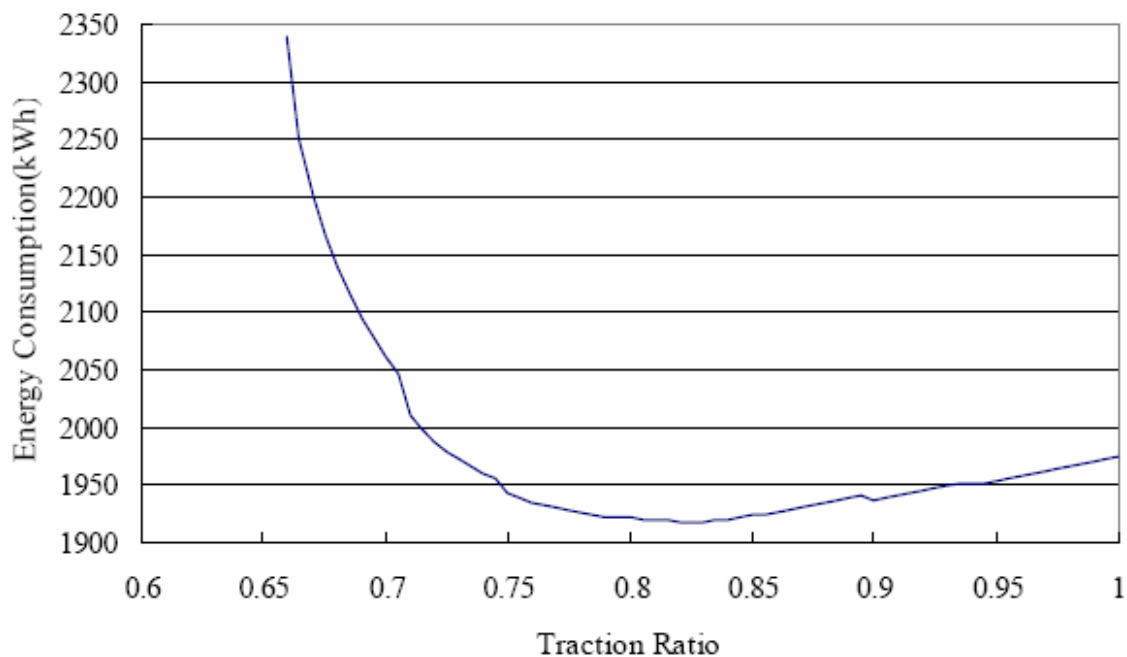
Figur 30 Sammenligning 50 og 100 % pådrag. Stiplet=100%, heltrukket=50 %. Turkis=akselerasjon, rød=hastighet, svart=energiforbruk.

Teorien sier lavere akselerasjon gir lavere energiforbruk. Men det er lite teori hvordan trekraftraten forholder seg til energiforbruket, da man som regel regner med at man har tilgjengelig full trekraft hele veien (hvis det er noe forskjell?). Det som ikke tas hensyn til i de tilfellene er ved manuell kjøring, hvor det viser seg at føreren sjelden bruker full trekraft (Lukaszewicz, 2001). Lukaszewicz har satt opp forholdet mellom trekraftrate, energiforbruk og tid, se Figur 31 sammenheng mellom trekraftrate, energiforbruk og tid. Denne viser avviket man får mellom tid og energi ved ulike trekraft. Den sier ikke mye om hvordan trekraften forholder seg til energiforbruket, bare at man må regne med en lengre tid på distansen som kjøres, noe som burde tilsi et lavere energiforbruk.



Figur 31 sammenheng mellom trekkraft, energiforbruk og tid (Lukaszewicz, 2001)

Jong og Chang (2005) har gjennomført en sensitivitetsanalyse på akkurat dette innen elektriske tog. De har modellert en strekning på 85 km med 17 stasjoner. Forholdet mellom energiforbruk og trekkraften ses i Figur 32 Energiforbruk og trekkraft (Jong og Chang, 2005).



Figur 32 Energiforbruk og trekkraft (Jong og Chang, 2005)

Denne figuren er også bemerkelsesverdig da den viser en u kurve med det høyeste energiforbruket ved 50 % trekkraft, og den laveste omkring 82 %. Det artikkelen ikke sier noe om er om ruten må kjøres innen en viss tid uten fartsbegrensninger. Da kan denne figuren forsvares, da man må ha en betydelig høyere toppfart ved 50 % trekkraft enn ved 100 % for å nå de ulike stasjonene innen rutetabellen.

Uansett er det en sammenheng mellom trekkraft og energiforbruk som ikke kommer frem ved simulatoren. Hadde vært gunstig med flere målinger for å understøtte dette, eller finne feilen. Om det er utdataen som kommer på EOR eller om beregningene er feil vites ikke. Men feil verdier på EOR har forekommet, og blir diskutert nærmere i neste kapitel.

6.1.3.3 Masse

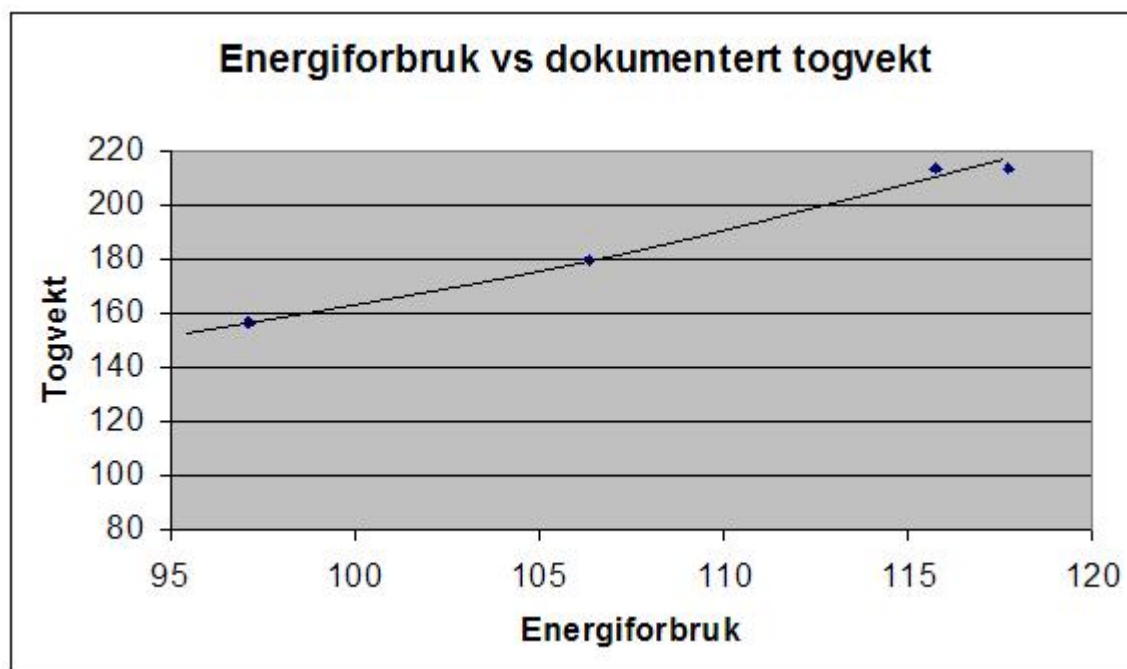
Det ble foretatt 6 kjøring for å se på hvordan energiforbruket reagerer med ulike masser. Kjøringene ble gjennomført med 0, 50 og 120 % masse av togsettet. I prosjektoppgaven "Prestasjonsmåling av energiforbruk på tog" ble det diskutert om massen på togene ved simulatoren var feil. Dette kan nå bekreftes. EOR oppgir den samme vekt uansett hvordan man stiller inn massen på toget, se Tabell 11 Massens innvirkning på energiforbruket. Altså er utdataen feil. Inndataen derimot kan se ut som er riktig, når man ser på hvordan energiforbruket forholder seg til vekten.

Tabell 11 Massens innvirkning på energiforbruket

Vekt[%]	Energiforbruk	Togvekt [EOR]	Simulert tid [EOR]	Togvekt dokumentasjon	Snitthastighet
0	97.127	155.373993	00:09:03	156.3	64.973
0	97.135	155.373993	10:11	156.3	66.841
50	106.369	155.373993	00:03:28	179.65	10.659
50	106.341	155.373993	23:19:40	179.65	64.585
120	117.731	155.373993	23:19:29	213.3	65.911
120	115.724	155.373993	23:19:34	213.3	65.304

En annen underlig ting er hvordan den simulerte tiden fremkommer i EOR. Dette oppstår i alle mine kjøring på denne strekningen, og gir et helt feil bilde av hvor lang simuleringen er. Det kan se ut som alt er snudd på hodet, når kjøringene er på over 23 timer. Allikevel er også dette en utdata feil, da alt tyder på (se ovenfor) at simulatoren reagerer riktig med den simulerte tiden som er oppgitt. Uansett må dette rettes opp umiddelbart. Sammen med Halvor Gundersen ble det en del knotning rundt dette feltet for å finne feilen. For eksempel kjøring 3 i tabellen illustrerer dette, hvor kjøringen bare på papiret har vart 3 minutter. Tiden er uansett ikke viktig når man skal se på om simulatoren reagerer som forventet i forhold til masse og energiforbruk.

Da man ikke har den tilgjengelige vekten på EOR arkene, brukes det den dokumenterte vekten som utgangspunkt, altså slik simulatoren skal være programmert. Forholdet mellom den dokumenterte vekten og energiforbruket, se Figur 33 Energiforbruk vs dokumentert togvekt.



Figur 33 Energiforbruk vs dokumentert togvekt

Figuren viser at den har en tendens til en parabel, noe som er teoretisk riktig. Her er det også litt for få målinger for å se om den har den helt riktige tendensen, men man kan fastslå at energiforbruket stiger i takt med togvekten, som er riktig. Noe som er viktig å få til er at utdataen illustrerer det riktige bildet av kjøringene. Hittil gir simulatoren et feil bilde siden den setter lik masse uansett. En annen rar ting er at den setter massen lavere enn den programmerte massen på 156,3 tonn. Dette er underlig.

6.1.4 Oppsummering verifisering

Simulatoren ser ut som oppfører seg stort sett i tråd med det som er forventet. Men all utdataen kommer ikke ut som forventet. Et problem er den simulerte tiden, hvor den er feil på de fleste kjøringene, en annen ting er massen som er feil på EOR uansett hvilke last man har på toget. De forholder seg likt til hverandre så sammenligningene blir riktig. Pådraget på simulatoren ble man heller ikke særlig klok av. Her bør det gjøres flere kjøringene, for å finne ut av om denne er riktig.

6.2 Validering

En modell må være testet og validert. En validering skjer som regel etter at modellen er modellert. En sammenligning med det reelle systemet er hovedsaken i en valideringsprosedyre. NSB sine treningssimulatorer er validert for trening av lokførere, men ikke validert i forhold til de data som kommer ut fra simuleringen i forhold til energiforbruk, som er spesielt interessant for denne oppgaven. Som vi husker fra kapittel 3 vil en validitetstesting bestå av å sammenligne utdata fra modellen og det reelle systemet. Planen for denne oppgaven var å ha tilgjengelige data både fra modellen og systemet. Uheldigvis ble det ikke tilgang på et så godt datamateriale fra det reelle systemet som hadde vært ønskelig. Det er derfor valgt å ta utgangspunkt i et datamaterialet som NSB hadde tilgjengelig, som ikke var logget til dette formålet. Resultatet er derfor noe begrenset og det er derfor valgt å bruke dette som et eksempel på hvordan det kan gjøres.

6.2.1 To typer validering

Som nevnt i teorien finnes det to typer validering, fasadevalidering og statistisk validering. Begge disse bør være tilfredstilt for at modellen skal være validert. Under kommer en liten analyse for de begge.

6.2.1.1 Fasadevalidering

Fasadevalidering vil si at modellen representerer virkeligheten utad, altså en animert eller teknisk fremstilling av prosessen slik at den stemmer overens med virkeligheten.

Ved en treningssimulator er det viktig at man får et inntrykk av at man kjører det toget som man skal trene på. Det vil si at det treningsutstyret som brukes representerer det virkelige toget opp som virkeligheten som overhodet mulig. Det finnes to ulike treningssimulatorer på simulatorsenteret; førerbordsimulatorer og fullskalasimulatoren (replica).

6.2.1.2 Førerbordvalidering

En førerbordsimulator kjennetegnes ved at den ikke har noe ”styrehus”, men hvor det er montert nødvendig utstyr for oppstart, drift og sikkerhetsstyring. En projektor blir brukt for å få frem et stort og reelt skjermbilde. Denne løsningen er rimeligere enn en fullskalasimulator, og gir en rekke av de samme funksjonene. Den er utmerket til å utdanne et større antall førere, med hensyn på scenarier innen signalisering, sikkerhetsforsterkning og energieffektiv kjøring, da man kan ha flere simulatorer til en rimelig penge. Sundland operer med fem slike til opplæring, og en instruktørstasjon tilknyttet disse.



Figur 34 Multifunksjonell simulator

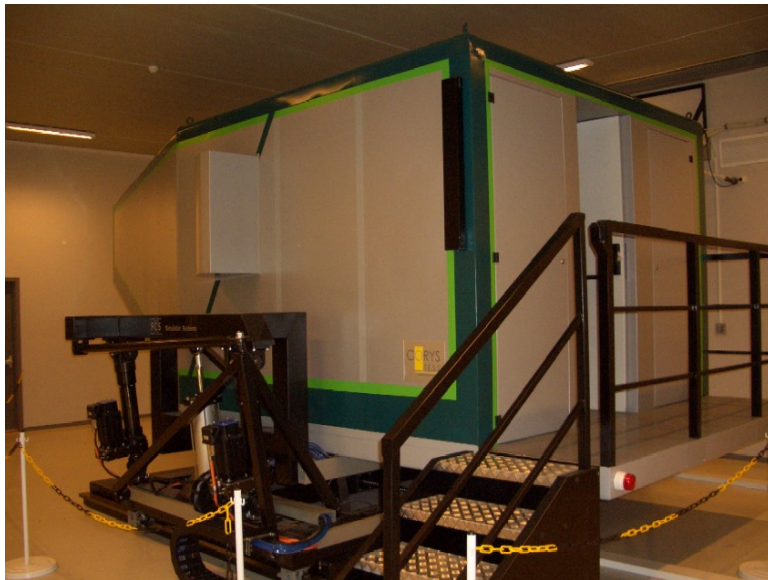
De multifunksjonelle simulatorene er utstyrt som en modell med utgangspunkt i type 72 førerbord som inneholder:

- En berøringssensitiv diagnoseskjermer med samme dimensjoner som originalen.
- To CRT-skjermer for visning av plattformene, slik disse vil ses i speil eller monitor.

- Alt av brytere, håndtak og lamper som forekommer på et reelt førerbord, hvor noen av elementene finnes på trykkfølsomme skjermer, ”touch screens”.
- Intercom og togradio.

Dette er et førerbord med utgangspunkt i type 72, da man også kan simulere godstog ved dette panelet. Alle de elementer som er i et tog er representert, enten ved skjerm eller fysiske knapper og spaker. Virkelighetsfølelsen blir god, selv med trykkfølsomme knapper som et alternativ.

Fullskalasilatoren reproduserer et tilnærmet komplett reelt arbeidsmiljø for lokføreren. Den er noe av det mest avanserte man kan få tak i av opplæringsredskaper, og gir en mer individuell tilpassing for eleven. Selve ”togfølelsen” vil også bli betydelig sterkere da man får en realistisk simulering av akselerasjon, deselerasjon, høydeforskjell, krengeing o.l. Simulatoren har et bevegelsessystem kalt 5 DOF som vil si at den har en bevegelighet i fem retninger.



Figur 35 Fullskalasilator

Fullskalasilatoren er en førerromsmodell i aluminium med innvendige mål og farger som er en tro kopi av den faktiske førerplassen om bord i NSBs type 72. Den inneholder:

- Et visningssystem for utsikten gjennom frontruten. Det gjøres ved bruk av datagenererte bilder som vises ved hjelp av en LCD-prosjektor og projiserings skjerm for direkte projisering.
- Et visningssystem for plattformbildet i speil/monitor. Dette gjøres ved bruk av datagenererte bilder.
- En interaktiv togs skjerm plassert på bakveggen av førerrommet. Denne skjermen representerer og styrer krets brytere og utstyr som befinner seg utenfor førerrommet. Dette gjør det mulig for operatøren å utføre operasjoner utenfor førerrommet som for eksempel diagnostisering av dører, isolering av bremsesystemet osv.
- Ett trيفونisk lydsystem med høytalere i førerrommet.
- Et kommunikasjonssystem for kommunikasjon med instruktøren. Dette representerer radioen og intercom-systemene.

