

**Prosjektoppgave
TPK4700**

**ENERGIFORBRUK – AVHENGIGHET AV RUTER OG
MATERIELL
(Train Energy Use – Timetable and Rolling Stock Dependencies)**



**Høst 2006
Stud. Techn. Iver Wien**

Forord

Denne rapporten er et resultat av arbeidet med prosjektoppgaven ”Energiforbruk – avhengighet av ruter og materiell” som gjennomføres høsten 2006 ved Norges Tekniske- og Naturvitenskapelige Universitet (NTNU) i Trondheim.

Prosjektoppgaven er et samarbeid mellom NTNU og NSB med professor Bjørn Andersen som ansvarlig faglærer og forsker Nils Olsson som veileder. Kontaktperson ved NSB var Jan Vetle Moen og Hans Haugland.

Jeg vil rette en stor takk til de ansatte på NSB skolen og simulatorsenteret i Drammen og ansatte i NSB drift og NSB plan for god innføring i jernbanedrift, samt hjelp til utførelse av analyser. Jeg vil også takke Nils Olsson, Jan Vetle Moen og Bjørn Andersen for veldig god veiledning underveis i prosjektet. Nils Olsson har vist stor entusiasme og virkelig vært til stor hjelp underveis. Jan Vetle Moen har alltid vært tilgjengelig og har slått av en prat også utenom det jernbanefaglige.

Trondheim 19.12.06

Iver Wien

Sammendrag

NSB har, som en følge av økt fokus på energiforbruk i samfunnet generelt, startet et energispareprosjekt. De høye energiprisene har ført til at denne kostnaden blir en stadig større del av de totale kostnadene. I tillegg profilerer NSB seg som et miljøvennlig selskap, og for å opprettholde denne imagen er det viktig å ha fokus på å redusere sitt forbruk av energi.

NSB er ett persontransportselskap. Hovedproduktet persontransport på jernbane vil i likhet med annen varetransport være en logistikkoperasjon. I tillegg vil aktivitetene som støtter opp om hovedproduktet som transportplanlegging, materiellplanlegging og innkjøp være logistikkoperasjoner.

Planlegging i et selskap vil grovt sett kunne deles i de tre kategoriene strategisk-, taktisk- og operativ planlegging. Beslutninger tatt i alle disse kategoriene vil ha påvirkning på det totale energiforbruket i et transportselskap som NSB. Av strategiske beslutninger vil innkjøp av materiell og rutestrategier være av stor betydning for forbruk av energi. Beslutninger rundt oppsett av rutetabeller og materielloppsett vil være taktiske bestemmelser som påvirker det totale energiforbruket.

Selv om rammene for jernbanetransporten er satt i den strategiske og taksiske delen av planleggingen, vil det være rom for energisparing også på operativt nivå. Planlegging av riktig kjøreteknikk, kan spare mye energi. Hovedutfordringen for energieffektiv kjøring er å utnytte de tidsbufferne som er innlagt i kjøretiden. Det finnes i utgangspunktet tre metoder for energioptimal kjøreteknikk. Ekstra tid kan benyttes til lavere akselerasjonshastighet, lavere topphastighet og rulling. Det er et viktig poeng å utnytte disse teknikkene best mulig å forhold til forutsetningene ved terreng, hastighetsgrenser, rutetabell og materiell. Forskjellige strekninger med forskjellige forutsetninger kan ha ulike løsninger på hva som er energieffektiv kjøreteknikk.

I analysering av energiforbruk i jernbane har NSB tre tilgjengelige metoder som er aktuelle å benytte. Disse vil ha ulike egenskaper og bør benyttes sammen for å lage best mulig beslutningsgrunnlag. En regnearkmodell vil være en teoretisk tilnærming til virkeligheten. I en slik modell vil man ha god kontroll på hvilke parameter som endres, og dermed få et godt utgangspunkt for mer praktiske tester. Den mest praktiske metoden er direkte energimåling på tog. Fra disse målerne er det mulig å generere store mengder data fra den daglige trafikken. En mellomting mellom praktisk og teoretisk metode vil være bruk av simulator. Simulatoren har en teoretisk utregningsmodell som utgangspunkt, men vil bli styrt av en lokfører, og får dermed et mer reelt preg enn regnearkmodellen. I simulatoren er det mulig å utføre tester som ellers ville forstyrret trafikken ute på linja.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	1
1.1	Omfang	1
1.2	Problemstilling	1
1.3	Metode	1
1.4	Oppbygging	2
2	Logistikk og Energi	4
2.1	Logistikk	4
2.1.1	Transportlogistikk	4
2.1.2	Jernbanelogistikk	5
2.2	Energifokus i jernbanetransport	6
3	Trafikkplanlegging i jernbanetransport	8
3.1	Aktører	8
3.2	Planleggingsnivå	9
3.3	Rutetabellplanlegging	10
3.3.1	Oppbygging av rutetabell	12
3.3.2	Beregning av kjøretider og oppholdstider	15
3.3.3	Linje- og rutetabellstrategier	16
3.4	Materiellplanlegging	16
4	Energisparing i jernbanelogistikk	18
4.1	Energieffektive kjøreteknikker	18
4.1.1	Hovedstrategier	19
4.1.2	Andre viktige faktorer	20
4.2	Optimalt kjøremønster i praksis:	20
4.2.1	Rulling, lavere topphastighet eller lavere akselerasjon	21
4.2.2	Konstant hastighet eller sagtannstrategi	22
4.2.3	Hastighetsbegrensninger	22
4.2.4	Manuell eller Automatisk kjøring	24
4.2.5	Terreng	24
4.3	Potensial for energieffektiv kjøring i Norge	25
4.4	Energioptimalisering ved taktisk og strategisk planlegging	25
4.4.1	En alternativ metode for rutetabell	25
5	Analysing av energiforbruk	29
5.1	Analyse metoder	29
5.1.1	Regnearkmodell	29
5.1.2	Simulatoranlegg	31
5.1.3	Energimålinger	34
5.1.4	Sammenligning av analyse metoder	35
5.2	Identifikasjon av analyse områder	36
5.2.1	Tidsbuffer/reisetid	38
5.2.2	Stoppmønster	39
5.2.3	Alternative rutetabeller	39
5.2.4	Bruk av eksisterende materiell	40
5.2.5	Energieffektive kjøreteknikker	40
5.2.6	Innkjøp av materiell	41
5.2.7	Metoder for energianalyse	42
6	Energianalyser	43
6.1	Simuleringer	43
6.1.1	Oversiktssimulering	43
6.1.2	Energiforbruk ved stasjonsopphold	43

6.1.3	Rutetabell og energiforbruk.....	44
6.2	Resultater og diskusjon.....	44
6.2.1	Manuell/Automat.....	44
6.2.2	Merforbruk ved stasjonsopphold.....	45
6.2.3	Kjøretid.....	46
6.2.4	Ruteoppsett.....	48
6.2.5	Lokalkjente førere.....	50
7	Konklusjon.....	52
	Referanser.....	54
	Vedlegg.....	I
	A - Forstudierapport.....	I
	B - Statusrapport 23.10.06 for Iver Wien.....	XVIII
	C - Simuleringer.....	XX
	D - Materiell i NSB (lokaltrafikk i Oslo området).....	XXIV
	E – Resultater fra Regnearksimulering.....	XXV
	F – Presentasjon for NSB 05-12-06.....	XXVI