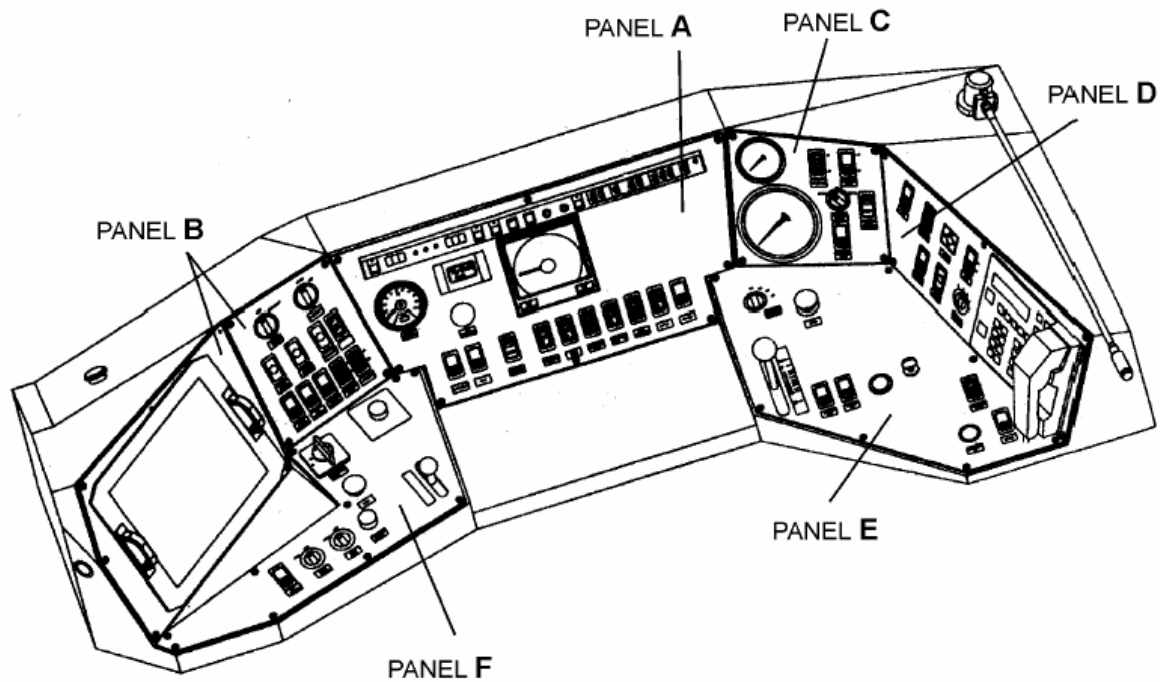
- Et førerromskamera som gjør det mulig for instruktøren å overvåke elevens handlinger og atferd.



Figur 36 Førerbord fullskalasilulator

Fullskalasilulatoren har alle brytere, betjeningsanordninger og måleinstrumenter som finnes i type 72 tog. Dette gir den reelle følelsen av faktisk å sitte bak spakene i type 72 tog.

Begge disse førerbordene kan sies å være fasadevalidert i forhold til et opplæringsprogram. Hvis man sammenligner disse med de reelle førerbordet i type 72, se Figur 37 Førerbordpanel type 72, med simulatorene ser man at ingenting er utelatt. Ved fullskalasilulatoren er det blitt foretatt en tro kopi, og gyldigheten er så god som overhodet mulig.



Figur 37 Førerbordpanel type 72 (NSB, 2003)

Ved multifunksjonelle simulatoren er det noe annerledes, men troverdigheten er stor. Ved samtaler med lokførere som har kjørt ved simulatoren, syns ikke de at skjermer minker troverdigheten på førerbordet i forhold til reelt.

6.2.1.3 Skjerm bilde

En annen del av fasadevalideringen er skjerm bilde som vises, og hvordan dette vises ut mot føreren og om dette er reelt i forhold til systemet. Simulatorsenteret på Sundland har for øyeblikket to reelle strekninger som er simulert fra det norske rutenettet. Strekningene ble laget ved at de filmet den reelle strekningen med videokamera, for så å programmere og animere disse. Dette gjorde at disse to strekningene er meget reelle, og det sies fra lokførere at de kjenner seg igjen på strekningene når de kjører simulatoren.



Figur 38 Skjerm bilde

Figur 38 Skjerm bilde viser grafikken på skjerm bilde og førerens frontutsikt. Skjerm bildet vises ved hjelp av projektor, derfor har føreren kun et bilde av utsikten rett i front. Dette er med unntak av når man kjører inn på stasjoner, hvor føreren får et bilde på skjerm som skal illustrere utsikten i førerens speil for å se plattformen.

De ansatte på simulatorsenteret har gjennom lang tid gått igjennom disse strekningene for å sikre seg at de representerer de virkelige strekningene. De er meget godt fornøyd med dem. Det som er viktig ved en slik validering er at de symboler og prosessene som skal trenes på er riktig plassert. Eksempler på dette er for eksempel lysanlegg og planoverganger for å nevne noe. Valideringsdelen foregikk slik at de laget en oversikt over de feil og mangler som var, for så å sende en oversikt over disse til Corys. Dette gjaldt også de tekniske prosedyrene og komponenter som ble simulert, spesielt innen ATC hvor det var en del feil og mangler.

Fasadevalideringen er noe som må følges opp kontinuerlig da systemet endrer seg kontinuerlig. Selv om fasadevalideringen er gjort tilfredsstillende for øyeblikket er det viktig at det blir fulgt opp, både hvis det skjer endringer ved førerbordet eller ute på strekningene.

6.2.2 Statistisk validering

Statistisk validering innebærer en objektiv og kvantitativ sammenligning mellom det reelle og det simulerte systemet. Ved treningssimulatorer er det ikke så vanlig å gjøre en statistisk validering, men ved togsimulatorer på Sundland er det stor interesse for å kunne avdekke hvor godt energiforbruket ved simulering representerer virkeligheten. Dette må gjøres ved kvantitative tilnærminger.

Statistisk validering innebærer å se om det er noen statistiske forskjeller mellom simulatoren og virkeligheten. Den mest brukte måten er å bruke datainnsamling for så å se på trendene. Her er det naturlig å bruke de verktøy NSB er mest kjent med. Birger Kvaavik har laget en

bruksanvisning for NSB sitt forbedringsarbeid, og hvordan arbeidet med dette bør gjøres. Innenfor måling av energiforbruk er styringsdiagram-XMR og samvariasjonsdiagrammer fine verktøy å bruke.

Når det gjelder energiforbruk på tog kan man samle inn data både reelt og simulert direkte på energiforbruket. Ved validering er det viktig at man måler eksakt på samme system, slik at sammenligningen blir gyldig. Det vil si at man må måle på samme strekning både på simulator og reelt.

I denne oppgaven var meningen at det skulle bli utført målinger på reelle tog ved automatisk innsamling på bakgrunn av installerte målere. Disse målerne ble dessverre ikke installert i løpet av prosjektperioden, og man fikk ikke noen reelle målinger på tog, slik at valideringen kunne bli påbegynt. Men for å illustrere eksempel på hvordan man kunne validere deler av simulatoren, ble det gjort tilgang til noe data fra 2005. Denne dataen ble ikke samlet inn for å validere simulatoren og må dermed, som tidligere nevnt, brukes med stor forsiktighet.

Som nevnt tidligere vil datakildene for validering av simulatoren stamme fra TELOC og simulatorens analyseprogram CorPra. Den datatilgangen man har fra TELOC går ikke direkte på energiforbruk. Det er blitt logget distanse og tid og fra dette kan man finne hastigheten. Intensjonen med å illustrere hastigheten grafisk er å se på lokførers atferd ved kjøring av toget. Ved å sette farten grafisk ser man hvordan lokfører kjører toget med hensyn på toppfart og akselerasjon, som er viktige momenter for fremføring av et tog. I prosjekttoppgaven ”Prestasjonsmåling av energiforbruk for tog” ble det satt et spørsmålstegn hvorvidt atferden til lokfører var annerledes ved simulatorkjøring enn ved reell kjøring. Dette var med bakgrunn av ren observasjon av lokførerne, at lokfører muligens slappet mer av ved simulatorkjøring, ved å se på hastigheten plottet grafisk i ettertid. Ved reelle målinger av hastigheten er dette et moment som kan belyses; er atferden til lokfører annerledes ved simulatoren enn reelt?

6.2.3 Analyse lokførers atferd

For å finne ut av lokførers atferd på simulatoren i forhold til reelle kjøring, ble det valgt å se på strekningen mellom Moss og Ski. Denne er programmert i simulatoren så reelt som overhodet mulig, og vil gi en god indikasjon på om lokfører kjører toget annerledes simulert enn reelt. Det har blitt logget ti reelle kjøring og elleve simulerte kjøring.

6.2.3.1 Reelle kjøring

Ti reelle kjøring har blitt analysert. All data er hentet fra Teloc, hvor intensjonen med disse dataene ikke er å se på atferden til føreren, men da man ikke fikk installert målere på togene innen denne oppgaven skulle være ferdig, er det valgt å bruke disse dataene. Kjøringene var gjennomført mellom 24-26 mai, 2005. Det er ett togsett som har blitt analysert, med ulike lokførere som har kjørt. Selve farten ble logget for ujevnt, det er derfor valgt å se på forholdet mellom distansen som blir tilbakelagt i forhold til den tiden det bruker. Dette gir noe støy på grafen, men trenden vises. Det er også stor forskjell på hvor ofte registreringene har forekommet i løpet av en kjøring, fra 180 loggpunkter til 600 loggpunkter på den hyppigste. Kvalitetssikringen ved at man faktisk har de riktige dataene mellom Moss og Ski, foregår ved at man sammenligner rutetiden, Jernbaneverkets målinger av strekningen med tiden som er målt og distansen som er tilbakelagt. En vesentlig feil som ble gjort her var at det ikke ble tatt hensyn til kjedebrudd. Dette skapte store problemer med analysen, og ble ikke lagt merke til med det samme. Det eksisterer et kjedebrudd på 949 meter mellom Moss og Ski. Dette tar simulatoren hensyn til, men ved Jernbaneverkets data er ikke disse lagt inn i selve datamaterialet (se vedlegg G). Dette skapte en differanse mellom simulatoren og det reelle

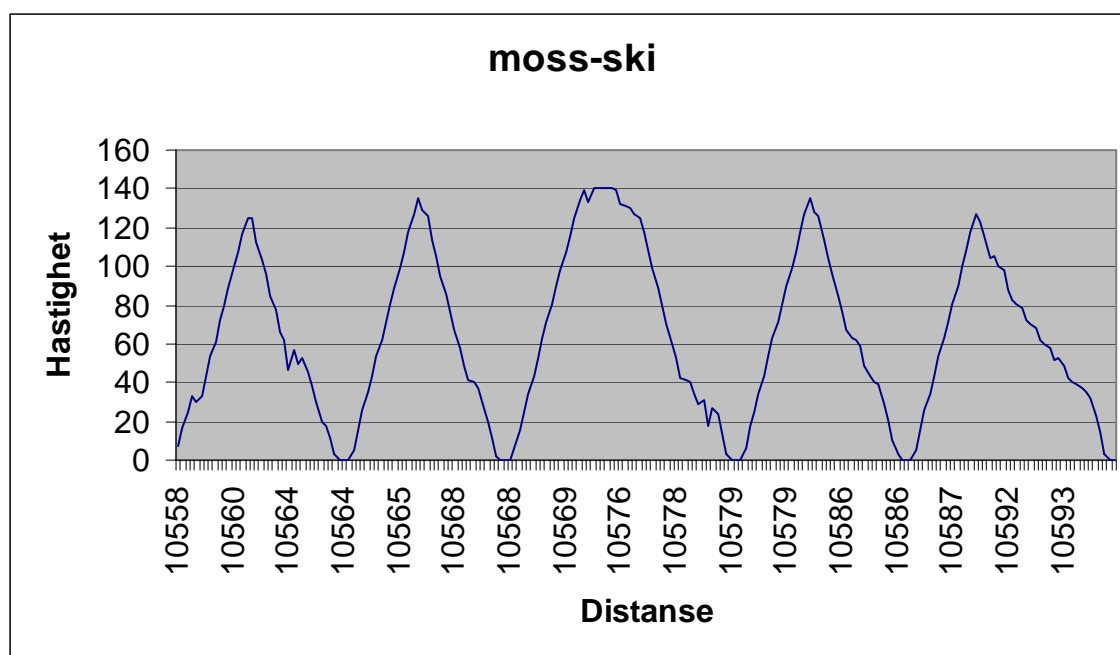
som tok mye tid å forstå, men ble oppklart til slutt. Det viser seg at den reelle distansen og den simulerte distanse er identiske, noe som er bra.

Målingene starter fra toget kjører ut fra stasjonen i Moss, til den ankommer stasjonen på Ski. Her vil det bli noe avstand mellom simulert og reelt, da man ikke starter den simulerte kjøringen med det samme, da det er en liten ventetid på stasjonen i Moss. Snitthastighet vil da bli noe annerledes mellom reelle og simulerte kjøringene. Som man ser fra Tabell 12 Tid og hastighet reelt og simulert ligger de simulerte kjøringene i snitt ca 1 minutt lengre enn reelle. Dette passer greit, da man ikke starter fra Moss med det samme ved simulert. Det er valgt å ta bort 2 av de reelle kjøringene, da de ikke var kjørt i samsvar med de andre (en ekstra stopp som kan ha kommet av stopp ved signal og lignende).

Tabell 12 Tid og hastighet reelt og simulert

Snitthastighet [Reelt]	Tid [reelt]	Snitthastighet [Simulert]	Tid [simulert]
74.33	28:13.0	71.58	29:20:00
76.73	27:23.1	73.25	28:43:00
77.58	27:05.1	74.11	28:23:00
78.66	26:42.9	74.5	28:08:00
79.87	26:14.1	75.21	27:57:00
79.96	26:15.9	76.1	27:39:00
81.52	25:43.8	77.5	27:05:00
83.7	25:05.2	78.18	26:53:00
		78.5	26:43:00
		83	25:18:00
		83.8	25:00:00

Man ser fra dette at både hastigheten og tiden som blir kjørt stemmer godt overens med hverandre. Hvis vi sammenligner den grafiske framstillingen av hastighet overens med hverandre, ser man at det er forskjeller på de ulike kjøringene (se vedlegg D). Topp hastigheten ligger mellom 120 km/h til 160 km/h. De opprettholder heller ikke topp hastigheten over tid, se Figur 39 Eksempel på en reell kjøring mellom Moss-Ski. Det at kjøringene har forholdsvis store forskjeller, kan komme av at lokfører kjører etter rutetabellen og hvordan han ligger i forhold til denne. I eksempelet under ser man at lokfører aldri overstiger 140 km/h selv om hastighetsbegrensningen på denne strekningen er satt til 160 km/h. Det er sjelden lokføreren kommer opp i topp hastigheten på denne strekningen.



Figur 39 Eksempel på en reell kjøring mellom Moss-Ski

Stoppene er det hastigheten er null. Kjøringene begynner i Moss, ved stopp på Kambo, Sonsveien, Vestby, Ås og tilslutt Ski stasjon.

6.2.3.2 Simulerte kjøring

Det er blitt gjennomført 11 simulerte kjøring mellom Moss og Ski av fire ulike lokførere, både manuelt og i automat. Som man ser fra Tabell 12 Tid og hastighet reelt og simulert, ser man en større spredning mellom kjøringene rent tids og hastighetsmessig enn ved reelt. Dette kan komme av at kjøringene ikke direkte kjøres etter ruteboken, men kun ved at man setter seg bak spakene for å kjøre igjennom ruten med de stopp på stasjoner som er reelt. Dette kan skape noe feilkilde.

Det man kan se fra alle disse kjøringene er at topphastigheten er høy. Alle kjøringene har en topphastighet på 160 km/h. Alle kjøringene har også en mer lik tendens enn ved reelt, dvs at hastighetskurvene ligner mer på hverandre altså en likere kjøring. Ser man på Figur 40 Simulert kjøring Moss-Ski, automat, ser man at hastigheten er rundt 140 km/h på første peak, mens rundt 160 km/h på de fire neste toppene. Det vises også at topphastigheten holdes lenge for så å bremse ned.

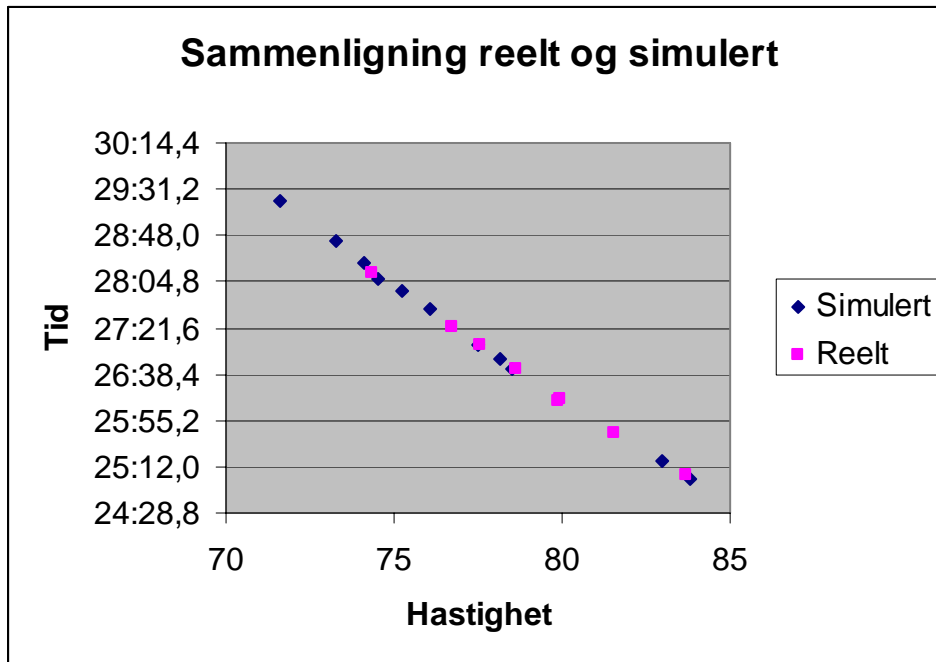


Figur 40 Simulert kjøring Moss-Ski, automat

6.2.3.3 Sammenligning mellom simulerte og reelle kjøring

Det ble antydnet i prosjektoppgaven at det antageligvis er en forskjell mellom simulerte og reell kjøring når man ser på kjøreatferden. Ut fra de målingene som er gjort kan dette støttes. Det virker som om den simulerte kjøringene har langt lettere for å nå den toppfarten som er satt på ruten. Ved de reelle kjøringene kommer man sjelden opp i 160 km/h (kun i et tilfelle), i snitt ligger de mellom 120 og 140 km/h. Ved simulert kjøring viser den en klar trend at topphastigheten ligger mellom 140 og 160 km/h, med størst vekt på 160 km/h. Dette viser at det er en klar forskjell mellom simulert og reell kjøring. Topp hastigheten holdes også mye lengre ved simulert kjøring, det vil si at hastigheten holdes helt til man må begynne å bremse ned. Dette forekommer ikke ved reell kjøring, hvor topphastigheten blir nådd, for så med engang begynne bremse ned mot stasjonen.