Figurliste

Figur 1 Oppbygging av oppgaven	2
Figur 2 Utvikling av strømpriser mellom 1998 og 2006 (Statistisk Sentral Byrå a, 2006).....	7
Figur 3 Planleggingsrekkefølge i NSB (SINTEF, 2002).....	8
Figur 4 Planleggingshierarki (Rolstadås, Andersen og Schjølberg, 1999).....	9
Figur 5 Planleggingsfaser ved årlig ruteendring (SINTEF, 2000)	11
Figur 6 Kapasitetsfordeling i Jernbaneverket (Jernbaneverket, 2005)	11
Figur 7 Grafisk rutetabell for strekningen mellom Oslo S og Drammen (Jernbaneverket a, 2006).....	13
Figur 8 Eksempel på rutetabell for reisende mellom Drammen og Lillestrøm (NSB b, 2006) 14	
Figur 9 Rutetabell for togpersonell på strekningen Moss-Ski.....	15
Figur 10 Skjematisk oppsett for Y1 på Bratsbergbanen.....	17
Figur 11 Redusert akselerasjonshastighet (International Union of Railways b, 2003)	19
Figur 12 Redusert topphastighet (International Union of Railways b, 2003)	19
Figur 13 Rulling inn mot stasjon (International Union of Railways b, 2003).....	20
Figur 14 Konstant hastighet og rulling inn mot stopp (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)	22
Figur 15 Infinitesimale perioder med fullt pådrag og rulling inn mot stopp (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	22
Figur 16 Hatighetsgraf på Østfoldbanen mellom Oslo S og Kornsjø (Jernbaneverket b, 2006)	23
Figur 17 Rulling ned til hastighetsbegrensning med infinitesimale perioder med fullt pådrag (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	23
Figur 18 Rulling ned til hastighetsbegrensning og full akselerasjon opp til hastighet (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	23
Figur 19 Rulling starter før nedoverbakken (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	24
Figur 20 Før en bratt oppoverbakke økes hastigheten for å holde gjennomsnittsfarten (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	24
Figur 21 I en grunn dal vil periodene med rulling blir lengre nedover, og kortere oppover (Howlett, Milroy og Pudney, 1994).....	25
Figur 22 Stasjonsopphold med buffer i forhold til utkjør.....	27
Figur 23 Grafisk bilde fra energiutregningsmodell laget av Entro nova AS.....	29
Figur 24 Bilde fra førerbordssimulator.....	31
Figur 25 Skjerm bilde fra CorPra	33
Figur 26 Energibesparelse ved økning i reisetid [Deutsche Bahn, 2005].....	38
Figur 27 Sammenligning av testene A1 og A2 i CorPra, med energiforbruk øverst og hastighet nederst.....	46
Figur 28 Sammenheng mellom kjøretid og energiforbruk mellom Moss og Ski.....	47
Figur 29 Energibesparelse i forhold til økt kjøretid mellom Moss og Ski	48
Figur 30 Sammenligning av målingene for Vanlig rutetabell og skyggetabell.....	49
Figur 31 Sammenligning av de laveste målingene ved vanlig og skyggetabell i CorPra	50
Figur 32 Utvikling på energiforbruk fra måling 1 til måling 4 for lokfører 1	51

Tabelliste

Tabell 1 Energiforbruk	21
Tabell 2 Faktisk og planlagt oppholdstid på et utvalg stasjoner (tabell fra NSB).....	26
Tabell 3 Sammenligning av analysemetoder.....	36
Tabell 4 De 28 mest lovende energisparende tiltakene (Nilsen, Essen, Boer, 2005).....	37
Tabell 5 Oppsummering av metoder i forhold til analyseområder.....	42
Tabell 6 Testresultat fra oversiktssimulering	44
Tabell 7 Testresultat fra analyse for energiforbruk ved stasjonsopphold.....	45
Tabell 8 Testresultater fra analyse for rutetabell og energiforbruk	47

1 Innledning

1.1 Omfang

Dette prosjektet teller 15 studiepoeng av totalt 30 for et semester. Dette betyr en arbeidsbelastning på 24 timer i uka. Oppgaven ble utlevert 21.08.06 og skal leveres 19.12.06. I tillegg til denne rapporten er det utarbeidet en forstudierapport og en statusrapport.

1.2 Problemstilling

Norges Statsbaner (NSB) arbeider med tiltak for direkte energisparing, læring om hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens togdrift kan utvikles. Energiforbruk i togfremføring bestemmes blant annet av togmateriellets egenskaper (vekt, akselerasjon, maksimalhastighet) i forhold til infrastruktur og ruteplan (kjøretid, stoppmønster, avstand mellom stopp), sikkerhet og komfortkrav.

NSB ønsker spesielt å vurdere energiforbruk i forhold til stoppmønster og reisetid for lokaltrafikken i Oslo-området. Det er aktuelt å vurdere dette ut fra dagens NSB-materiell og for alternative materielltyper. Det kan være aktuelt å bruke den nyetablerte lokomotivførersimulatoren og ulike former for erfaringsdata for å studere energiforbruk.

Målsetting med denne oppgaven er å sette seg inn i og beskrive hvordan logistikken i NSB, med hensyn på rutetabell og materiell, påvirker energiforbruket. Det skal beskrives metoder på hvordan denne sammenhengen kan finnes ved ulike metoder, slik at det senere kan brukes som beslutningsstøtte i NSB. Minst en av disse analysene skal utføres i mindre skala, slik at reelle sammenhenger mellom logistikk og energiforbruk finnes.

1.3 Metode

Holme og Solvang (1998) skiller mellom to hovedformer for metodisk tilnærming. Dette er Kvalitative og Kvantitative metoder. Hovedskillet på disse er bruken av tall, eller ”myke” og ”harde” data. Begge metodene har sine sterke og svake sider, og valg av metode bør derfor skje ut i fra problemstillingen en ønsker å undersøke (Holme og Solvang, 1998).

Problemstillingen i denne oppgaven er tredelt, med et litteraturstudium av rutetabeller og bruk av rullende materiell og hvordan logistikkstyring påvirker energiforbruket, beskrivelse av energianalyse og gjennomføring av analyser. Valg av metode vil da avhenge av problemstillingene for hver del, og det vil bli brukt både kvantitative og kvalitative metoder.

Kvalitative metoder vil i hovedsak bli benyttet i teorikapitlene som en metode for å samle informasjon. Metoder for innsamling av informasjon i denne oppgaven vil være:

- Søk etter litteratur
- Samtaler
- Bruk av simulator

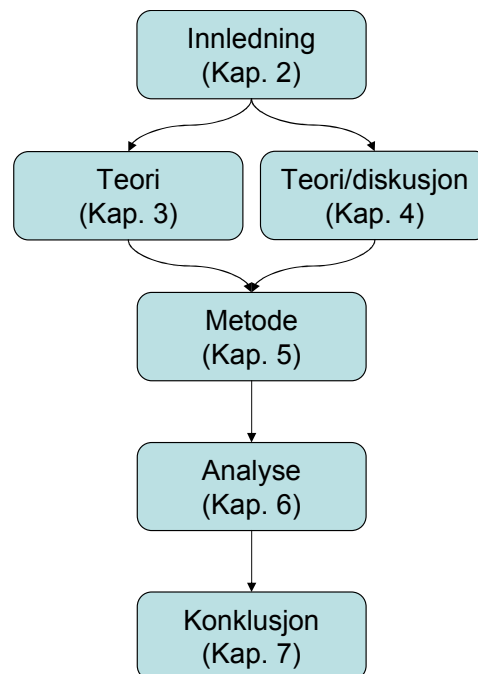
Kildene til litteratur vil i hovedsak være bibliotekdatabase ved NTNU, veileder ved SINTEF og fagmiljø i NSB. Samtalene vil i hovedsak være med lokførere og ansatte ved NSB-skolen og med fagfolk i administrasjonen i NSB fra avdelingene drift og plan.

Del to (kapittel 5) i oppgaven vil være beskrivelse av metode for analysing av energiforbruk. Her er det argumentert rundt forskjellige kvantitative metoder som NSB kan benytte i fremtidige energianalyser. Mange av argumentene i denne delen er basert på egne erfaringer og på samtaler med ansatte i NSB. Undertegnede har selv benyttet mye tid i simulatorsenteret og testet dens ulike funksjoner, og dermed sett styrker og svakheter. Ansatte i NSB har på sin side beskrevet muligheter og begrensinger ved energimålinger direkte på tog. Det er laget en oversikt over hvor godt de forskjellige analysemetodene passer til ulike analyseområdene i 5.2.7. Denne er laget etter egne vurderinger basert på egne erfaringer og teori om de ulike metodene.

Kvantitative metoder er benyttet i tilknytning analysene i siste del av oppgaven. I disse praktiske forsøkene var det i utgangspunktet tre forskjellige metoder som var aktuelle å benytte, henholdsvis regnearkmodell, simulatormåling og reell måling. I energiprojektet til NSB er det jobbet for at alle disse metodene skal kunne benyttes til energiforskning. De reelle målingene fra NSB har likevel latt vente på seg, og har ikke vært fullt tilgjengelig høsten 2006. NSB har heller ikke disponert en god regnearkmodell. Å lage en slik regnearkmodell selv ville tatt veldig lang tid og vært unødvendig, siden konsulenter fra Entro utvikler en slik modell for NSB. Derfor har det bare vært benyttet simulatormålinger i de praktiske forsøkene. Disse målingene vil bli foretatt ved simulatorsenteret til NSB i Drammen.

1.4 Oppbygging

Dette prosjektet er tredelt, med et litteraturstudium, en del med beskrivelse av analyser og en del med utførte analyser. De er lagt opp slik at litteraturstudie danner grunnlaget for de senere analyseforslagene og de utførte analysene, som vist i Figur 1.



Figur 1 Oppbygging av oppgaven

I kapittel 2 er det en beskrivelse av logistikk og logistikks relasjoner til transport og jernbane. I tillegg er det beskrevet behovet for fokus på energi relatert til henholdsvis transport og jernbane. Dette kan ses på som en innledning til oppgaven.

Videre er det i kapittel 3 en teoretisk beskrivelse av trafikkplanlegging i Jernbane. I denne beskrivelsen er det lagt vekt på det norske jernbanenettet, med NSB som utgangspunkt. Dette kapittelet vil gjengi de grunnleggende jernbanekunnskapene som er nødvendig for å gå i gang med analyser av energiforbruk i jernbanen innen forskjellige logistikkoperasjoner.

For å analysere energiforbruket i jernbanen er det også viktig å ha god kunnskap om hva som påvirker energiforbruket. I kapittel 4 er det beskrevet hvordan energi kan spares ved ulike planleggingsnivå i NSB.

Kapittel 5 er delt i to deler der det først er beskrevet om ulike analysemetoder som NSB kan benytte seg av, mens del to beskriver en rekke forslag til områder som kan analyseres.

Som eksempler på hvordan energianalyser kan gjennomføres, er det gjennomført 3 små simuleringstester i simulatorsenteret på Sundland i Drammen. Beskrivelsene av og resultatene fra disse forsøkene er beskrevet i kapittel 6.

Til slutt er det kommentarer og konklusjoner til oppgaven i kapittel 7

2 Logistikk og Energi

2.1 Logistikk

Logistikk er et ord som har et vidt bruksområde, og mye kan betegnes som logistikk. Ordet har tradisjonelt vært brukt om forflytning av varer og utstyr i industrien eller militæret.

Coyle, Bardi og Novack (2000, s 3) benytter denne definisjonen for logistikk:

”Foretnings logistikk er prosessen med planlegging, implementering og kontrollering av effektiv flyt og lagring av gods, service og relevant informasjon fra utgangsposisjon til stedet der det trengs med den hensikt å imøtekomme kundens behov” (min oversettelse).

Kasilingam (1998, s 1) beskriver logistikk på denne måten:

”Logistikk representerer samlingen av aktiviteter som muliggjør tilgjengeligheten av riktig produkt i riktig mengde til riktig kunde på rett tidspunkt” (min oversettelse).

Andersen, Strandhagen og Haavardtun (1998) bruker ordet logistikk om disse oppgavene:

- Inngående transport
- Innkjøp/forsyning
- Material- og produksjonsstyring
- Distribusjon, transport og terminaler/lagerhotell

Kasilingam (1998) på sin side bruker ordet logistikk om oppgavene:

- Innkjøp
- Inventar kontroll
- Fasilitets planlegging
- Transport
- Intern logistikk

Disse to listene er tilnærmet like. Intern logistikk, inventar kontroll og fasilitetsplanlegging, vil være det samme som material- og produksjonsstyring, mens transport dekker både inngående transport og distribusjon.

2.1.1 Transportlogistikk

Transport er i seg selv en logistikkoppgave. Mange transportbedrifter spesialisere seg på å tilby komplette logistikk-løsninger for bedrifter. Dette gjelder spesielt for den eksterne logistikken. I tillegg har transportselskaper egen logistikk. De må kjøpe utstyr, lokalisere oppstillingsplasser/verksteder og planlegge ruter og bemanning.

Under logistikkoppgaven transport, vil det være en del nøkkel funksjoner og aktiviteter. I følge Kasilingam (1998) er dette:

- Planlegging av størrelse på vognpark
- Rute- og tidsplanlegging
- Bemanningsplanlegging
- Bestemmelse av terminalplassering
- Valg av transportmetode

I transport generelt er det en del generelle kostnader som vil gjelde for alle typer transportvirksomhet. Disse kostnadene er kapitalkostnader på infrastruktur og materiell og operasjonskostnader til vedlikehold, lønn, avgifter, planlegging og andre administrative oppgaver. Et transportselskap påtar seg sjelden alle kostnadene alene. For eksempel vil det offentlige betale for infrastruktur som vei og jernbane.