Fra Figur 41 Sammenligning mellom reell og simulert ser man at kjøringene ligger forholdsvis likt. Hadde ikke den simulerte kjøringen hatt en pause på startstasjonen ville nok de ligget helt oppe i hverandre i forhold til tid og gjennomsnittshastighet. Dette indikerer at distansen som blir kjørt i forhold til tid og hastighet, er lik mellom simulert og reelt.



Figur 41 Sammenligning mellom reell og simulert

Kjøring av simulator gjør at føreren slapper mer av enn ved kjøring i det virkelige liv. Atferden til føreren er nok noe annerledes i en simulator enn i det virkelige liv, da føreren slapper mer av i en simulator, i hvert fall når instruktørene kjører simulatoren. Ved ren observasjon av føreren i en simulator støttes dette. Ved mer data fra det reelle systemet kan man finne mer ut av dette, for å se om energiforbruket blir høyere eller lavere.

7 Konklusjon

I dette kapitelet vil oppgavens konklusjon bli presentert. Videre vil det bli diskutert måloppnåelse og forslag til videre studier.

7.1 Oppgavens konklusjon

Oppgavens problemstilling ble i kapitel 1.2 spesifisert til følgende tre punkter:

1. Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller. Et sammendrag av dette skal presenteres.
2. Kvalitetssikring av simuleringsresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Dette kan omfatte både målt energiforbruk og observert kjøreatferd (simulert sammenlignet med observert).
3. Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kan forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i (simulert sammenlignet med forventet).

Det blir i det følgende diskutert relevante funn knyttet til problemstillingene og eventuelle konklusjoner som kan trekkes.

Litteraturstudiet i kapitel 3 ga et bilde av hvordan en god modellering burde gjøres i forhold til kvalitetssikring av data med hensyn på oppbygging, verifisering og validering. Innen jernbane er det gjort en del simuleringsstudier, men ikke så omfattende innen energiproblematikken som i for eksempel rutetider og punktlighet. En god modellering tar utgangspunkt i gode inndata, da så få som mulig antagelser gjøres. Simuleringsstudien SimERT er et godt eksempel på dette, hvor det meste av dataen som ble brukt var målt på reelle tog for så å modellere systemet. Valideringen vil da bli mer nøyaktig, med liten feilprosent. Dette er en omfattende prosess og bør gjennomføres ved selve modelleringen og ikke etter. Man kan da konkludere med at god inndata er essensielt, slik at reelle målinger bør gjøres før modelleringen. Har man ikke gjort dette blir det som regel gjort en del antagelser. Disse antagelsene bør (må) være dokumentert! Uten god dokumentasjon på antagelser er det vanskelig å gå tilbake ved en eventuell ny verifiserings- eller valideringsprosess. Ved modellen på Sundland var det vanskelig å finne dokumentasjon på de antagelser som var gjort. Dette hang i sammen med at simulatoranlegget ikke er ferdig utviklet og leverandør vil vente med å gi all den dokumentasjon de har tilgjengelig.

Ved simulatorsenteret på Sundland var energisparedelen en bonuspakke de fikk med på anskaffelsen av simulatorene, ikke en tiltenkt treningsprosedyre. Nå stiller dette seg annerledes. NSB ser nå fordelene med dette og vil bruke simulator som et verktøy for å spare energi. Verifisering og validering av hvordan simulatoren forholder seg i forhold til energi har ikke vært et hovedemne ved bygging av simulatoren. Dette har medført at det ikke er blitt gjennomført en verifisering eller validering med hensyn på energiforbruket. Modellen er ikke bygd opp på bakgrunn av reelle målinger, men på bakgrunn av de fysiske lover som gjelder. Feilprosenten er nok forholdsvis stor. Men er dette av stor betydning? Slik en ser det skal simulatoren bli brukt i en opplæringsituasjon for å bevisstgjøre lokføreren hvordan man kan spare energi. Vil det ikke da holde at simulatoren reagerer på samme måte som et reelt tog med hensyn til de faktorer som påvirker energiforbruket? Det som kanskje er mer viktig er oppfattelsen og troverdigheten ved simulatoren som et treningsverktøy. Men det finnes ikke tvil om at simulatoren må reagere og være stilt inn på samme nivå som reelle tog, slik at for eksempel automat og manuell kjøring gir like resultater utad. Men dette går igjen på

oppfattelsen av simulatoren som et treningsverktøy. Vet man hva som påvirker energiforbruket på reelle tog, kan simulatoren stilles inn slik at oppfattelsen på simulatoren blir den samme. Hvorvidt tallene og data som kommer ut er likt med reelle systemet, vil kanskje fatte mindre interesse. Her er det viktig å gjøre en kostnad/nytte analyse, hvor mye ressurser man vil bruke for å validere simulatoren med hensyn på datagrunnlaget.

En side ved dette er ved forskning og testing på systemet. Da må dataene stemme overens, for å gi de riktige signalene. Det vil være viktig å finne ut av hvordan man skal bruke simulatoren, og hvor mye ressurser skal brukes for å validere simulatoren innen energiforbruk. Det er ikke tvil om at simulatoren er validert med hensyn på en treningssituasjon.

Verifiseringsprosessen er en viktig del ved simulering. Det at simuleringen gir de data som er forventet at det gir er essensielt. Simuleringene viste en riktig trend ved de hastighet og vekt, mens pådraget ikke viste noe utslag. Her bør det gjøres grundigere studier for å finne ut om dette er riktig eller galt. Det er vanskelig å ta de helt store konklusjonene på bakgrunn av såpass få målinger, men trendene vises, noe som er positivt for videre studier.

Utdataen man får på EORR viste en del mangler. Dette er en essensiell mangel som bør være riktig ved ferdigstilling av simulatorsenteret. Softwareprogrammet som brukes ved analyse, CorPra, hadde også noen mangler som må rettes opp.

Valideringen av simulatoren ble noe mangelfull, spesielt på den statistiske valideringen da det ikke ble nok tilgjengelig data. Fasadevalideringen er noe som har vært oppe på simulatorsenteret tidligere, og det kan bekreftes at den er validert. Den statistiske validering ble vanskelig å gjennomføre uten nok data fra det reelle systemet. De dataene som var tilgjengelig fikk vist en atferd på hvordan lokførere kjører mellom Moss og Ski. Ved sammenligning av reelt og simulert så man at distansen var helt korrekt, mens tiden som ble brukt var *forholdsvis* lik. Simuleringen viste en trend til å ha høyere topphastighet, og en jevnere og mer stabil kjøring både i automat og manuell kjøring. Dette kan indikere at simulatoren ikke er troverdig nok i forhold til det virkelige liv. Det skal sies at det var instruktører på simulatorsenteret som gjennomførte kjøringene, hvor disse har kjørt ved simulatoren såpass ofte at de kanskje er mer fortrolig med simulatoren enn en lokfører som aldri har kjørt ved simulatoren før. Dette er noe som bør studeres nærmere.

Et avslutningsvis viktig punkt å ta med er at ledelsen har et stort ansvar for å følge opp feil og mangler videre. Det vil si både ledelsen ved simulatorsenteret og de som jobber med innen energiprojektet, slik at simulatorene tilfredsstiller de krav som er gunstig for en produktiv opplæring innen energisparing. Ved Sundland er noen av de som var med fra begynnelsen av oppbyggingen av anlegget blitt borte. Dette gjør at noe av kompetansen har forsvunnet, så samhandling mellom ulike deler av organisasjonen, og leverandøren av simulatoren, kan bli mindre.

7.2 Vurdering om oppgavens mål er nådd

Hovedmålet med denne oppgaven var å besvare det oppgaveteksten spør om. Det var vanskelig å gjennomføre oppgaven med de oppgavebegrensninger som ble gjort i forstudien. En statusrapport ble laget som la om oppgaven i en litt annerledes retning. Med denne retningsforandringen er oppgaven besvart.

Målet med å nå tilstrekkelig med målinger ble ikke gjennomført da det ikke ble installert målere på reelle tog. Det kunne også vært en fordel og hatt flere simulerte målinger ved verifiseringen av simulatoren, men da dette tok lengre tid enn planlagt lykkes ikke dette. Simulatorene er heller ikke tilgjengelig hele tiden, så man må kjøre målinger når simulatoren ikke er i drift.

Ser man på de ulike delene og hva som er oppnådd av målsettingen er del 1 og del 3 besvart. Del 2 ble noe begrenset, som gjorde at del 1, litteraturstudiet, ble viet noe større omfang enn planlagt.

NSB vil ha nytte av rapporten da den gir et grunnlag for videre simuleringstudier. Det ble også oppdaget en del feil og mangler i løpet av prosjektperioden som NSB vil ha stor nytte av.

7.3 Feilkilder og begrensninger

Den viktigste feilkilden var nok de dataene som ble brukt for å gi et bilde av hvordan man kan validere simulatoren. Disse dataene hadde ikke som hovedmål å bli brukt til energistudier, noe som kan gi et feil bilde av hva som faktisk skjer. De var også et år gamle, i tillegg ble ikke hastigheten logget kontinuerlig slik at man måtte beregne hastigheten. Dette gjorde at man fikk en del støy i datagrunnlaget. Tilgangen til data var også sterkt begrenset, slik at man fikk for få målinger til et statistisk godt sammenligningsgrunnlag.

Erfaringen til forfatteren rundt jernbanedrift er også sterkt begrenset, noe som i seg selv kan være en feilkilde. Et eksempel på dette var under arbeidet med distansen, da et kjedebrudd skapte stor frustrasjon. Dette var en kilde som ble oppdaget med god dialog med NSB, men et eksempel på at mangelfull kunnskap om jernbanedrift kan sette begrensninger.

Det er også gjort lite studier på energiforbruk og simulering fra før, noe som til tider kan skape frustrasjon på mangel av litteratur. Dette er en stor utfordring, men også en begrensning.

7.4 Forslag til videre studier

Fra litteraturstudiet kan det foreslåes og utforske nærmere rundt feltet fullskalasilulator og validering. Bruken av fullskalasilulatorer, validering av disse og hvordan bruksområdet av disse er i forhold til de data man får ut kan være interessant. I sammenheng med dette kommer mann/maskin problematikken, hvor troverdig en simulator er i forhold til et reelt system. Dette er et studie i seg selv, som hadde vært interessant og sett på. Innunder dette kunne det vært interessant og gjort en undersøkelse på de som får opplæring ved simulator, og hvordan de ser på denne treningen.

Det datagrunnlaget som lå til grunn for verifiseringsprosessen er noe tynt. Flere målinger og bedre datagrunnlag på hva som påvirker energiforbruket er noe som kunne blitt evaluert videre. Når simulatorsenteret er ferdigstilt, vil man få tilgang til det meste av datagrunnlaget, som gjør forståelsen bredere og mer nøyaktig.

Når man får målinger fra reelle tog, vil valideringen av simulatoren ble et interessant tema og jobbe videre med. Dette åpner store muligheter for å se hvordan simulatoren reagerer i forhold til det reelle system. Her vil man få en mer nøyaktig og konkret sammenligning av det reelle system i forhold til simulator.

Simulatoren har et enormt potensial til forskning innen kjøring av tog. Mulighetene er mange. For eksempel et samarbeid med simulatorsenteret på SINTEF vil bringe inn mange gode og nye ideer på hvordan man kan bruke simulatoren til forskning og utvikling av en bedre opplæring både innen sikkerhet og energiøkonomisk kjøring.

Referanser

Bøker

Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L. & Nicol D.M. 2005: *Discrete-event system simulation*, New Jersey: Pearson Education, Inc.

Chung, Christopher A. 2003: *Simulation modeling handbook, a practical approach*, Florida: CRC Press

Kutz, M. 2004: *Handbook of transportation engineering*, New York: McGraw-Hill

Lam, W.H.K. & Bell, M.G.H. 2003: *Advanced modeling for transit operations and service planning*, Amsterdam: Pergamon

Law, A.M. & Kelton, W.D. 2000: *Simulation modeling and analysis*, New York: McGraw-Hill

Lawrence, J.H. & Haas, M.W. 2003: *Virtual and adaptive environments*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Ljung, L. & Glad, L. 2004: *Modellbygge och simulering*, Lund: Studentlitteratur

Swezey, R.W. & Andrews D.H. 2001: *Readings in training and simulation: A 30-year perspective*, Santa Monica: Human factors and ergonomics society

Vuchic, V.R. 2005: *Urban transit, Operations, planning and economics*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Yin, R.K. 2003: *Case study research design and methods*, California: Sage Publications, Inc.

Doktoravhandlinger/masteroppgaver/rapporter

Jernbaneverket, 1999: *Slik fungerer jernbanen*, Oslo: Jernbaneverket, Hovedkontoret, Informasjonsavdelingen

Lukaszewicz, P. 2001: *Energy consumption and running time for trains*, Doktoravhandling, KTH, Stockholm

Luktvaslimo, Ø. 2006: *Data fra jernbanedrift*, Masteroppgave Institutt for Produksjons- og kvalitetsteknikk, NTNU

Moen, J.V. 2005: *Prestasjonsmåling av energiforbruk for tog*, Prosjektoppgave Institutt for Produksjons- og kvalitetsteknikk, NTNU

Nag, M. 2005: *Energisparing i NSB*, Masteroppgave Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU

Vestby, S.E. 2000: *På tur med Signatur, enegibehov ved bruk av kregende togsett på Sørlandsbanen*, Rapport fra Vestlandsforskning for NSB

Artikler

Balci, O. 2004: *Quality assessment, verification and validation of modelling and simulation applications*, Winter simulation conference 2004, 122-129

Balci, O. 2003: *Verification, validation and certification of modelling and simulation applications*, Winter simulation conference 2003, 150-158

Balci, O. 1997: *Verification, validation and accreditation of simulation models*, Winter simulation conference 1997, 135-141

Carson, J.S. 1986: *Convincing Users of Model s Validity is Challenging Aspect of Modeler's Job*, Industrial Engineering 18, 6, 74-85

Goodman, C.J., Siu, L.K. & Ho, T.K. 1998: *A review of simulation models for railway systems*, International conference on developments in mass transit systems, No 543, 80-85

Hooghiemstra, J.S. & Teunisse, J.G.M. 1998: *The use of simulation in the planning of the dutch railway services*, Winter simulation conference 1998, 1139-1145

Jong, J.C. & Chang, E.F. 2005: *Models for estimating energy consumption of electric trains*, Journal of the Eastern Asia society for transportation studies, Vol. 6, 278-291

Kaarstad, M. 2004: *Sikkerhet og brukervennlighet metoder og krav*, ABELIA seminar 2004

Klein, R.W., Dittus, R.S. & Debrot, D.J. 1990: *Using discrete event simulation to evaluate housestaff work schedules*, Winter simulation conference 1990, 738-742

Krueger, H. 2000: *Simulation within the railroad environment*, Winter simulation conference 2000, 1191-1200

Mukkamala, P.S., Smith, J.S. & Valenzuela, J.F. 2003: *Designing reusable simulation modules for electronics manufacturing systems*, Winter simulation conference 2003, 1281-1289

Robinson, S. & Pidd, M. 1995: *Service quality in the management of simulation projects*, Winter simulation conference 1995, 952-959

Scholten, H. & Udink ten Cate, A.J. 1999: *Quality assessment of the simulation modelling process*, computer and electronics in agriculture, 22, 199-208

Strand, G. & Palesjø, A. : *Real time traction power system simulator*, [www.abb.com/global/abbzh/abbzh262.nsf/viewunid/47d3e9f0abbeafdbc1256bc3003e79fe/\\$file/simtrac.pdf](http://www.abb.com/global/abbzh/abbzh262.nsf/viewunid/47d3e9f0abbeafdbc1256bc3003e79fe/$file/simtrac.pdf)

Dokumentasjon/mailer

Corys, 2003: *Critical design, Volume 1 – Generalities, TRO-CDD-1*

Corys, 2003: *Critical design, Volume 2 – Hardware, TRO-CDD-2*

Corys, 2003: *Critical design, Volume 3 – Software, TRO-CDD-3*

Corys, 2003: *Critical design, Volume 4 – Train modelling NSB class 72, TRO-CDD-4*

Corys, 2003: *Critical design, Volume 5 – CGI, TRO-CDD-5*

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0009 Rev L-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0009 Rev M-N

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0100 Rev E-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0300 Rev H-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0400 Rev G-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0500 Rev F-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0600 Rev D-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 0800 Rev D-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 1000 Rev F-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 1100 Rev F-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 1200 Rev F-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 1300 Rev F-E