For å beskrive kostnadene for transport kan man ta utgangspunkt i en generell kostnadsmodell (Kasilingam, 1998):

$$C_{tot}^{trans} = C^{kap} + C^{op}$$

der

C_{tot}^{trans} : er totale transportkostnader

C^{kap} : er kapitalkostnader

C^{op} : er operasjonskostnader

Kapitalkostnader og operasjonskostnader kan igjen defineres:

$$C^{kap} = C^{inf} + C^{mat}$$

der

C^{inf} : er infrastrukturkostnader

C^{mat} : er materiellkostnader

og

$$C^{op} = C^{IV} + C^{UV} + C^{trans} + C^{traf} + C^{gen}$$

der

C^{IV} : er kostnader ved vedlikehold av infrastruktur

C^{UV} : er kostnader ved vedlikehold av materiell

C^{trans} : er transportkostnader

C^{traf} : er trafikkostnader

C^{gen} : er generelle kostnader

- Med transportkostnader menes alle kostnader knyttet direkte til hver tur som energi/drivstoff, lønn til personell på tog/bil og lønn til ansatte i operativ styring av trafikken.
- Med trafikkostnader menes kjøreveisavgifter
- Generelle kostnader er administrative- og diverse andre kostnader som støtter opp om transportvirksomheten, men ikke kan påskrives enkeltturer.

2.1.2 Jernbanelogistikk

Det er lett å definere transport av gods som en logistikkoperasjon. Varene forflyttes fra produksjon til produksjon til kunde. Linjegods, som er et fraktselskap, definerer sine tjenester som ”logistikkjenester” (Linjegods, 2006). NSB persontog driver derimot med transport av mennesker og ikke en ”vare”, så det er ikke så vanlig å benytte ordet logistikk om denne servicen. Likevel er det klare likhetstrekk mellom godstransport og persontransport. Det er derfor mulig å se på persontransport som en logistikkoperasjon i seg selv. Persontransport er logistikk for samfunnet.

Uansett om man ser på persontransport som en logistikkoperasjon i seg selv, vil mange av aktivitetene rundt persontransport være logistikk. På samme måte som en industribedrift har NSB behov for å planlegge og å kontrollere sin ”produksjon”. NSB som er et persontransportsselskap trenger å ha oppsatt materiell på riktig plass til riktig tid for å møte kundens behov for transporttjenester. De må fatte beslutninger om størrelse på lokomotiv- og vognparken og kjøpe inn nytt materiell når det er nødvendig. I jernbanen er det også viktig med en veldig nøyaktig planlegging av ruter og bemanning. Aktivitetene som støtter hovedproduktet, jernbanetransport, vil derfor komme inn under begge de nevnte definisjonene av logistikk (kapittel 2.1).

Det finnes mange logistikkoperasjoner i et stort selskap som NSB. I dette prosjektet som omhandler energisparing, vil det være naturlig beskrive de logistikkoperasjonene som i stor grad vil påvirke energiforbruket i NSB.

I jernbanetransport vil transportkostnadene deles mellom infrastruktureier og operatør, henholdsvis Jernbaneverket (JBV) og NSB. JBV vil ta de fleste kostnadene med infrastruktur og også kostnadene med operativ styring. NSB vil ta kostnader på materiell, energi/drivstoff og lønn til personell på tog. Fra kostnadsligningen blir dette kostnader for leddene C^{mat} , C^{MV} , C^{trans} og C^{traf} .

2.2 Energifokus i jernbanetransport

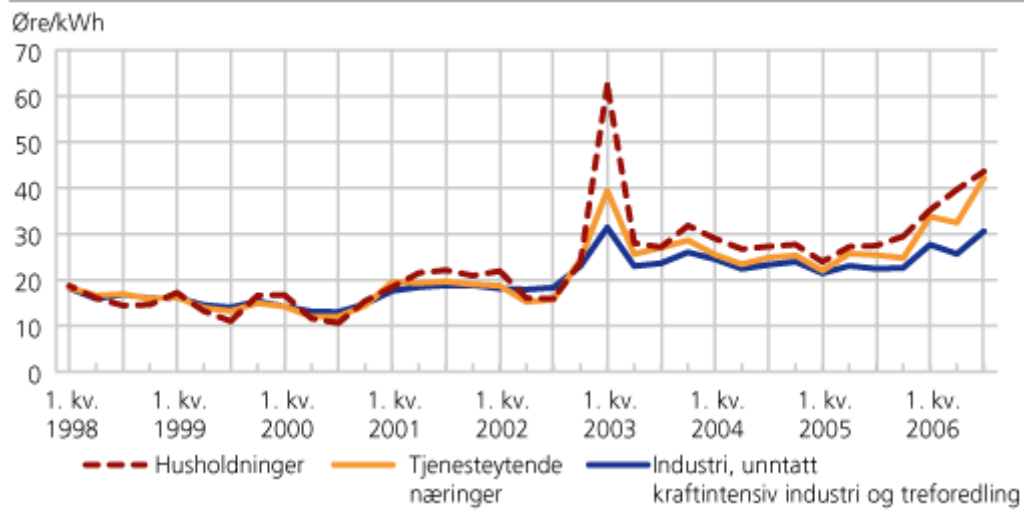
Fokuset på energi er blitt stadig større. Den globale utviklingen med materiell velstand krever stadig mer energi. Dette har ført til økte priser og mer belastning på miljøet. Miljømessig er et økende energiforbruk et stort problem. Store deler av verdens energiforbruk dekkes med fossilt brennstoff, som slipper ut mye CO₂. Det er bred enighet blant forskere at utslippene av CO₂ gass skaper global oppvarming.

Kostnader til energi vil være en av de større utgiftene i transport. Energiforbruk vil ligge i leddet C^{trans} i kostnadsmodellen, sammen med lønn til personell på transportmidlene og lønn til ansatte i operativ styring.

Jernbanen i Norge drives både med elektrisitet og diesel, men siden dieselandelen er ganske lav, er det mest naturlig å konsentrere om forbruket av strøm. De siste årene har strømprisene i Norge steget kraftig og vi har hatt ”strømkriser”, blant annet i 2003 (se Figur 2).

Strømprisene til jernbanevirksomhet vil følge kurven for tjenesteytende næring. De siste 12 månedene har strømprisen for tjenesteytende næringer økt med 65,7% og for industrien økt med 36,4% (Statistisk Sentral Byrå a, 2006). Til sammenligning har lønnsøkningen, fra 2 kvartal i 2005 til 2 kvartal i 2006, i samferdsel vært på 3,6%, (Statistisk Sentral Byrå b, 2006). Denne utviklingen i strømprisene gjør at energikostnadene blir en stadig større del av transportkostnadene og dermed en større del av de totale kostnadene ved jernbanedrift.

Gjennomsnittlige priser på elektrisk kraft, eksklusive avgifter og nettleie. Alle typer kontrakter. 1. kvartal 1998-3. kvartal 2006. Øre/kWh



Figur 2 Utvikling av strømpriser mellom 1998 og 2006 (Statistisk Sentral Byrå a, 2006)

Et jernbaneselskap vil selvfølgelig ha økonomiske begrunnelser for å spare energi, men miljø er også veldig viktig. NSB har en sterk miljøprofil og de profilerer seg på at de driver miljøvennlig transport. Samfunnets vilje til å satse på jernbane er også avhengig av miljøspørsmålet. Så lenge jernbanen kan vise til lavere utslipp enn annen type transport, vil det være krefter i miljøbevegelsen som kjemper for jernbane. Etter en lang nedadgående trend for jernbane i både Norge og ellers i verden, er jernbanen igjen et satsingsområde. Dette er mye på grunn av ønske om lavere utslipp av klimagasser og støy.

Energiforbruket i jernbanetransport vil fordele seg ut over hele driften. Det trengs energi blant annet til oppvarming av bygninger og stasjoner, informasjonssystemer, billettsystemer, driftssentraler, signalsystem, og energi til tog. I denne oppgaven blir det bare fokusert på energien som brukes i togene.

Togets energi til drift kan deles inn i tre hovedgrupper (Vestby, 2000):

- Overføringstap mellom uttaket fra det allmenne elektriske forsyningsnettet og inntaket til togsettet.
- Energi til funksjons- og komfortformål, f.eks oppvarming av kupèene, belysning, automatisk dørlukking osv.
- Energi som maskineriet bruker til framdriften av togsettet.

Energien som maskineriet bruker til fremdriften toget er igjen avhengig av (Vestby, 2000):

- Togets konstruksjon: aerodynamikk, tyngde, motoreffekt
- Banens infrastruktur: Kurvatur (vertikal og horisontal), andel tunneler
- Vær og føreforhold
- Rutetider og rutetidsreserve, og hvordan lokkføreren benytter disse reservene.

Toget konstruksjon, banen infrastruktur og vær og føreforhold er mer eller mindre konstanter som NSB ikke kan endre i den daglige driften. Rutetider og rutetidsreserver kan raskere endres for å optimalisere driften.

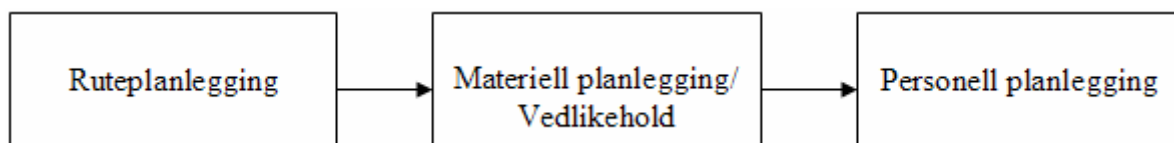
3 Trafikkplanlegging i jernbanetransport

For å kunne si noe mer om hvordan det er mulig å spare energi på logistikkforbedring i NSB, er det nødvendig med kunnskap på hvordan trafikkplanleggingen utføres i Jernbanen.

Som alle andre aktiviteter vil trafikkplanlegging ha overordnede mål som den styrer etter. En kan si at ”målet med ruteplanlegging er å tilby kundene så bra transportmulighet som mulig, samt å øke punktligheten og bedre resursanvendelsen” (Frøidh et al., 2000, s 136, min oversettelse). I jernbanedrift, som i annen virksomhet, er hovedmålet å tilfredsstille kunden. Dernest er det viktig å gjøre dette på en måte som påfører selskapet minst mulig utgifter. Å redusere resursbruke kan i transportsammenheng være å redusere energiforbruket.

Trafikkplanlegging i jernbanetransport vil inneholde ruteplanlegging, materiellplanlegging, vedlikeholdsplanlegging og personellplanlegging. Dette er en kompleks planlegging der mange begrensninger må tas hensyn til. Begrensninger kan være tungt belastet infrastruktur, ytelse på materiell, fysiske begrensninger for personell, helse og sikkerhets bestemmelser og fagforenings regler (Watson og Humphreys).

Trafikkplanleggingen bør derfor være en interaktiv prosess der flere deler av virksomheten må samarbeide. Likevel vil prosessen i denne planleggingen i praksis ofte være lineær (Watson og Humphreys). Det går an å trekke ut et hierarki der ruteplanlegging vil være overordnet, mens materiell og vedlikehold vil være avhengig av de fastsatte rutene. Personellplanlegging vil igjen være avhengig av materiellplanlegging.



Figur 3 Planleggingsrekkefølge i NSB (SINTEF, 2002)

3.1 Aktører

Tidligere lå hele jernbanevirksomheten i Norge under Norges StatsBaner (NSB). Etter et stortingsvedtak i 1996 ble NSB delt mellom en trafikkdel, NSB BA, en infrastrukturel, Jernbaneverket og en tilsynsdel, Jernbanetilsynet (SINTEF, 2000). Som følge av dette ble også trafikkplanleggingen delt mellom to aktører. I senere tid har det kommet flere selskaper som trafikkerer det norske jernbanenettet, slik at det nå er flere trafikkaktører.

Jernbaneverket

Jernbaneverket er eier av det norske jernbanenettet. De har ansvar for både fordeling av sportilgang mellom ulike selskaper og operativ styring av all togtrafikk. (Jernbaneverket, 2005) All ruteplanlegging i NSB må foregå i et samarbeid med Jernbaneverkets egne ruteplanleggere. Siden Jernbaneverket skal være et nøytralt i forhold til alle aktører i det norske jernbanemarkedet, er NSB nødt til å konkurrere om de beste sportidene.

NSB AS

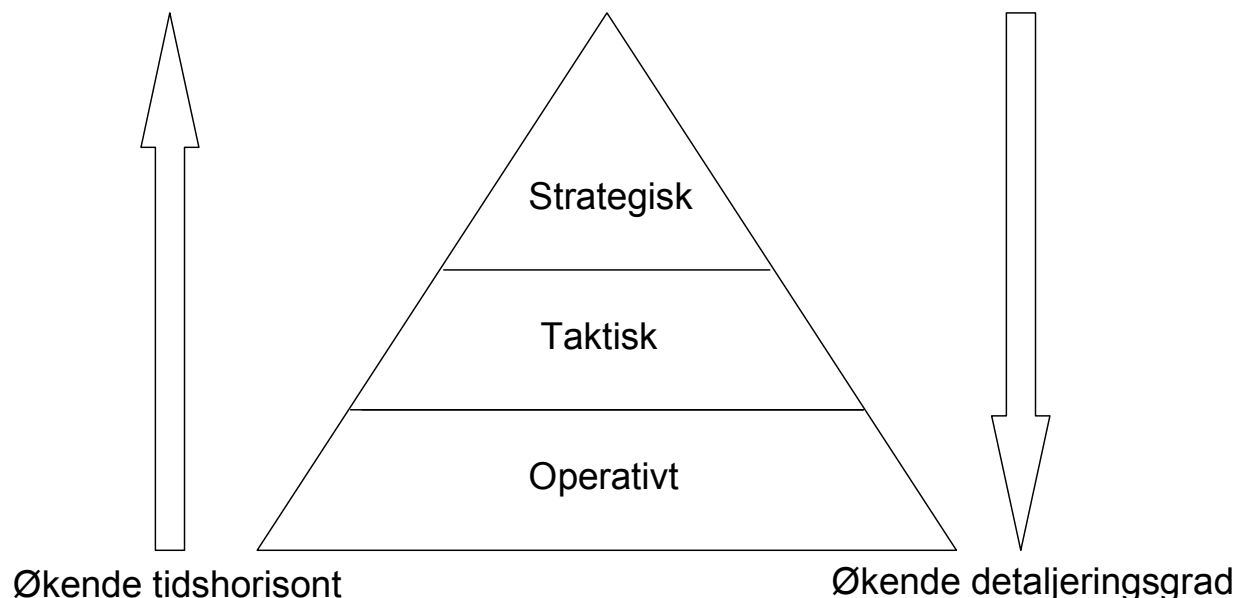
Etter delingen av ”gamle” NSB ble trafikkdelen et særlovsselskap, NSB BA. 1. juni 2002 ble det imidlertid gjort om til et AS, og drives nå som et selvstendig selskap. NSB konsernet består av en rekke hel- og deleide datterselskaper, og driver både med jernbane og buss. (NSB a, 2006). NSB AS driver persontrafikk på det meste av det norske jernbanenettet.