NSB Drift og teknikk, Materiellteknologi, Type 72. 2001: 1400 Rev C-E

Intervju/møter

Halvor Persen Gundersen, Rådgiver Simulatorsenteret NSB

Kai Torgersen, Rådgiver Simulatorsenteret NSB

Hans Haugland, Analysesjef NSB

Jørgen Rødseth, Seniorforsker simulatorsenter Sintef

Ottar Arne Haslestad, tidligere leder Simulatorsenteret NSB

Lionel Cannet, designer fra Corrys

Stephane Megy, programmerer fra Corys

Internet

Sheffield University, <http://shu.av.uk/schools/eng/industry/simulation.html>

Vedlegg

A. Kjedebrudd

Banestrekning	Km	Bruddlengde (m)	Dato
0210 (Oslo S) - Alnabru/Alna	8,15	-8	05.05.1998
0211 Alnabru/Alna - (Oslo S)	8,2	-30	05.05.1998
0220 (Alnabru/Alna) - Lillestrøm	19,304	-7	05.05.1998
0221 Lillestrøm - (Alnabru/Alna)	19,317	-17	05.05.1998
0230 (Lillestrøm) - Eidsvoll	43,5	33,2	10.05.2002
0270 Etterstad - Gardermoen(GMB)	17,2231	3116,238	07.06.2000
0270 Etterstad - Gardermoen(GMB)	30,9868	352,701	07.06.2000
0270 Etterstad - Gardermoen(GMB)	40,9141	310,862	07.06.2000
0271 Gardermoen - Etterstad (GMB)	17,2222	3117,152	07.06.2000
0271 Gardermoen - Etterstad (GMB)	30,9806	358,86	07.06.2000
0271 Gardermoen - Etterstad (GMB)	40,9152	309,706	07.06.2000
0280 (Gardermoen)-(Eidsvoll)	69,2937	-2093,186	07.06.2000
0300 (Lillestrøm) - Kongsvinger	42,5	2,2	18.10.2002
0300 (Lillestrøm) - Kongsvinger	50,54	20	20.06.1996
0300 (Lillestrøm) - Kongsvinger	79,64	4,48	20.06.1996
0310 (Kongsvinger) - Charlottenberg	107,52	-1,4	18.10.2002
0540 (Oslo S) - Ski	2,18	-655,7	21.01.2002
0541 Ski - (Oslo S)	2,18	-655,7	21.01.2002
0550 (Ski) - Moss	57,241	949	09.12.1996
0560 (Moss) - Sarpsborg	95,05	13	24.01.1995
0560 (Moss) - Sarpsborg	108,15	3	25.01.1995
0560 (Moss) - Sarpsborg	110,29	2	25.01.1995
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	135,95	-2,4	02.10.1997
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	141	-4	14.11.1996
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	148,8	31,5	14.11.1996
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	157,2	1,4	25.02.1997
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	158,7	-3,2	25.02.1997
0570 (Sarpsborg) - Kornsjø	161,637	-2	25.02.1997
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	10	-3,25	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	18	-3	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	23	2,45	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	30	0,35	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	35	0,58	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	39	2,9	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	43	-1,5	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	58	1	21.12.1999
0580 (Ski) - (Sarpsborg) østre linje	65,7	-0,7	21.12.1999
0611 (Grefsen) - (Oslo S)	6,35	-9	
0620 (Grefsen) - Roa	27,932	18	
0620 (Grefsen) - Roa	45,903	43	
0620 (Grefsen) - Roa	46	42	
0630 (Roa) - Eina	70,3	18	
0680 (Eina) - Dokka	119,9943	-5,7	04.06.2002
0680 (Eina) - Dokka	120	-5,7	30.05.2002
0680 (Eina) - Dokka	132,4	-4,5	30.05.2002
0700 (Eidsvoll) - Hamar	68,91	64	07.09.1998
0710 (Hamar) - Lillehammer	156,84	-6,8	05.10.2001
0710 (Hamar) - Lillehammer	163,54	-26,45	05.10.2001
0710 (Hamar) - Lillehammer	169,94	2,65	24.04.2001
0710 (Hamar) - Lillehammer	176,8	-0,85	05.10.2001
0710 (Hamar) - Lillehammer	184,3	-38	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	197	-1,5	15.10.1997

0720 (Lillehammer) - Vinstra	204	-2,3	15.10.1997
0720 (Lillehammer) - Vinstra	208	-1,4	15.10.1997
0720 (Lillehammer) - Vinstra	228,751	7	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	246,5	2,5	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	249,5	-1,54	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	253	6,8	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	258,788	12	
0720 (Lillehammer) - Vinstra	262,047	26	
0900 (Hamar) - Elverum	153,08	5	03.05.2002
0900 (Hamar) - Elverum	159,0995	-400,5	17.04.2002
0910 (Elverum) - Koppang	205,744	236	09.06.2000
0910 (Elverum) - Koppang	231,992	7,5	09.06.2000
0910 (Elverum) - Koppang	243	16,5	09.06.2000
0920 (Koppang) - Tynset	268,2643	7,2	09.06.2000
0920 (Koppang) - Tynset	273,0523	5,7	09.06.2000
0920 (Koppang) - Tynset	281,635	1,15	09.06.2000
0920 (Koppang) - Tynset	290,11	-1,35	09.06.2000
1111 (Oppdal) - Støren	447	-0,93	18.08.1997
1111 (Oppdal) - Støren	456	-0,9	18.08.1997
1111 (Oppdal) - Støren	479	8,3	30.08.1999
1200 (Trondheim) - Hell	19,9	-5	03.12.2002
1400 (Oslo S) - Lysaker	3,455	-960	
1420 (Asker) - Drammen	24,971	11467	01.01.1975
1421 Drammen - (Asker)	24,971	11467	01.01.1975
1460 (Asker) - Spikkestad	26	10	20.02.1992
1510 (Drammen) - Eidanger	78,123	377	15.07.2002
1510 (Drammen) - Eidanger	88,4	-3,6	05.05.1983
1560 (Eidanger) - Brevik	193,725332	44,42	09.07.2002
1600 (Drammen) - Hokksund	63,78	0,26	29.01.2002
1650 (Hokksund) - Kongsberg	81,6	2,01	28.02.2002
1650 (Hokksund) - Kongsberg	86,9	4,6	28.02.2002
1650 (Hokksund) - Kongsberg	88,2	4,94	
1650 (Hokksund) - Kongsberg	90	2	
1650 (Hokksund) - Kongsberg	98	16,85	
1660 (Kongsberg) - Nordagutu	105,3	2	28.02.2002
1660 (Kongsberg) - Nordagutu	108,5	1,2	28.02.2002
1660 (Kongsberg) - Nordagutu	113,2	1,16	28.02.2002
1660 (Kongsberg) - Nordagutu	124	6,4	28.02.2002
1680 (Hønefoss) - Nesbyen	130,174	28	11.04.1986
1680 (Hønefoss) - Nesbyen	133,554	40	15.09.1954
1680 (Hønefoss) - Nesbyen	143	253	15.09.1972
2000 (Nordagutu) - Nelaug	193,248	1,5	
2000 (Nordagutu) - Nelaug	213,511	24	30.08.1991
2000 (Nordagutu) - Nelaug	214,824	14,82	30.08.1991
2000 (Nordagutu) - Nelaug	225,398	3	
2000 (Nordagutu) - Nelaug	226,966	12,45	
2000 (Nordagutu) - Nelaug	255,989	2,7	
2000 (Nordagutu) - Nelaug	262,209	-1,18	
2000 (Nordagutu) - Nelaug	272,677	2,52	
2120 (Nelaug) - Kristiansand	347,361	2	
2120 (Nelaug) - Kristiansand	349,998	2	
2120 (Nelaug) - Kristiansand	360,504	81	09.01.2001
2130 (Kristiansand) - Egersund	461,297	2,44	07.05.2002
2311 Haugastøl - Myrdal	285,765	435	22.09.1999

2311 Haugastøl - Myrdal	299,769	381	04.11.1999
2311 Haugastøl - Myrdal	302,544	-4	31.05.1993
2311 Haugastøl - Myrdal	314,476	4324	31.05.1993
2312 (Myrdal) - Reimegrend	348,927	-77	01.01.1965
2320 (Reimegrend) - Voss	368,991	9	01.01.1984
2330 (Voss) - Dale	392,907	823	28.10.1990
2330 (Voss) - Dale	398,046	-46,1	01.01.1932
2330 (Voss) - Dale	407,6	1055	26.11.1962
2330 (Voss) - Dale	422,969	996,4	13.12.1987
2340 (Dale) - Bergen	428,99	12	01.01.1920
2340 (Dale) - Bergen	434,516	65	01.06.1954
2340 (Dale) - Bergen	437,45	50	01.01.1930
2340 (Dale) - Bergen	440,167	20	01.06.1976
2340 (Dale) - Bergen	440,983	17,4	00.01.1900
2340 (Dale) - Bergen	442,973	24,3	00.01.1900
2340 (Dale) - Bergen	450,45	1921,6	31.05.1970
2340 (Dale) - Bergen	454,528	-41,4	01.01.1910
2340 (Dale) - Bergen	458,848	44	11.12.1966
2400 Narvik havn - Vassijaure	30,4	193	13.12.2002
2400 Narvik havn - Vassijaure	36,5	100	01.06.1988

B. Eksempel på EOR

Generelldata – kjøring multipell manuell

Dato for kjøring	03/08/2005
Elevens navn	"Kai Torgersen"
Simulator-ID	TROLL Desk Simulator #1
Scenario-navn	"Svlokf6"
Strekning	SKOYEN_MOSS
Kjøreplan-navn	Navn
Togsammensetning	Type 72 - To togsett i multipell
Total togvekt ved oppstart	422.828003
Adhesjon ved oppstart	100
Bremseeffekt ved oppstart	15

Kjøredata

Tidspunkt for start	12:09:35
Tidspunkt for avslutning	13:37:28
Totalt forløpt tid	01:27:53
Simulert starttidspunkt	12:12:10
Simulert avslutningstidspunkt	12:37:10
Totalt forløpt simulert tid	00:25:00
Posisjon start	80.80
Posisjon avslutning	253.11

Kilometerpunkt start	68,150
Kilometerpunkt slutt (km)	33,222
Distanse (km)	34,929
Gjennomsnittshastighet (km/h)	83,806
Antall togstopp	5
Varighet togstopp	00:02:36

Energidata

Energi forbruk (kW/h)	999174,625
Tilbakeført energi (kW/h)	132769,859
Sum energi forbruk (kW/h)	0,000

Førerfeil

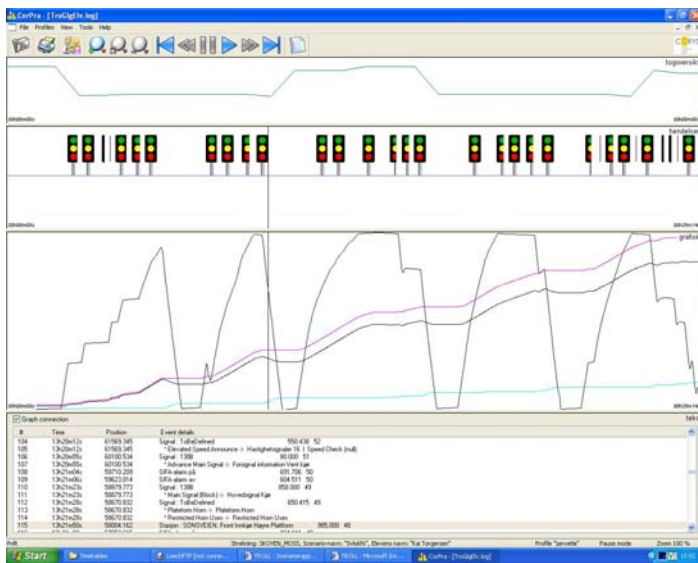
Antall nødbrems	2
Antall ATC overhastighet	67
Antall overhastighet	67
Antall passerte hindringer	0

Rutetabell

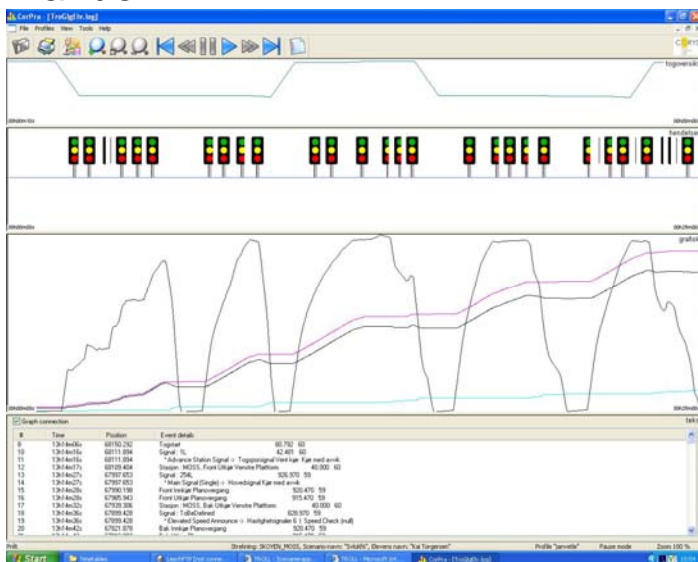
Antall rutetabell punkter

C. Simulerte kjøringer

automat



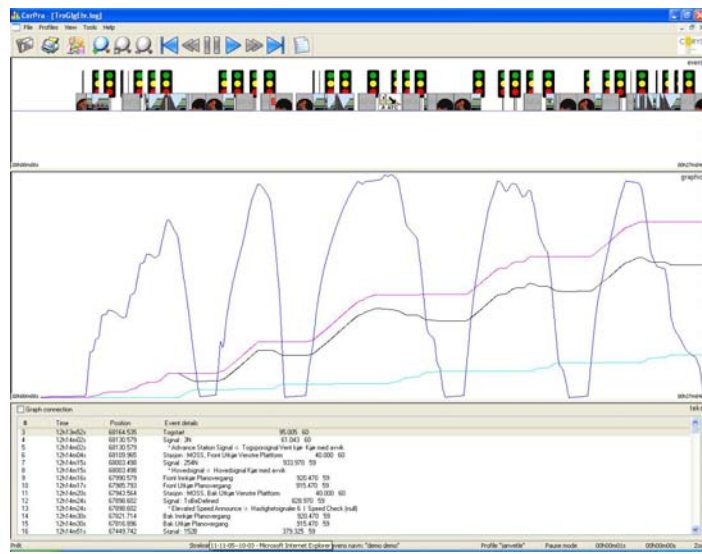
manuell



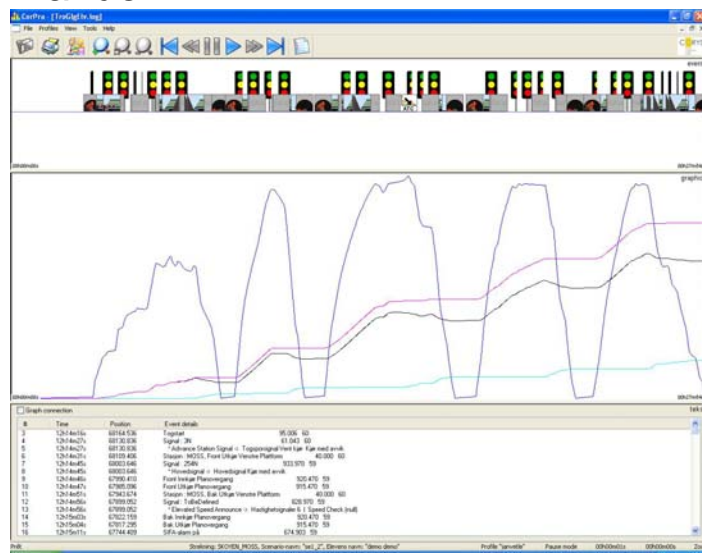
manuell



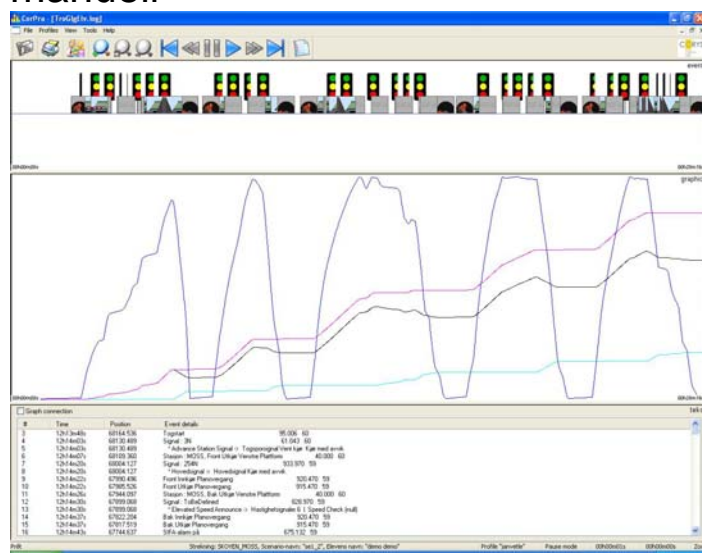
manuell



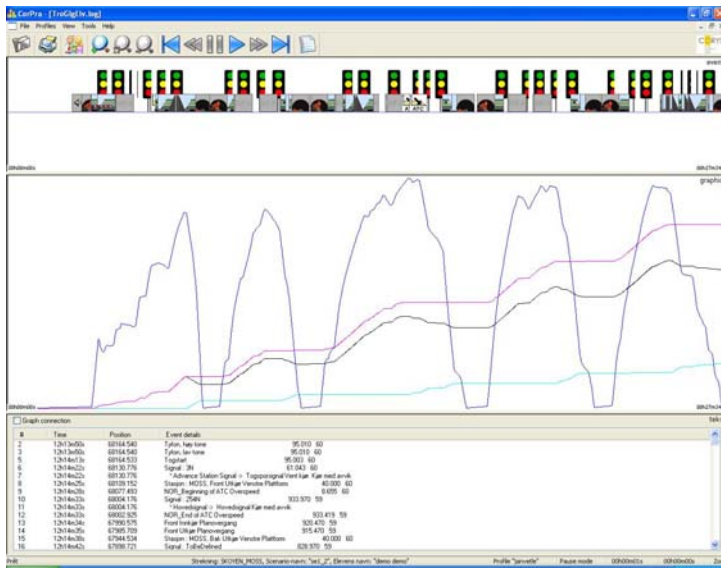
manuell



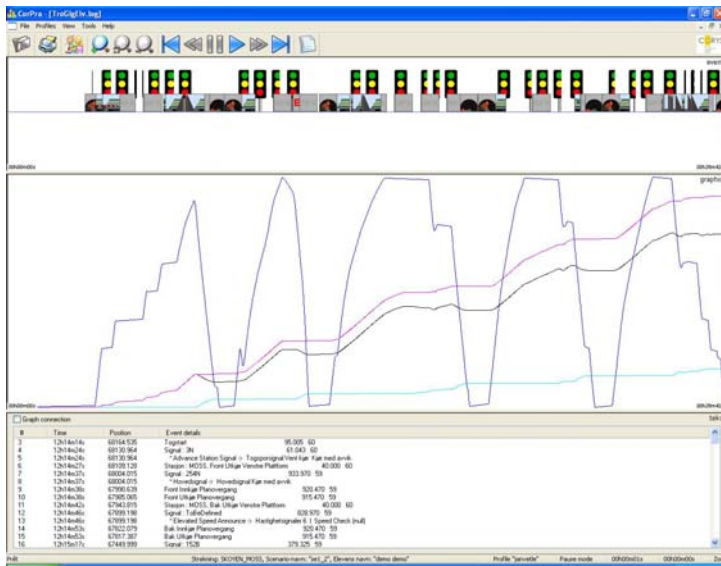
manuell



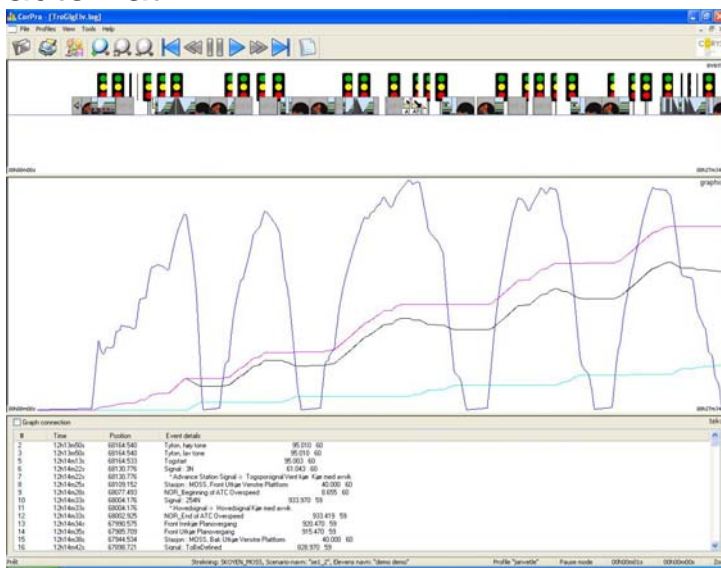
manuell



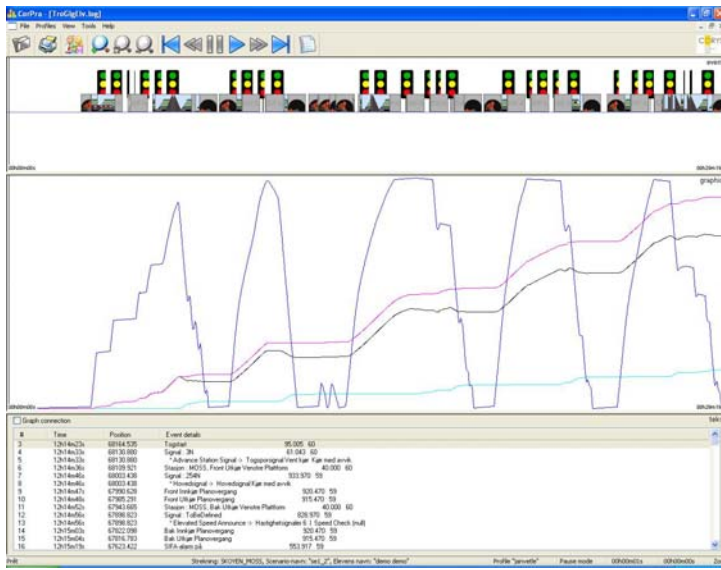
automat



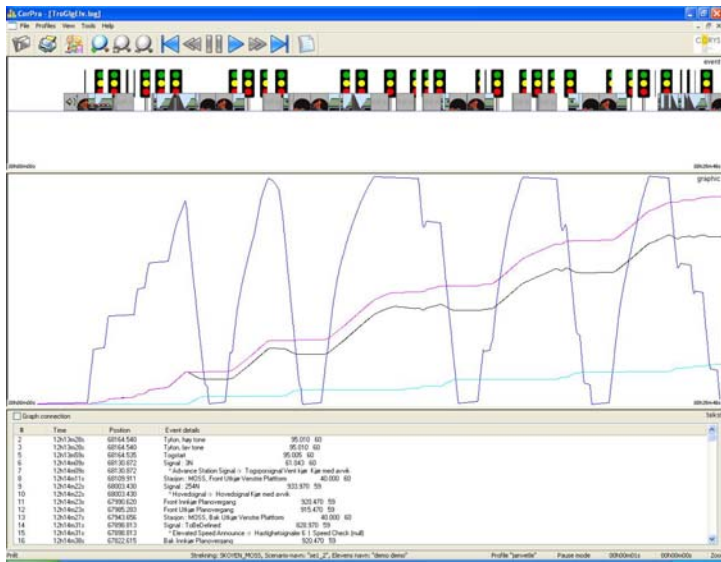
automat



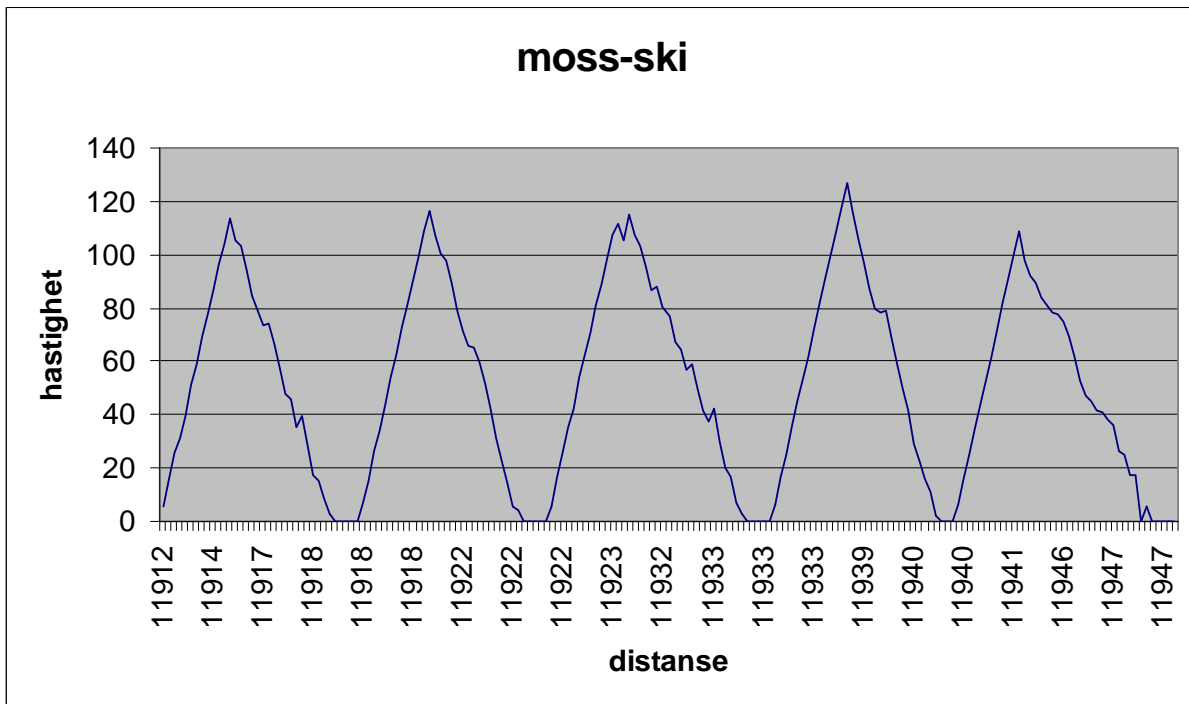
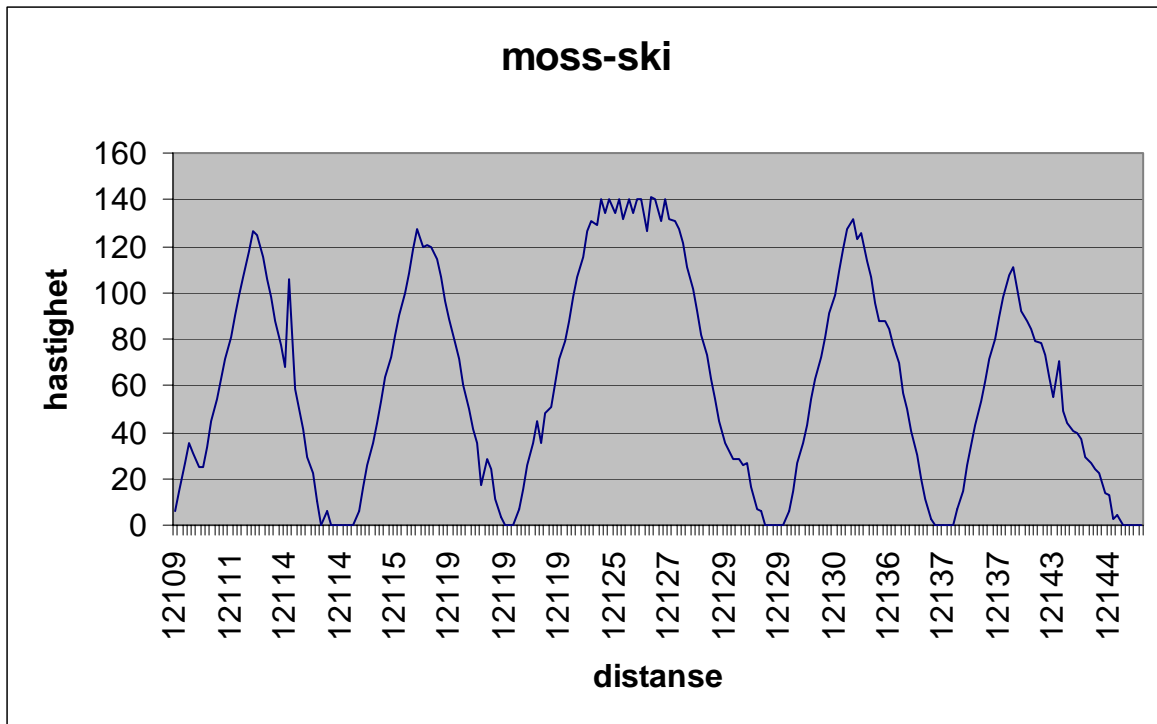
automat

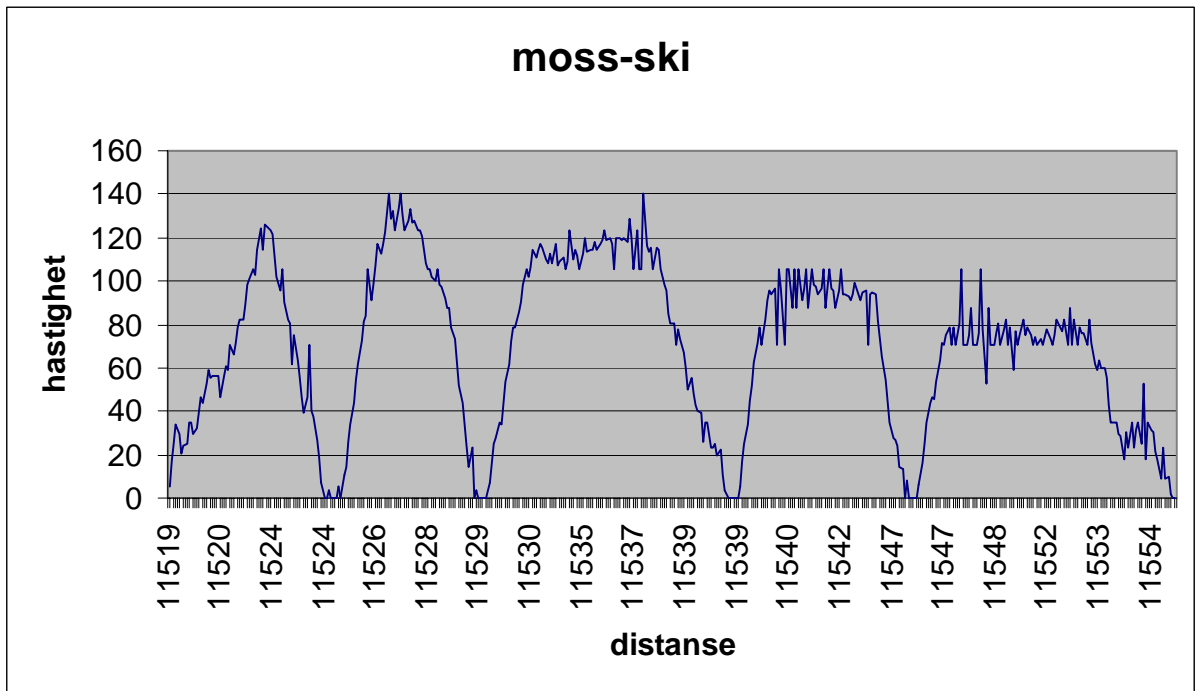
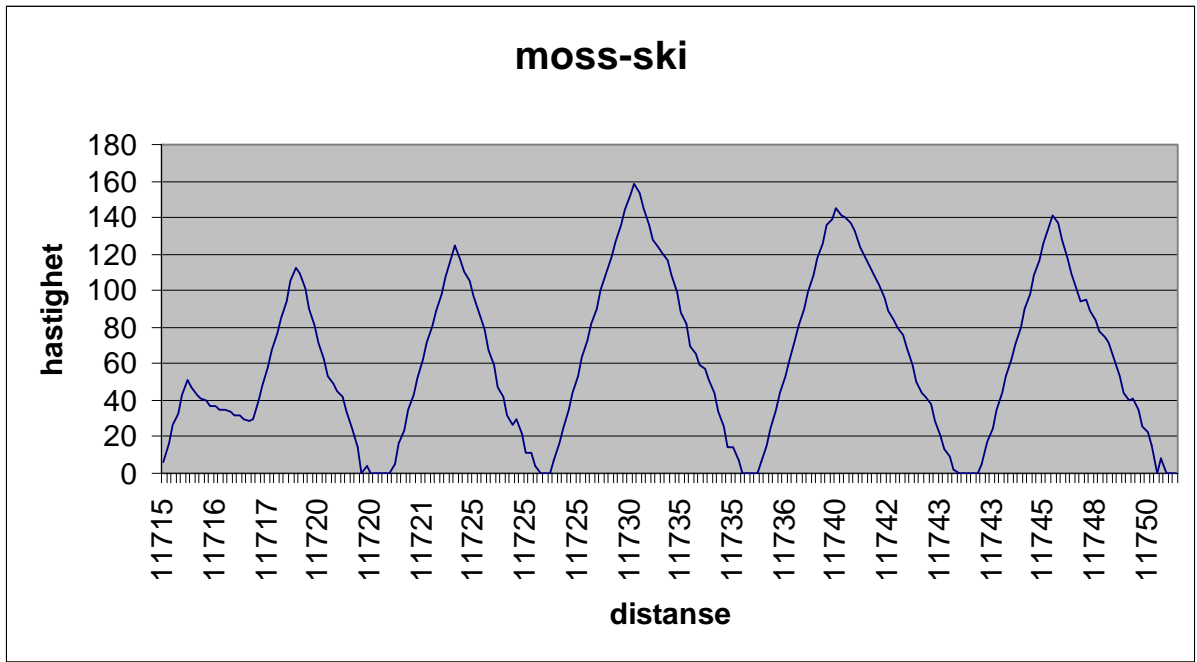


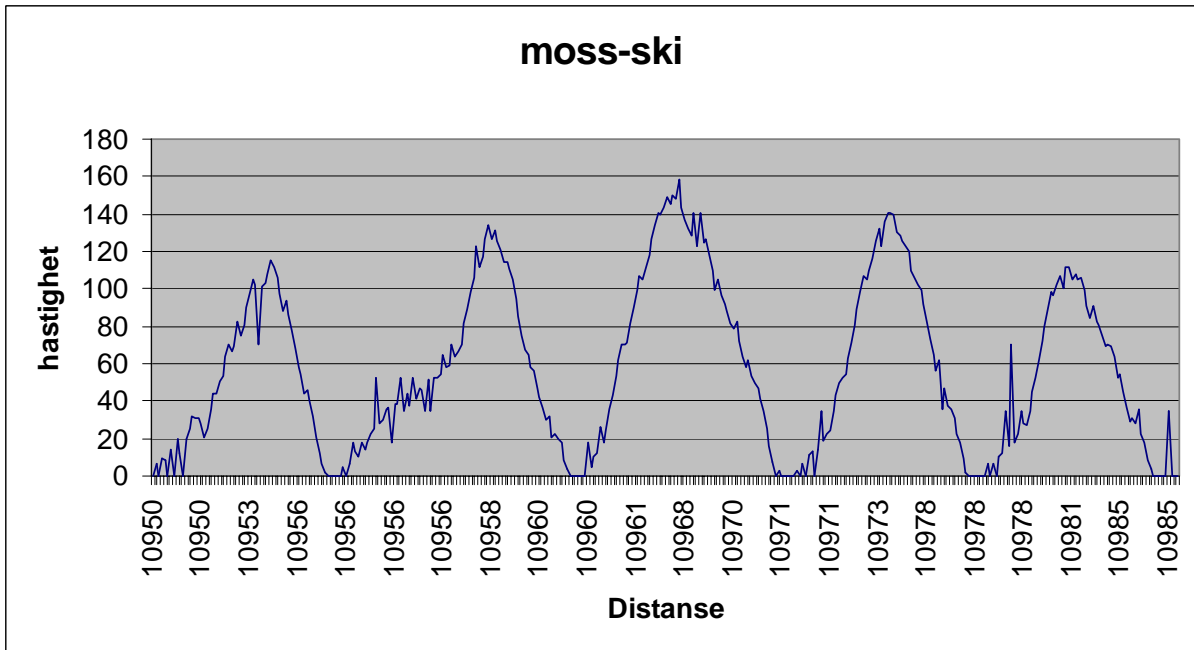
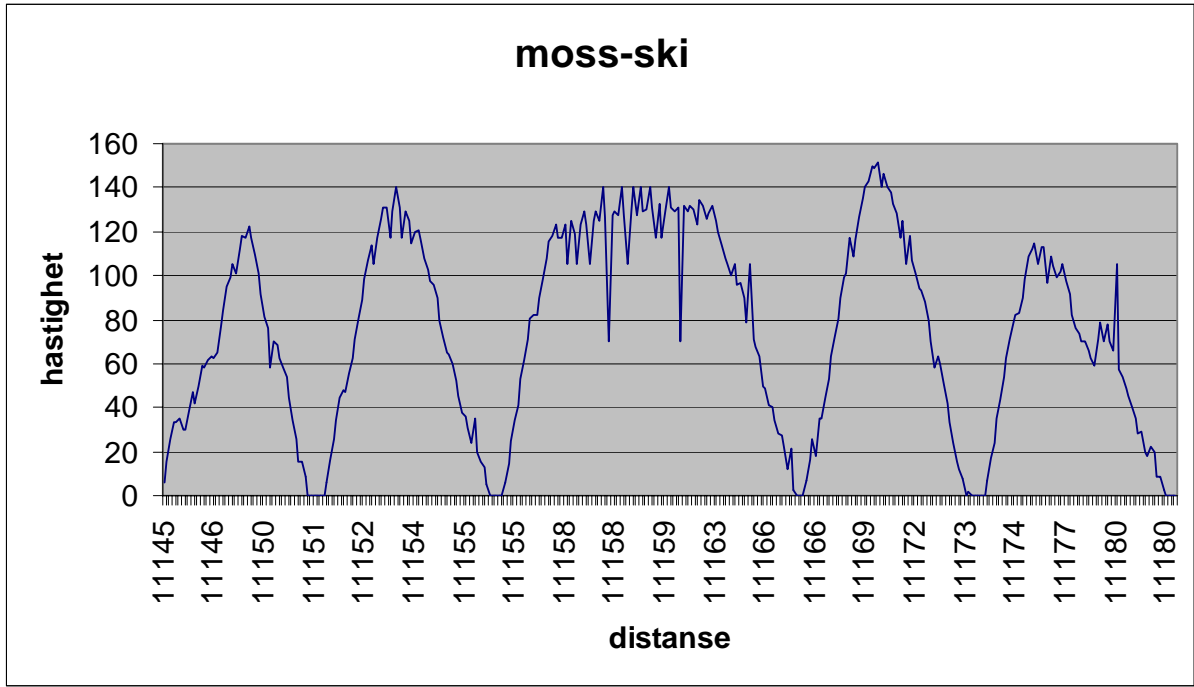
automat