Jernbanetilsynet

Jernbanetilsynet er en selvstendig etat underlagt samferdselsdepartementet. De har som oppgave å føre tilsyn med de ulike jernbane- og sporveisaktørene, uavhengig om de er offentlig eller privat eid (Statens Jernbanetilsyn, 2006). Jernbanetilsynet vil ikke ha direkte påvirkning på trafikkplanlegging, men nye selskaper som vil inn på det norske jernbanenettet må søke jernbanetilsynet om tillatelse. Jernbanetilsynet har også ansvar for å godkjenne nytt materiell (Jernbaneverket, 2005).

3.2 Planleggingsnivå

I et selskap vil det gjøres bestemmelser med ulikt tidsperspektiv. Noen bestemmelser gjelder dagligdagse hendelser, andre bestemmelser legger føringer for selskapet på lang sikt. Det må legges planer med både kort, mellomlangt og langt tidsperspektiv. Rolstadås, Andersen og Schjølberg (1999) deler planlegging inn i tre nivå, strategisk, taktisk og operativt. Strategiske planer vil være grove og trekke retningslinjer, mens operative planer vil være mer detaljerte. Logistikkbegrepet, som tidligere er beskrevet, er i dag gjerne brukt om både de strategiske, taktiske og operative oppavene forbundet med "varestrøm" (Andersen, Strandhagen, Haavardtun, 1998).



Figur 4 Planleggingshierarki (Rolstadås, Andersen og Schjølberg, 1999)

SINTEF (2002) har på oppdrag fra NSB beskrevet planleggingsprosessene i NSB. De benytter seg av fire generelle planleggingsnivå:

- Strategisk planlegging
- Taktisk planlegging
- Detaljplanlegging
- Operativ planlegging

Videre i oppgaven vil det kun brukes de tre generelle planleggingsnivåene som Rolstadås, Andersen og Schjølberg benytter. Detaljplanleggingen beskrevet av SINTEF (2002) vil da ligge under taktisk planlegging. Disse planleggingsnivåene er ikke nødvendigvis hva NSB benytter i sin terminologi. De blir likevel benyttet i oppgaven, siden de er så generelle at de ”overlever” endringer i organisasjonen. Jernbaneverket benytter også termene ”taktisk” og ”operativ” om ruteplanlegging (Jernbaneverket, 2005).

Strategisk planlegging setter kursen på lang sikt. Den kjennetegnes ved at den er ”top-down”, og utarbeides av toppledelsen og folk i sentrale staver (SINTEF, 2002). En strategisk plan vil være overordnet og påvirke de valgene som blir tatt i taktisk og operativ planlegging. SINTEF (2002) definerer alt, som planlegges et år før det skal gjelde, som strategisk planlegging. Detaljnivået på de strategiske planene er ikke så nøyaktig som for de andre planleggingsnivåene.

Typiske bestemmelser ved det strategiske planleggingsnivået er (SINTEF, 2002):

- Disponering av togmateriell
- Investering av togmateriell
- Fordeling av årsverk på organisatoriske enheter
- Behov for lokførere og konduktører
- Prinsipp for rutemodell
- Frekvens på ulike strekninger

Taktisk planlegging er planlegging på mellomlang sikt. SINTEF (2002) definerer arbeidet som skjer fra ett år før planen blir satt i drift, frem til hovedbestillingen til Jernbaneverket, som den taktiske planleggingen. Her blir det gjennomført mindre endringer for å komme til ønsket nivå i forhold til kapasitetsutnyttelse og service. Det endelige ruteoppsettet for neste periode vil bli bestemt i denne planleggingsfasen.

Under taktisk planlegging kommer også prosessen med å lage detaljerte planer for materiell, personell og vedlikehold, etter at hovedbestillingen er behandlet av Jernbaneverket og ruteplanene er gitt (SINTEF, 2002). Det vil allokeres materiell og personell for hele neste ruteplan i disse detaljplanene.

Operativ planlegging er planleggingen som skjer i ruteterminen. SINTEF (2002) definerer dette til å være all planlegging som blir gjort etter at gjeldene ruteplan blir satt i drift. Det vil forekomme til dels større endringer i forhold til de oppsatte planene, og derfor er det nødvendig å ta avgjørelser og videre planlegging på kort sikt.

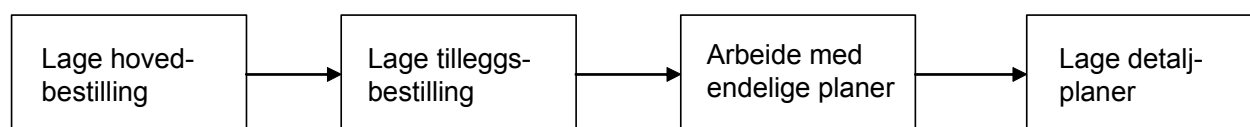
3.3 Rutetabellplanlegging

Jernbaneverket fordeler kapasitet i jernbanenettet med faste terminer. Disse terminene er i dag på 12 måneder, med delterminer på 6 måneder. (Jernbaneverket, 2005) Det vil da bli gjennomført større endringer en gang i året, mens det blir justeringer ved ny deltermin et halvt år ut i terminen. De årlige endringene er mindre endringer som i hovedsak er basert på eksisterende grunnrute.

Grunnrute er ”en modell med systemruter utviklet for å kunne gjennomføre trafikkavviklingen på strekninger med meget høy kapasitetsutnyttelse” (Jernbaneverket, 2005). Det vil si at grunnrute er ett sett med ruter rundt flaskehalsen som danner grunnlaget for all annen ruteplanlegging. Jernbanenettet i Norge er formet som stråler ut ifra Oslo. Grunnrutene for Osloområdet vil derfor ha innvirkning på hele jernbanenettet. Det finnes også grunnrutemodeller for Jærbanen og Vossebanen (Jernbaneverket, 2005).

Endringer av grunnrutene gjøres ved behov, for eksempel ved større endringer i infrastruktur og materiell. (SINTEF, 2002) Større endringer, som en helt ny banestrekning, vil endre forutsetningene så mye at det er helt nødvendig å starte på nytt. Togene vil blant annet få så kort kjøretid at det er uheldig å fortsette med den gamle grunnruten.