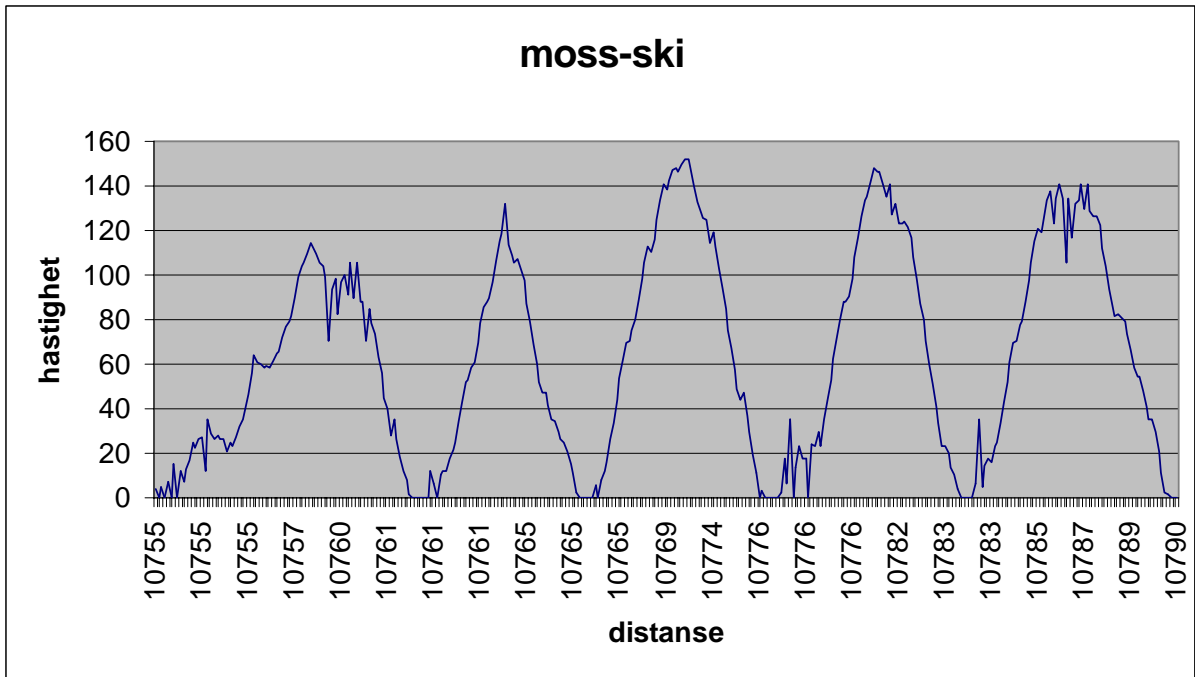


D. Reelle kjøringer

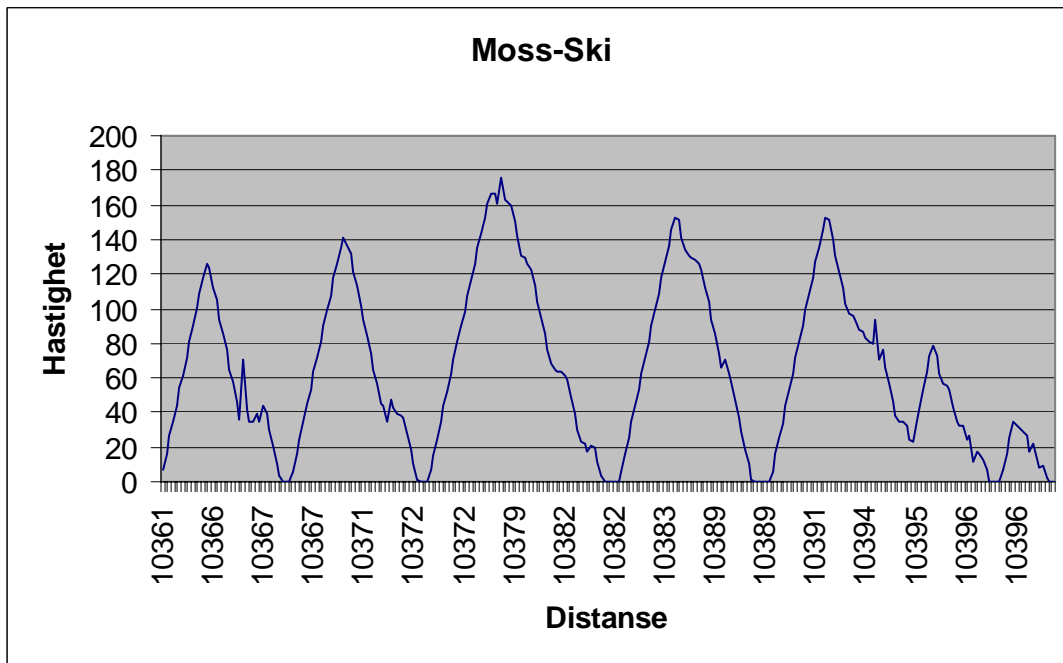


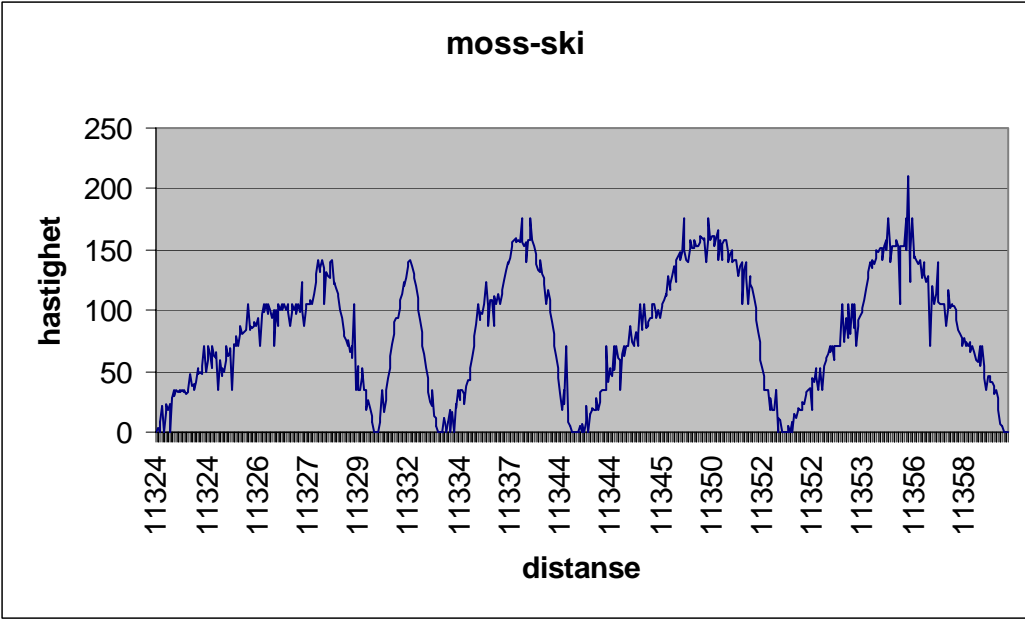






Ikke vurdert





E. Logg over rullende materiell

Logg over rullende materiell

mai 2005

Set Number: 72-30

01	DRM	
02	12263-514-1611-1614-515-526-1623-1626-531-538-1635-1638-543	930
	km	
03	12284-12253-512-1609-1612-513-524-1621-1624-527-12262-1633-1636-541	
	976 km	
04	504-1605-1608-509-520-1617-1620-1621-1624-1625-1628-533-540	930
	km	
05	DRM	
06	12253-512-1609-1612-513-524-1621-1624-527-12262	711 km
07	545-12252	93 km
08	DRM	
09	545-508-1607-1610-511-522-1619-1620-521-532-1629-1632-537-544-1641	
	1062 km	
10	1604-505-516-1613-1616-517-528-1625-1628-533-13342	819 km
11	545-508-1607-1610-511-522-1619-1622-523-534-1631-1634-539-542-1639	
	1041 km	
12	1606-507-518-1615-1618-519-530-1627-1630-535-540-I540#B	821 km
13	U540-12253-512-1609-1612-513-524-1621-1624-527-12262	713 km
14	DRM	
15	1613-1616	216 km
16	DRM	
17	DRM	
18	12263-514-1611-1614-515-526-1623-1626-531-538-1635-1638-543	930
	km	
19	12284-1223641	km
20	11013-1013-1018-177-180-1025-1030-1031-1036-11036	498 km
21	FIL	
22	FIL	
23	11013-1013-1018-177-180-1025-1030-1031-1036-11036	498 km
24	11151-1151-1110-1111-1124-1125	452 km
25	1106-1109-1118-1117-1126-1129-1134-1137-1142	854 km
26	1145-1102-1107-1126-1129-1140-2298-11581	623 km
27	11581-12209-1105-1154-11154-12225-112225240	km
28	SUD	
29	SUD	
30	SUD	
31	tomdrm-13362-1117-1126-1129-1134-1137-1142	586 km

Total Distance: 13036 km

Logg over rullende materiell

juni 2005

Set Number: 72-30

01	1145-1102-1107-1126-1129-1140-2298-11581	623 km
02	11581-12209-1105-1154-11154-12225-12225-U12236-12236	280 km
03	11151-1151-1110-1111-1120-1119-1128-1131-1136-1139-1144	912 km
04	12030#A-12203-1107-1116-1115-1124-1125-1132-1135-1140-12026#A	792 km
05	1145-1134-1137-1142	349 km
06	1145-1102-1107-1126-1129-1140-2298-11581	623 km
07	11581-12209-1105-1114-1113-1122-1121-1130-1133-1138-1141	907 km
08	1102-1107-1116-1115-1124-1125-1132-1135-1140-2298-11581	913 km
09	11581-12209-1105-1114-1113-1122-1121-1130-1133-1138-1141	907 km
10	1102-1107-1116-1115-1124-1125-1132-1135-1140-2298-11581	913 km
11	11581	2 km
12	11133-1133-1138-1141	259 km
13	1102-1107-1116-1115-1124-1125-1132-1135-1140-2298-11581	915 km
14	12209-1105-1154-11154-12225	236 km
15	12236	39 km
16	11151-1151-1110-1111-1120-1119-1128-1131-1136-1139-1144	912 km
17	12030#A-12209-1105-1114-1113-1122-1121-1130-1133-1138-1141	918 km
18	MOS	
19	MOS	
20	MOS	
21	MOS	
22	MOS	
23	MOS	
24	MOS	
25	MOS	
26	MOS	
27	MOS	
28	MOS	
29	MOS	
30	MOS	

Total Distance: 10499 km

F. Rutetider

Moss–Oslo S–Spikkestad

Mandag–fredag

Rutetider for 13.4.,14.4.,17.4.,1.5.,17.5.,25.5. og 5.6. se rutetabell for søndag.
Se oversikt over innstilte tog nederst i tabellen.

Tog nr 08.01.06–10.06.06	1102	1150	1106	1152	2806	1110	1154	1114	1156	1116	1118	1120	1122	1124	1126
Moss	0514	0546	0614	0644		0714	0752	0814	0847	0914	1014	1114	1214	1314	1414
Kambo	0519	0551	0619	0649		0719	0757	0819	0852	0919	1019	1119	1219	1319	1419
Sonsveien	0522	0554	0622	0652		0722	0800	0822	0855	0922	1022	1122	1222	1322	1422
Vestby	0530	0602	0630	0700		0730	0808	0830	0903	0930	1030	1130	1230	1330	1430
Ås	0535	0607	0635	0705		0735	0813	0835	0908	0935	1035	1135	1235	1335	1435
Ski	0542	0614	0642	0712	0715	0742	0819	0842	0915	0942	1042	1142	1242	1342	1442
Kolbotn	0552	0624	0652	0722	0728	0752	0829	0852	0926	0952	1052	1152	1252	1352	1452
Oslo S	0603	0635	0703	0734	0742	0803	0842	0903	0937	1003	1103	1203	1303	1403	1503
Oslo S	0605	0637	0705		0745	0805	0845	0905	0939	1005	1105	1205	1305	1405	1505
Nationaltheatret	0607	0639	0707		0747	0807	0847	0907	0941	1007	1107	1207	1307	1407	1507
Skøyen	0612	0644	0712		0753	0812	0852	0912	0946	1012	1112	1212	1312	1412	1512
Lysaker	0615		0715		0757	0815		0915		1015	1115	1215	1315	1415	1515
Sandvika	0622		0722		0804	0822		0922		1022	1122	1222	1322	1422	1522
Asker	0632		0732		0813	0832		0932		1032	1132	1232	1332	1432	1532
Bondivatn	0634		0734			0834		0934		1034	1134	1234	1334	1434	1534
Gullhella	0636		0736			0836		0936		1036	1136	1236	1336	1436	1536
Heggedal	0639		0739			0839		0939		1039	1139	1239	1339	1439	1539
Hallenskog	0641x		0741			0841		0941x		1041x	1141x	1241x	1341x	1441x	1541x
Røyken	0644		0744			0844		0944		1044	1144	1244	1344	1444	1544
Åsaker	0646x		0746			0846		0946x		1046x	1146x	1246x	1346x	1446x	1546x
Spikkestad	0649		0749			0849		0949		1049	1149	1249	1349	1449	1549
Kjøres ikke:		10-12.4. 26.5.		10-12.4. 26.5.			10-12.4. 26.5.		10-12.4. 26.5.						

Moss–Oslo S–Spikkestad

Mandag–fredag

Rutetider for 13.4.,14.4.,17.4.,1.5.,17.5.,25.5. og 5.6. se rutetabell for søndag.
Se oversikt over innstilte tog nederst i tabellen.

Tog nr 08.01.06–10.06.06	2297	1128	2299	1130	1132	1134	1136	1138	1140	1142	1144	2181 2281
Moss		1514		1614	1714	1814	1914	2014	2114	2214	2314	
Kambo		1519		1619	1719	1819	1919	2019	2119	2219	2319	
Sonsveien		1522		1622	1722	1822	1922	2022	2122	2222	2322	
Vestby		1530		1630	1730	1830	1930	2030	2130	2230	2330	
Ås		1535		1635	1735	1835	1935	2035	2135	2235	2335	
Ski		1542		1642	1742	1842	1942	2042	2142	2242	2342	
Kolbotn		1552		1652	1752	1852	1952	2052	2152	2252	2352	
Oslo S		1603		1703	1803	1903	2003	2103	2203	2303	0003	
Oslo S	1535	1605	1635	1705	1805	1905	2005	2105	2205	2305	0005	0053
Nationaltheatret	1537	1607	1637	1707	1807	1907	2007	2107	2207	2307	0007	0055
Skøyen	1542	1612	1642	1712	1812	1912	2012	2112	2212	2312	0012	0100
Lysaker	1545	1615	1645	1715	1815	1915	2015	2115	2215	2315	0015	0103
Sandvika	1552	1622	1652	1722	1822	1922	2022	2122	2222	2322	0022	0112
Asker	1602	1632	1702	1732	1832	1932	2032	2132	2232	2332	0032	0126
Bondivatn	1604	1634	1704	1734	1834	1934	2034	2134	2234	2334	0034	0128
Gullhella	1606	1636	1706	1736	1836	1936	2036	2136	2236	2336	0036	0130
Heggedal	1610	1639	1710	1739	1839	1939	2039	2139	2239	2339	0039	0133
Hallenskog	1612x	1641x	1712x	1741x	1841x	1941x	2041x	2141x	2241x	2341x	0041x	0135x
Røyken	1615	1644	1715	1744	1844	1944	2044	2144	2244	2344	0044	0138
Åsaker	1617x	1646x	1717x	1746x	1846x	1946x	2046x	2146x	2246x	2346x	0046x	0140x
Spikkestad	1620	1649	1720	1749	1849	1949	2049	2149	2249	2349	0049	0143
Kjøres ikke:		10-12.4. 26.5.		10-12.4. 26-5.								

Moss–Oslo S–Spikkestad

Lørdag

Rutetider for 15.4. se rutetabell for søndag.

Tog nr 08.01.06–10.06.06	1106	1110	1114	1116	1118	1120	1122	1124	1126	1128	1130	1132	1136	1140	1144	2181 2281
Moss	0614	0714	0814	0914	1014	1114	1214	1314	1414	1514	1614	1714	1814	1914	2014	2114
Kambo	0619	0719	0819	0919	1019	1119	1219	1319	1419	1519	1619	1719	1819	1919	2019	2119
Sonsveien	0622	0722	0822	0922	1022	1122	1222	1322	1422	1522	1622	1722	1822	1922	2022	2122
Vestby	0630	0730	0830	0930	1030	1130	1230	1330	1430	1530	1630	1730	1830	1930	2030	2130
Ås	0635	0735	0835	0935	1035	1135	1235	1335	1435	1535	1635	1735	1835	1935	2035	2135
Ski	0642	0742	0842	0942	1042	1142	1242	1342	1442	1542	1642	1742	1842	1942	2042	2142
Kolbotn	0652	0752	0852	0952	1052	1152	1252	1352	1452	1552	1652	1752	1852	1952	2052	2152
Oslo S	0703	0803	0903	1003	1103	1203	1303	1403	1503	1603	1703	1803	1903	2003	2103	0003
Oslo S	0705	0805	0905	1005	1105	1205	1305	1405	1505	1605	1705	1805	1905	2005	2105	0005
Nationaltheatret	0707	0807	0907	1007	1107	1207	1307	1407	1507	1607	1707	1807	1907	2007	2107	0007
Skøyen	0712	0812	0912	1012	1112	1212	1312	1412	1512	1612	1712	1812	1912	2012	2112	0012
Lysaker	0715	0815	0915	1015	1115	1215	1315	1415	1515	1615	1715	1815	1915	2015	2115	0015
Sandvika	0722	0822	0922	1022	1122	1222	1322	1422	1522	1622	1722	1822	1922	2022	2122	0022
Asker	0732	0832	0932	1032	1132	1232	1332	1432	1532	1632	1732	1832	1932	2032	2132	0032
Bondivatn	0734	0834	0934	1034	1134	1234	1334	1434	1534	1634	1734	1834	1934	2034	2134	0034
Gullhella	0736	0836	0936	1036	1136	1236	1336	1436	1536	1636	1736	1836	1936	2036	2136	0036
Heggedal	0739	0839	0939	1039	1139	1239	1339	1439	1539	1639	1739	1839	1939	2039	2139	0039
Hallenskog	0741	0841	0941x	1041x	1141x	1241x	1341x	1441x	1541x	1641x	1741x	1841x	1941x	2041x	2141x	0041x
Røyken	0744	0844	0944	1044	1144	1244	1344	1444	1544	1644	1744	1844	1944	2044	2144	0044
Åsaker	0746	0846	0946x	1046x	1146x	1246x	1346x	1446x	1546x	1646x	1746x	1846x	1946x	2046x	2146x	0046x
Spikkestad	0749	0849	0949	1049	1149	1249	1349	1449	1549	1649	1749	1849	1949	2049	2149	0049

Moss–Oslo S–Spikkestad

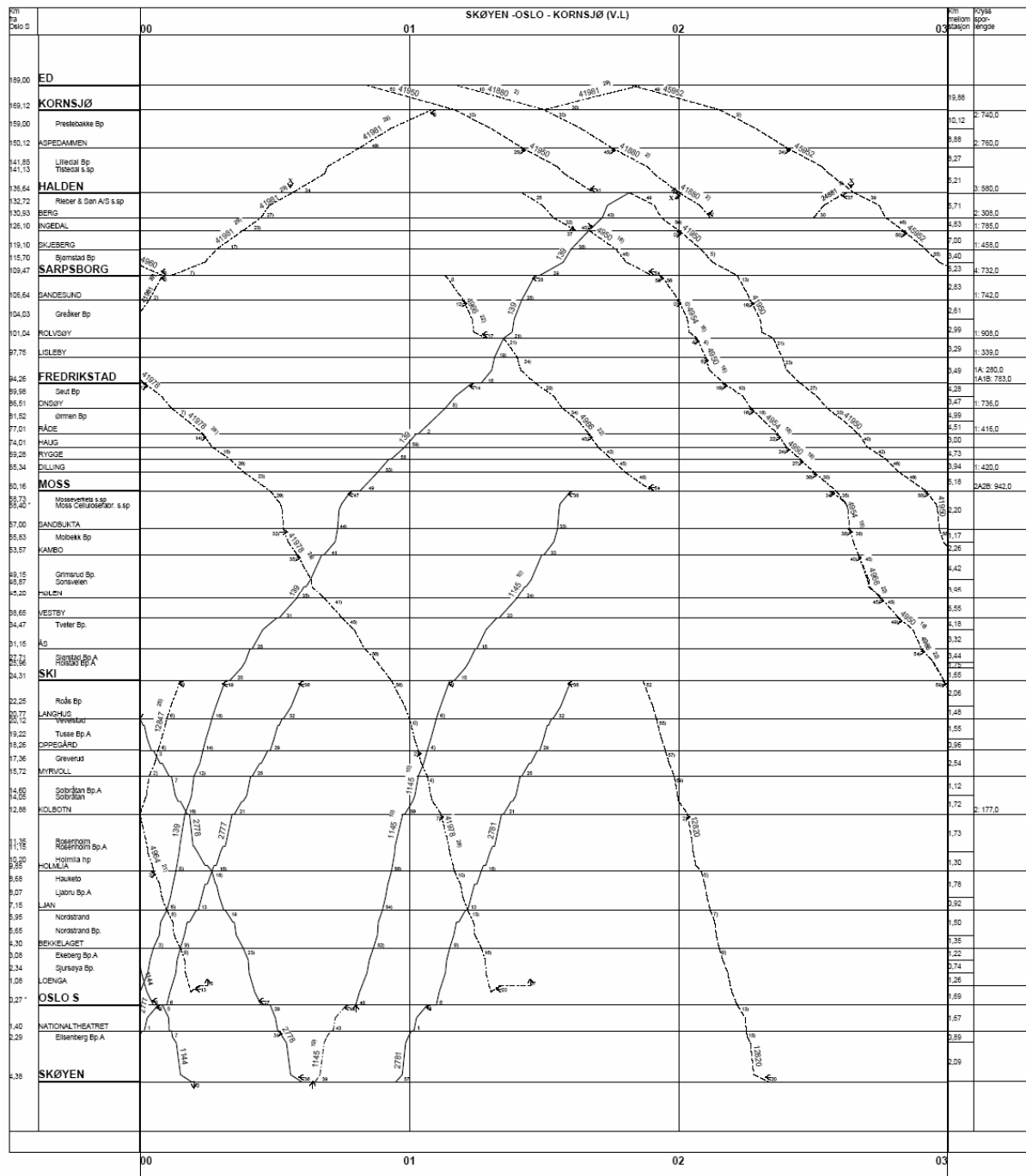
Søndag

Gjelder også 13.4., 14.4., 15.4., 17.4., 1.5., 17.5., 25.5. og 5.6.
Se oversikt over innstilte tog nederst i tabellen.

Tog nr 08.01.06-10.06.06	1110	1116	1120	1124	1128	1132	1134	1136	1138	1140	1142	1144	2181 2281
Moss	0714	0914	1114	1314	1514	1714	1814	1914	2014	2114	2214	2314	
Kambo	0719	0919	1119	1319	1519	1719	1819	1919	2019	2119	2219	2319	
Sonsveien	0722	0922	1122	1322	1522	1722	1822	1922	2022	2122	2222	2322	
Vestby	0730	0930	1130	1330	1530	1730	1830	1930	2030	2130	2230	2330	
Ås	0735	0935	1135	1335	1535	1735	1835	1935	2035	2135	2235	2335	
Ski	0742	0942	1142	1342	1542	1742	1842	1942	2042	2142	2242	2342	
Kolbotn	0752	0952	1152	1352	1552	1752	1852	1952	2052	2152	2252	2352	
Oslo S	0803	1003	1203	1403	1603	1803	1903	2003	2103	2203	2303	0003	
Oslo S	0805	1005	1205	1405	1605	1805	1905	2005	2105	2205	2305	0005	0053
Nationalteatret	0807	1007	1207	1407	1607	1807	1907	2007	2107	2207	2307	0007	0055
Skøyen	0812	1012	1212	1412	1612	1812	1912	2012	2112	2212	2312	0012	0100
Lysaker	0815	1015	1215	1415	1615	1815	1915	2015	2115	2215	2315	0015	0103
Sandvika	0822	1022	1222	1422	1622	1822	1922	2022	2122	2222	2322	0022	0112
Asker	0832	1032	1232	1432	1632	1832	1932	2032	2132	2232	2332	0032	0126
Bondivatn	0834	1034	1234	1434	1634	1834	1934	2034	2134	2234	2334	0034	0128
Gullhella	0836	1036	1236	1436	1636	1836	1936	2036	2136	2236	2336	0036	0130
Heggedal	0839	1039	1239	1439	1639	1839	1939	2039	2139	2239	2339	0039	0133
Hallenskog	0841	1041x	1241x	1441x	1641x	1841x	1941x	2041x	2141x	2241x	2341x	0041x	0135x
Røyken	0844	1044	1244	1444	1644	1844	1944	2044	2144	2244	2344	0044	0138
Åsaker	0846	1046x	1246x	1446x	1646x	1846x	1946x	2046x	2146x	2246x	2346x	0046x	0140x
Spikkestad	0849	1049	1249	1449	1649	1849	1949	2049	2149	2249	2349	0049	0143

Kjøres ikke:							13.-16.4. 4.6.		13.-16.4. 4.6.		13.-16.4. 4.6.		
---------------------	--	--	--	--	--	--	-------------------	--	-------------------	--	-------------------	--	--

G. Ruteordre jernbaneverket



H. Forstudierapport

Energiforbruk i tog – måling, oppfølging og læring (Train Energy Use – Measurement, Evaluation, and learning)

Forstudierapport
Masteroppgave



Vår 2006
Stud. Techn.
Jan Vetle Moen
6.2.2006

Forord

Dette er en forstudierapport for masteroppgaven ”Energiforbruk i tog – måling, oppfølging og læring” som skal gjennomføres våren 2006 ved Norges teknisk- og naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Masteroppgaven er et samarbeid mellom NTNU og NSB med førsteamanuensis Tom Fagerhaug som ansvarlig faglærer og forsker Nils Olsson som veileder. Oppgaven vil bli gjennomført i Oslo med kontaktperson Hans Haugland ved NSB.

Jeg vil takke Ottar Haslestad, Hans Haugland, Tom Fagerhaug og Nils Olsson for hjelp med denne forstudierapporten.

Oslo 6.2.2005

Innhold

PROSJEKTBEKRIVELSE	XXXII
BAKGRUNN FOR PROSJEKTET	XXXII
PROBLEMBESKRIVELSE	XXXII
MÅL	XXXII
<i>Presisering</i>	<i>xxiii</i>
PROSJEKTSTYRING	XXXIV

Vedlegg A: Pos skjema

Vedlegg B: WBS

Vedlegg C: KTR-skjemaer

Vedlegg D: Gantt skjema



Prosjektbeskrivelse

Bakgrunn for prosjektet

Som en avslutning i sivilingeniørutdannelsen ved NTNU, Institutt for produksjon og kvalitetsteknikk, skal det på siste året gjennomføres en masteroppgave. Oppgavens omfang er satt til 30 studiepoeng.

Dette er en forstudierapport som gir et grunnlag og en analyse av problemstillingen. Det tas høyde for at prosjektet kan avvike noe fra det som er omtalt her, da forstudierapporten utvikles tidlig i prosjektperioden. I denne forstudierapporten vil det utarbeides en detaljert aktivitetsplan med anslag over arbeidsmengde. Videre legges det vekt på en analyse av oppgavens problemstillinger og en presisering av disse samt en nærmere beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven. Det vil i tillegg bli definert et antall milepæler, som vil være viktig å overholde for å oppnå suksesskriteriene.

Problembeskrivelse

NSB arbeider med tiltak for direkte energibesparing, læring av hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens tog kan utvikles. Et simulatoranlegg er bygget for å lære hva som kjennetegner energieffektiv kjøring. Oppgaven rettes mot oppfølging av energiforbruk, med utgangspunkt i erfaringer fra simulatoren.

Kjøreteknikken til lokfører vil være sentralt med hensyn på sparing av energi. NSB har som målsetting og spare ti prosent innen fremføring av tog. Ved hjelp av simulatoren og tilhørende analyseverktøy vil det være mulig å komme frem til hva som vil være den beste kjøreteknikken etter norske kjøreforhold.

For å sikre at resultatene fra simulering stemmer overens med reelle verdier, vil det være sentralt med kvalitetssikring av resultater fra simulator. Oppgaven retter seg mot denne problemstillingen, og er delt i tre deloppgaver:

1. Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller. Et sammendrag av dette skal presenteres.
2. Kvalitetssikring av simuleringsresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Dette kan omfatte både målt energiforbruk og observert kjøreatferd (simulert sammenlignet med observert).
3. Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kan forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i (simulert sammenlignet med forventet).

Mål

Målet med denne oppgaven er å se på tema kvalitetssikring av resultater fra simulering, med hovedsak innen togdrift og energiforbruk. Simulatoren til NSB vil være sentral med hensyn til måling og analyse. Det vil være viktig å oppnå tilstrekkelig med målinger, både simulerte og faktiske, slik at man får et godt sammenligningsgrunnlag for å validere simulatorens resultater med hensyn på energiforbruk. Validering og kalibrering av simulatorens verdier i forhold til energiforbruk vil bli vektlagt.

Arbeidet skal føre frem til en fullstendig ferdig prosjektrapport innen 12.6.2006 til Institutt for Produksjons- og Kvalitetsteknikk. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport, og leveres i 3 eksemplarer (innbundne) til instituttet. I tillegg leveres minst et eksemplar og en CD til henholdsvis veileder og NSB.

Oppgaven består også av en prosjektstyringsdel, da oppgaven skal gjennomføres som et prosjektarbeid. Målet for denne delen vil være å trekke erfaringer i forhold til prosjektarbeid og bruk av de verktøy som finnes innen prosjektstyring. Her vil det være viktig å overholde alle milepæler og tidsfrister som er identifisert gjennom forstudiet.

Presisering

I denne delen av oppgaven blir det tatt for seg de ulike delspørsmålene å avgrense disse nærmere.

Del 1:

Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringmodeller.

- Lese relevant litteratur rundt modellering og simulatorer
- Sette seg inn i hvordan innsamling av data ved simulering finner sted, hvilke aktiviteter som bør gjennomføres og hvordan de presenteres og analyseres
- Diskutere fordeler/ulempene ved simulering og dens troverdighet med hensyn på dataanalyse
- Gjøre rede for begreper som validering og kalibrering av simuleringverdier
- Presentere analyseverktøy og simuleringmulighetene hos NSB
- Eksempler på resultater fra simuleringmodeller i andre bransjer, med tilhørende eksempel fra jernbane og energiforbruk.
-

Del 2:

Kvalitetssikring av simuleringresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Dette kan omfatte både målt energiforbruk og observert kjøreatferd (simulert sammenlignet med observert).

- Få tilstrekkelig med målinger fra simulator, samt tilstrekkelige reelle målinger på energiforbruk. Minimum 30 målinger hver.
- Lese relevant litteratur rundt atferdsteori, menneske/maskin, troverdigheten mellom fullskalasilulering og reell kjøring
- Fysisk observasjon av lokfører ved kjøring av tog (hvis mulig)
- Sammenligne simulert kjøring og faktisk observert kjøring basert på atferd
- Gjøre rede for ulikheter mellom faktisk og simulert energiforbruk
- Sammenligne simulerte verdier og faktiske verdier med tilhørende analyse

Del 3:

Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kan forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i (simulert sammenlignet med forventet).

- Gi en oversikt over hvordan simulatoren til NSB er bygd opp, både
- Gjøre rede for hva simulatoren ligger til grunn for sine beregninger
- Gjøre rede for hva som påvirker energiforbruk i forhold til simulatorens beregninger
- Analysere om resultat stemmer overens med de verdiene som kan forventes.

Prosjektstyring

Oppgaveteksten sier at prosjektoppgaven skal utføres som et prosjekt, og videre at prosjektstyring vil være en del av bedømmelsen. I alle slike prosjekt vil god oppfølging underveis være viktig.

Innledningsvis ble det laget et POS-skjema (Project Overview Statement - Vedlegg A) som konkretiserer målene for dette prosjektet. Dette for å få en enkel oversikt over mål, delmål og akseptkriterier knyttet til måloppfyllelse.

Videre ble prosjektet brutt ned i mindre deler eller aktiviteter ved hjelp av et WBS-skjema (Work Breakdown Structure – Vedlegg B). Disse arbeidspakkene dannet grunnlaget for KTR – skjemaene (Vedlegg C), som ble laget for hver av disse.

For å få kontroll på hvor mye tid som skal brukes på hver aktivitet, og når aktiviteten bør foregå er det utarbeidet en tabell (Tabell 1) som viser dette. Tabellen vil også være utgangspunkt i Gantt - skjemaet som er lagt med i rapporten som vedlegg D. Antar her en arbeidsbelastning på 48 timer per uke i 20 uker med start fra 16.1.2005 og slutt 11.6.2005. Dette gir en arbeidsbelastning på 960 timer totalt.