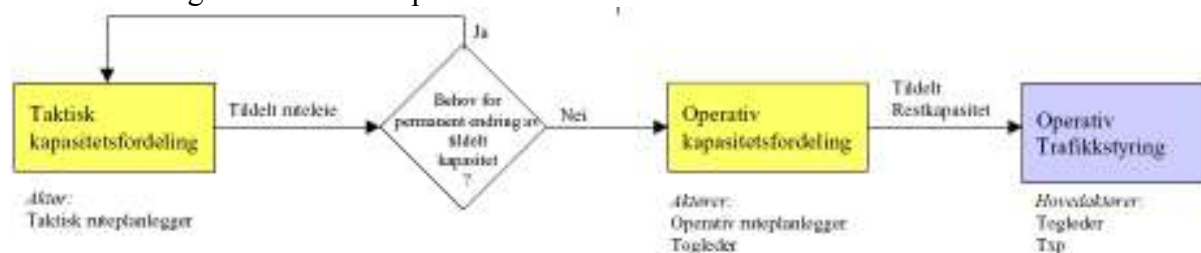
Ruteplanleggingsprosessen i NSB følger jernbaneverkets terminer for tildeling av kapasitet på jernbanen. I likehet med andre transportører på det norske jernbanenettet, må NSB søke om kapasitet for sine ruter. Den årlige prosessen med ruteplanlegging, som er en del av den taktiske planleggingen, kan grovt sett deles inn i fire faser som vist i Figur 5.



Figur 5 Planleggingsfaser ved årlig ruteendring (SINTEF, 2000)

Det lages først en hovedbestilling. Produktenhetene, som har kontakt med markedet, kommer med innspill til ny ruteplan basert på ønsker fra kunder og offentlig kjøp av jernbanetjenester. Det må så gjøres en utsjekk på kapasitet for materiell og personell, før rutene bestemmes og hovedbestillingen sendes til Jernbaneverket (SINTEF, 2000). Jernbaneverket kommer med tilbakemelding på hva som kan gjennomføres og hva som ikke kan gjennomføres. Dette danner grunnlaget for utarbeidelsen av tilleggsbestillingen som sendes tilbake til jernbaneverket. (SINTEF, 2000)

Kapasitetsfordeling fra Jernbaneverket skjer i to hovedprosesser, taktisk og operativ kapasitetsfordeling (Jernbaneverket, 2005). Alle faste ruter må tildeles i den taktiske fasen, mens ekstratog kan bestilles i operativ fase.



Figur 6 Kapasitetsfordeling i Jernbaneverket (Jernbaneverket, 2005)

3.3.1 Oppbygging av rutetabell

Rutetabeller retter seg både mot markedet og mot interne operasjoner. De er til både for at operatøren kan planlegge sin ”produksjon” og at kunden vet når togene går. Rutetabellene kommer i flere varianter over de samme rutene. Det finnes ordinære rutetabeller for de reisende, rutetabeller for lokførere og grafiske rutetabeller.

Det finnes i hovedsak tre forskjellige typer rutetabell. Disse er beregnet på forskjellige deler av driften. Disse er:

- Grafisk rutetabell
- Rutetabell for reisende
- Rutetabell for togpersonell

Grafisk rutetabell er grunnlaget for all tidstabellarbeidet og anvendes både i prosessen med å lage nye rutetabeller og i den operative driften. (Frøidh et al., 2000). Dette er en grafisk visning av togtrafikken i ett vei-tid diagram. Langs Y-aksen, som viser strekning, er stasjoner og holdeplasser og sidespor merket. Stasjoner er merket med en strek. På enkeltsporede baner vil togene måtte møtes på stasjonene. Tidsaksen, eller x-aksen, er delt i timer.

Alle faste ruter i planperioden vil være skrevet ned i den grafiske rutetabellen. I de grafiske rutetabellene skilles det mellom persontog (tykk strek), godstog (tynn strek), løsløk/tomtog (tynn strek) og behovstog (stiplet strek). Det skilles også mellom de togene som går daglig, de som går mandag til fredag, og de som går bare noen spesielle dager. Ekstratog, som går uregelmessig, settes ikke opp (Jernbaneverket a, 2006).

Hensikten med rutetabellen for reisende er å vise rutetidene på en enklest mulig måte, slik at kunden vet når togene kommer og hvor lang tid de bruker. I rutetabellen er det angitt avgangstider for de forskjellige stasjonene ruten opererer samt ankomsttid på de største stasjonene. Det vil også være en del praktiske merknader om rutene. I noen rutetabeller er det også angitt hvilke servicefunksjoner en kan forvente å finne om bord på togene.

11.06.06-06.01.07	Første avg.					Deretter min. over hel time		Til	Siste avg.				Ekstra rushtidstog		
Drammen	0448		0547		0647							0022			
Brakerøya	0450		0549		0649							0024			
Lier	0454		0553		0653							0028			
Asker	0503	0536	0606	0636	0706	36	06	2136	2236	2336	0036				
Høy	0505	0538	0608	0638	0708	38	08	2138	2238	2338	0038				
Vakås	0506	0539	0609	0639	0709	39	09	2139	2239	2339	0039				
Hvalstad	0508	0541	0611	0641	0711	41	11	2141	2241	2341	0041				
Billingstad	0511	0544	0614	0644	0714	44	14	2144	2244	2344	0044				
Slependen	0513	0546	0616	0646	0716	46	16	2146	2246	2346	0046				
Sandvika	0516	0548	0618	0648	0718	48	18	2148	2248	2348	0048				
Blommenholm	0518	0550	0620	0650	0720	50	20	2150	2250	2350	0050				
Høvik	0521	0553	0623	0653	0723	53	23	2153	2253	2353	0053				
Stabekk	0523	0555	0625	0655	0725	55	25	2155	2255	2355	0055				
Lysaker	0526	0557	0627	0657	0727	57	27	2157	2257	2357	0057				
Skøyen	0531	0601	0631	0701	0731	01	31	2201	2301	0001	0101	1517	1549	1617	
Nationaltheateret	0535	0605	0635	0705	0735	05	35	2205	2305	0005	0105	1521	1553	1621	
Oslo S	0538	0608	0638	0708	0738	08	38	2208	2308	0008	0108	1524	1556	1624	
Oslo S	0540	0610	0640	0710	0740	10	40	2210	2310	0010	0110	1525	1558	1625	
Bryn	0544	0614	0644	0714	0744	14	44	2214	2314	0014	0114	1529	1602	1629	
Alna	0547	0617	0647	0717	0747	17	47	2217	2317	0017	0117				
Nylund	0550	0619	0649	0719	0749	19	49	2219	2319	0019	0119				
Groud	0552	0621	0651	0721	0751	21	51	2221	2321	0021	0121	1534	1607	1634	
Haugenstua	0554	0623	0653	0723	0753	23	53	2223	2323	0023	0123	1536	1609	1636	
Høybråten	0556	0625	0655	0725	0755	25	55	2225	2325	0025	0125	1538	1611	1638	
Lørenskog	0558	0627	0657	0727	0757	27	57	2227	2327	0027	0127	1540	1613	1640	
Hansaborg	0600	0629	0659	0729	0759	29	59	2229	2329	0029	0129	1542	1615	1642	
Fjellhamar	0602	0630	0700	0730	0800	30	00	2230	2330	0030	0130	1543	1616	1643	
Strømmen	0604	0632	0702	0732	0802	32	02	2232	2332	0032	0132	1545	1618	1645	
Sagdalen	0606	0634	0704	0734	0804	34	04	2234	2334	0034	0134	1547	1620	1647	
Lillestrøm	0609	0637	0707	0737	0807	37	07	2237	2337	0037	0137	1549	1623	1649	

Det stopper flere tog ved Drammen, Brakerøya, Lier, Asker, Sandvika, Lysaker og Lillestrøm enn hva som er vist her - se eget rutehefte «NSB Lokaltog Kongsberg-Asker-Lillestrøm-Eidsvoll» for alle tog til og fra Oslo for disse stasjonene.