Aktivitet	Varighet	Start	Slutt
Litteratursøk	144	23.1.2006	17.2.2005
Forstudierapport	96	16.1.2006	28.1.2005
Innsamling av data	96	6.2.2006	1.4.2006
• Reelle			
• Simulerte			
Del 1	176	6.2.2006	16.3.2006
Del 2	176	17.3.2006	26.4.2006
Del 3	176	27.4.2006	2.6.2006
Statusrapport	24	24.3.2006	31.3.2006
Prosjektstyring	24	16.1.2006	9.6.2006
Ferdigstille	48	5.6.2006	9.6.2006
Totalt	960		

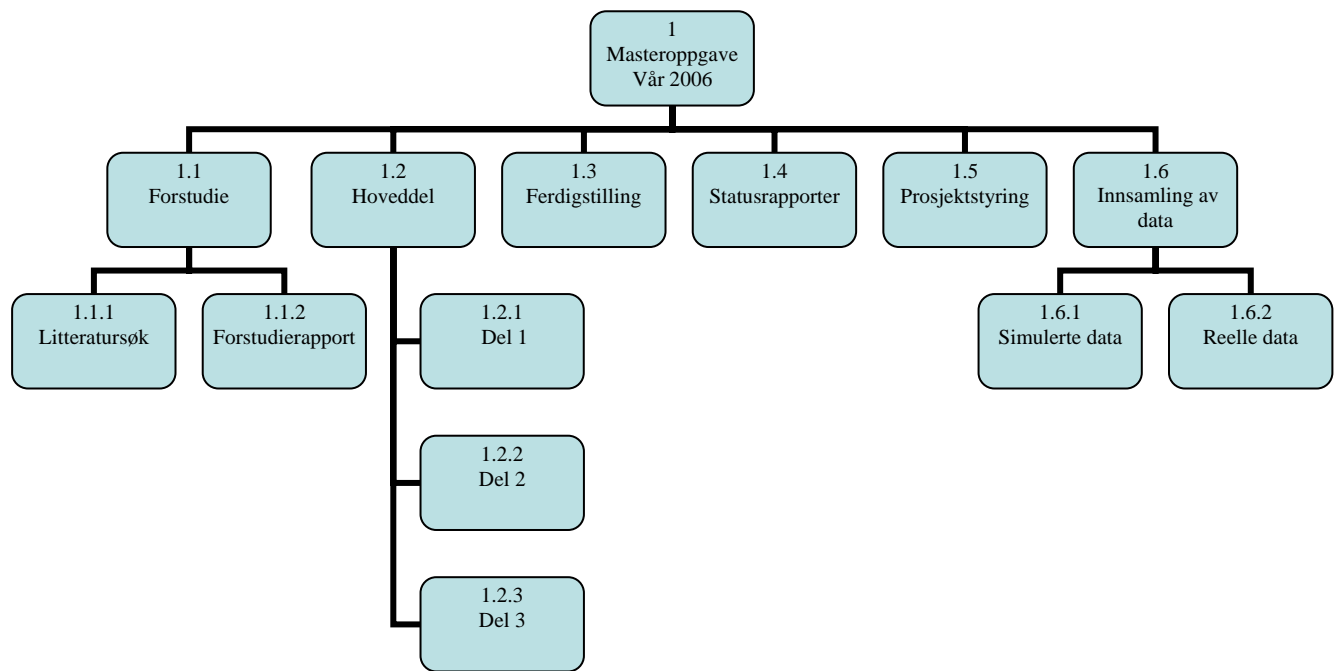
Videre er det definert noen milepæler som definerer slutten på de viktigste aktivitetene, og som prosjektets totale fremdrift vil være avhengig av avsluttes i tide. Disse vises i Gantt – diagrammet.

Møte med veileder er ikke fastsatt etter faste tider, men vil ha kontinuerlig kontakt i løpet av prosjektperioden for å avtale møter. Prosjektet blir gjennomført i Oslo. Det vil bli kontinuerlig kontakt og arbeid både ved simulatorsenteret i Drammen, og hovedkontoret på Oslo Sentralstasjon.

Vedlegg A: POS-skjema

POS	Prosjekt: Energiforbruk i tog – måling oppfølging og læring (Train energy use – mesurement, evaluation and learning)	Dato rev: 06.09.2005
<p>Problem: Energiprisene stiger, derfor ønsker NSB tiltak for direkte energisparing, læring av hva som er effektiv energibruk og hvordan framtidens tog kan utvikles.</p>		
<p>Hovedmål: Kvalitetssikre simuleringsresultater i forhold til energiforbruk, mot faktiske verdier.</p>		
<p>Delmål:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller. • Kvalitetssikring av simuleringsresultater sammenlignet med faktisk observert kjøring. • Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kan forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i. • Lære om prosjektarbeid. 		
<p>Suksesskriterier</p> <ul style="list-style-type: none"> • Overholde milepæler. • Innhente relevant litteratur. • Få karakter A på prosjektet. • NSB drar nytte av prosjektet. 		
<p>Forutsetninger, risiko, hindringer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • All data og litteratur kan ikke oppdrives. • Nok relevante målinger, simulerte og faktiske. • Uforutsette hindringer i forhold til IT og dataverktøy. • Sykdom. • Veileders tilgjengelighet. 		

Vedlegg B: WBS



Vedlegg C: KTR-skjemaer

Aktivitet:
1.1.1 Litteratursøk

Oppgave:

Finne litteratur som er relevant for oppgavens problemstillinger, å videre systematisere denne litteraturen.

Mål:

Finne litteratur som kan brukes i oppgaven, og som vil sette oppgavens problemstillinger i et nytt lys og øke forståelsen.

Innhold:

Bøker, artikler og data som kan belyse oppgavens problemstillinger.

Arbeidsmetode:

- Bibliotek og Bibsys
- Internett
- NSB sin dokumentasjon
- Pensumlitteratur

Utfordringer/vanskeligheter:

Finne og identifisere nok relevant litteratur for å kunne gjennomføre hver enkelt deloppgave. Klare og skille god og dårlig litteratur.

Resultat:

Danne et grunnlag for videre arbeid med oppgaven med hensyn på vurderinger og analyser.

Varighet:

144 timer

Aktivitet
1.1.2 Forstudierapport

Oppgave:

Analyse av oppgavens problemstilling. En beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven, hvorav denne beskrivelsen skal munne ut i en klar definisjon av arbeidsoppgavens innhold og omfang. En tidsplan for fremdriften av prosjektet, som skal utformes som et Gantt-skjema med angivelse av de enkelte arbeidsoppgavenes terminer, samt med angivelse av milepæler i arbeidet.

Mål:

Få en oversikt over arbeidsoppgaver samt avgrense den innenfor de rammer som er gitt av veileder, med tilsvarende tid og ressurs beregninger.

Innhold:

Problembeskrivelser, mål og avgrensing, fremdriftsplan, aktivitetsbeskrivelser, WBS, POS og Gant – skjema.

Arbeidsmetode:

Litteratur, samtaler og dataverktøy

Utfordringer/vanskeligheter:

Avgrense oppgaven innen de forskjellige deloppgaver. Uenighet med veileder om mål, avgrensing og problembeskrivelse. Få avgrenset oppgaven innenfor de timer som arbeidsmengden med prosjektet tilsvarer.

Resultat:

Et hjelpemiddel til videre arbeid med prosjektet.

Varighet:

96 timer

Aktivitet:
1.2.1 Del 1

Oppgave:

”Gjennomføre et litteraturstudium rundt kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller”

Mål:

Presentere litteratur rundt simulering og modellering, hvorav datainnsamling og presentasjon av disse får en sentral plass.

Innhold:

Viktigheten ved innsamling, analysing, kvantifisering, validering, verifisering av data som har utløp fra simulering og modellering.

Arbeidsmetode:

Litteratursøk, samtaler med aktører som til daglig bruker simulering i sitt arbeid.

Utfordringer/vanskeligheter:

Relevant og interessant litteratur med god dybde innenfor emne.

Resultat:

Få frem hvorfor kvalitetssikring av resultater fra simuleringsmodeller er viktig ved arbeidet med simulering.

Varighet:

176 timer

Aktivitet:
1.2.2 Del 2

Oppgave:

”Kvalitetssikring av simuleringsresultat sammenlignet med faktisk observert kjøring. Omfatter både målt energiforbruk og observert kjøreatferd.”

Mål:

Finne ut om simulering stemmer overens med reelle verdier.

Innhold:

Analyse av simuleringer sammenlignet med reelle verdier med utgangspunkt i samme strekning på østfoldbanen. Sammenheng mellom energiforbruk og atferd.

Arbeidsmetode:

Litteratur, samtaler og besøk hos NSB.

Utfordringer/vanskeligheter:

For store ulikheter. Usammenlignbart. Målinger.

Resultat:

Gi et bilde av simulatorens troverdighet i forhold til reelle verdier.

Varighet:

176 timer

Aktivitet:
1.2.3 Del 3

Oppgave:

”Kvalitetssikring av at simulerte resultater vedrørende energiforbruk er slik som man kunne forvente ut fra de data som simuleringen tar utgangspunkt i.”

Mål:

Finne ut om de verdier simulatoren tar utgangspunkt i, gir de verdier man kan forvente.

Innhold:

Oversikt over hva og hvilke verdier simulatoren tar utgangspunkt i for så å sjekke om disse har tilhørighet med data man får ut.

Arbeidsmetode:

Arbeid ved simulatorsenteret Sundland, dokumentasjon fra ulike instanser hos NSB, måling.

Utfordringer/vanskeligheter:

Tilgangen til all dokumentasjon.

Resultat:

Simulerte verdier sammenlignet med forventede verdier, om disse stemmer.

Varighet:

176 timer

Aktivitet:
1.3 Ferdigstilling

Oppgave:

Skrive ferdig de ulike delene og sette disse sammen til en komplett rapport.

Mål:

En rapport som fremstår som et gjennomtenkt og helhetlig dokument og gi tråd med gitte retningslinjer.

Innhold:

Hele den ferdige rapporten.

Arbeidsmetode:

Selvstendig skriving og veiledning.

Utfordringer/vanskeligheter:

Skape flyt og rød tråd gjennom hele rapporten slik at den blir et helhetlig produkt.
Dataproblemer med f.eks tap av informasjon.

Resultat:

En helhetlig gjennomført rapport som NSB kan bruke i sitt arbeid med sitt arbeid innen energiforbruk og simulering.

Varighet:

48 timer

Aktivitet:
1.4 Statusrapport

Oppgave:
Lever statusrapport 1.4.2006

Mål:
Rapportere fremdriften i forhold til planen ved innleveringsdato.

Innhold:
Presentere fremdriften på prosjektarbeidet.

Arbeidsmetode:
Bruke forstudierapporten som verktøy for så å evaluere om fremdriften går som planlagt.

Utfordringer/vanskeligheter:
Forstudierapporten passer ikke overens med prosjektarbeidet.

Resultat:
En rapport som beskriver fremdriften til de ulike delene av oppgaven.

Varighet:
24 timer

Aktivitet 1.5 Prosjektstyring
Oppgave: Kontrollere arbeidet med prosjektet ved å holde tidsfrister og gjøre de ulike arbeidspakkene til den gitte tiden.
Mål: Ingen ”skippertak”, jevn arbeidsmengde utover prosjektperioden.
Innhold: Kontinuerlig oppfølging og gjennomgang av eget arbeid gjennom hele prosjektperioden.
Arbeidsmetode: Følge tidsplanen, bruke almanakk for og overholde frister og møter. Sette egne mindre delmål som skal følges kontinuerlig.
Utfordringer/vanskeligheter: Holde tidsfrister.
Resultat: Et prosjekt som er godt koordinert og leveres innen de tidsfrister som er satt.
Varighet: 24 timer

Aktivitet
1.6.1 Simulerte målinger

Oppgave:
Innsamling av simulerte verdier.

Mål:
Ha gjennomført 40 simulerte målinger innen 1. april.

Innhold:
40 målinger med simulerte data.

Arbeidsmetode:
Oppfølging og observasjon på simulatorsenteret Sundland, slik at ulike lokførere får gjennomført alle målingene.

Utfordringer/vanskeligheter:
Få gjennomført alle målingene. Respons og kommunikasjon med de ansatte på simulatoranlegget.

Resultat:
40 gode målinger, hvorav alle kan brukes til analyseringsarbeid.

Varighet:
72 timer

Aktivitet
1.6.2 reelle målinger

Oppgave:

Gjennomføre reelle målinger på et type 72 tog på østfoldbanen.

Mål:

Kontinuerlig måling av energiforbruk på et tog gjennom hele våren.

Innhold:

Målinger fra type 72 tog

Arbeidsmetode:

Kontinuerlig dialog med Driftsavdelingen, slik at tilgangen til målingene blir grei.

Utfordringer/vanskeligheter:

Måler på et tog i løpet av våren. Tilgang til data.

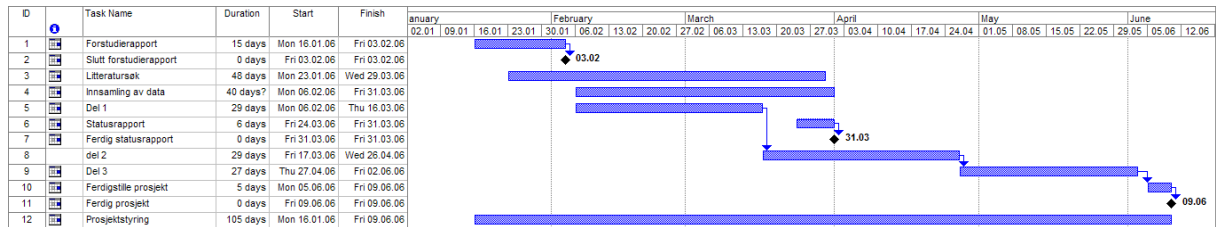
Resultat:

Mange målinger fra type 72 tog på østfoldbanen.

Varighet:

24 timer

Vedlegg D: Gantt-skjema



I. Statusrapport

Energiforbruk i tog – måling, oppfølging og læring (Train energy use – measurement, evaluation and learning)

Statusrapport



Vår 2006
Stud. Techn.
Jan Vetle Moen
30.03.2006

Planlagt framdrift:

I henhold til fremdriftsplanen skulle del 1 i oppgaveteksten være ferdige per 16.03.2006, i tillegg litteratursøket (29.03), datainnsamling (31.03), statusrapport (31.03) og forstudierapporten (03.02). Del 2 skal være påbegynt.

Virkelig framdrift:

Per 30.03.06 er følgende utført:

Litteratursøk innen litteraturstudiet er ferdig. Ulik datainnsamling fra NSB og simulatorcenteret er en prosess som vedvarer gjennom hele prosessen

Forstudierapporten er skrevet og levert innen tidsfristen

Opprettet et dokument som rapporten skal skrives inn i, med formateringer, sideinndeling, innholds-, figur- og tabellfortegnelser og lignende.

Del 1 er 95 % ferdig, noe småpirk igjen som legges under ferdigstilling av oppgaven.

Del 2 er påbegynt.

Datainnsamlingen er ikke påbegynt, da reelle målinger ikke har funnet sted.

Avvik i framdrift:

Arbeidet kom godt i gang i starten. Forstudierapporten var ferdig innen skjema. Litteraturstudiet gikk også etter planen, og del 1 ble nesten fullført etter tidsskjema. Datainnsamlingen er ikke påbegynt, og kommer med stor sannsynlighet heller ikke begynne av tekniske årsaker.

Endringer i forhold til opprinnelig tidsplan:

Følger den opprinnelige tidsplanen noenlunde greit, men det vil bli gjort noen endringer i selve oppgaven som også vil resultere i en ny tidsplan. Oppgave 2 vil få et litt større omfang, datainnsamlingen vil bli noe mindre, men noe mer jobb må forventes av bearbeiding av den nye rådataen.

Endringer i oppgaven

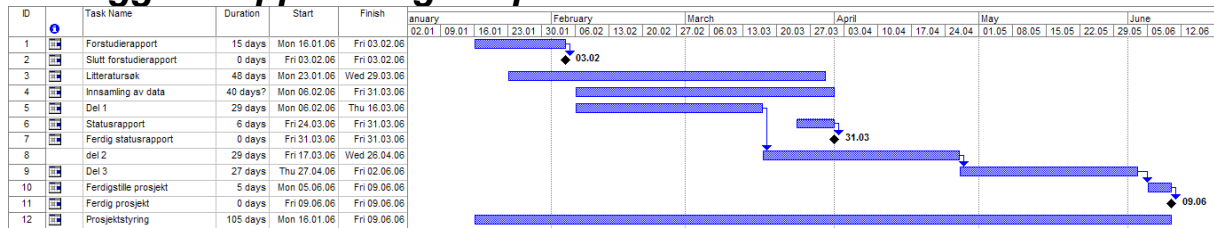
Del 2 av oppgaven vil få betydelige endringer. Den opprinnelige planen var å få tilstrekkelig med målinger fra reelle kjøring for sammenligning av simulerte kjøring. Reelle målinger var vanskelig å oppdrive, derfor må denne oppgaven endres noe:

Har fått tak i en mengde rådata fra reelle kjøring hvor hastigheten er logget hvert 20 sekund. Med disse dataene *kan* det være mulig å få sammenlignet kjøreatferden reelt og simulert, men er noe grov så kan være usikkert. Bearbeidelse og analyse av disse dataene vil bli gjort, med en mulig sammenligning av simulerte kjøring.

Lage en oversikt over de antagelser som er gjort ved modellering av simulatoren, i sammenligning med tilsvarende aktør. Dette for å få en oversikt over hvor godt datagrunnlaget for modellering er, spesielt innen de faktorer som påvirker energiforbruk.

En noe grundigere verifisering av simulatoren enn det som er planlagt i del 2.

Vedlegg 1 – Opprinnelig tidsplan



Vedlegg 2 – Revidert tidsplan