Merknader:

Vær oppmerksom på at det kan bli endring i togtrafikken ved høytider Drammen-Asker-Oslo S-Lillestrøm, se side 20.

Sommerinnstillinger:

I perioden 24.6.-20.8. innstilles følgende togavganger:

Fra Asker kl. 1906, 2006 og 2106, til Lillestrøm, samt ekstra rushtidstog fra Skøyen kl. 1517, 1549 og 1617 til Lillestrøm.

Ekstratog:

I perioden 24.6.-20.8. kjøres følgende ekstratog:

Fra Drammen kl. 1922, 2022, 2122, 2222 og 2322 til Asker med stopp i Brakerøya og Lier.

Togene fortsetter som lokaltog fra Asker til Lillestrøm.

Figur 8 Eksempel på rutetabell for reisende mellom Drammen og Lillestrøm (NSB b, 2006)

Personellet som arbeider på toget har egne rutetabeller (Figur 9). Disse er lignende de tabellene som de reisende har, med tider for avgang og tider for ankomst på store stasjoner. Tabellene gjelder derimot bare for en rute, og har en del tilleggsopplysninger. Disse tilleggsopplysningene er:

- Avstand fra Oslo (gjelder for ruter i Sør-Norge)
- Hvilke spor som benyttes
- Stoppmerknader (om det er faststopp eller stopp bare ved på- og avstigning)
- Kryssing med andre tog
- Forbikjøring av andre tog
- Hvilken maksimalhastighet ruten er beregnet for

Pt. 1120. Moss - Spikkestad

Alle dager

Hast. 130

1 Avst. Oslo S	2 Stasjoner mv.	3 Spør	4 Til	5 Merkn.	6 Fra	7 Krysser	8 Kjør(er)-s forbi
60.16	Moss K+	3			11.14		
57.00	Sandbukta	2			17		
56.13	Molbekk Bp B....						
53.57	Kambo	2		■	19		
49.90	Grimsrud Bp B...						
48.87	Sonsveien.....			■	22		
45.20	Hølen	2			25		
38.65	Vestby	2		■	29		
34.47	Tveter Bp.....						
31.15	Ås.....	2		■	34		
29.08	Slørstad Bp.B						
27.34	Holstad Bp.B.....						
24.31	Ski..... K+	1	11.40		41		

Figur 9 Rutetabell for togpersonell på strekningen Moss-Ski

3.3.2 Beregning av kjøretider og oppholdstider

Kjøretiden mellom stasjoner beregnes ved hjelp av dataprogram (Frøidh et al., 2000). I Jernbaneverket bruker de dataprogrammet TOGKJØR for å beregne tidene (SINTEF, 2002). Tidsberegningen må gjøres for alle typer materiell. For å beregne kjøretider er den nødvendig med følgende data (Frøidh et al., 2000):

- Linjedata: Helning, stigning, kurver, avstand og hastigheter.
- Data og formler for materiell: Trekkraft, største hastighet, adhesjonssvikt mm

Buffertid: Fordi det ikke alltid er mulig å kjøre optimalt mellom to stasjoner, blir det lagt til ett tillegg i kjøretiden. Dette kalles buffertid. I NSB er denne bufferen på 4% av kjøretiden (SINTEF, 2002).

Kryssingstillegg: På enkeltsporede baner er togene avhengig av å møte hverandre på stasjoner, der det er flere spor. Denne kryssingen vil ta lengre tid enn om togene hadde hvert sitt spor, og det blir derfor lagt til et kryssingstillegg. Størrelsen på tillegget vil variere i forhold til infrastrukturen på stasjonen og linjen.

Erfaringstillegg: Noen steder er det også behov for å legge til ekstra tillegg til kjøretiden enn vanlig buffer og kryssingstillegg. Dette blir kalt erfaringstillegg (Frøidh et al., 2000). Slike erfaringstillegg blir lagt til på kritiske steder i infrastrukturen der det trengs ekstra elastisitet. Et eksempel på det, er Oslotunnelen, der kapasitetsutnyttelsen er på grensen av den definerte kapasiteten (Jernbaneverket, 1998). For å unngå forsinkelser, er kjøretiden veldig god.

Stasjonsopphold: Oppholdstider ved stasjoner tilpasses etter behov. Det må tas hensyn til flere faktorer som trafikkmengde, tog lengde, bemanning, automatisk dørstengning og eventuelt overgang mellom transportmiddel (Frøidh et al., 2000).

3.3.3 Linje- og rutetabellstrategier

Utad skiller NSB nå bare mellom to typer togreiser, lokaltog og regiontog (NSB c, 2006). Det vil likevel være større differensiering mellom de forskjellige rutene. Noen lokaltog stopper ved alle stasjoner, mens andre kjører forbi de minste. Denne differensieringen har til hensikt å dekke forskjellige kundegrupper som har forskjellig behov.

Stoppmønster: For å tilfredsstille forskjellige kundegrupper er lagt opp til forskjellige stoppmønster for tog til forskjellige destinasjoner. Reisende vil stoppe minst mulig på sin reise, men for å nå en større kundegruppe er det nødvendig med flere stopp.

Stive rutetider: Markedsmessig vil det være en fordel om avgangstidene fra en stasjon går på like tidspunkt i klokketimen. Faste tider i klokketimen vil for eksempel være avganger 08.35-09.35-10.35 osv hele døgnet. Dette vil være lett for kunden å huske. Ruter med avgang på faste tider i klokketimen, kalles stive ruter. I rutetabellen i Figur 8 er det benyttet stive ruter med halvtimes avganger.

Produksjonsmessig kan denne løsningen gi både noen fordeler og ulemper. Planleggingsmessig kan stive ruter være lettvindt, siden alle timer blir "like". Kapasitetsmessig kan det by på problemer der det er høy utnyttelse av infrastruktur. Et eksempel kan hentes fra Oslotunnelen. Der kjører togene med minimalt 2 min intervall (Se Figur 7) og med maksimalt 24 tog i timen (Jernbaneverket, 2005). En 15 minutters stiv rute vil kreve avganger på både "partall" og "oddetall". Av og til må det derfor være 3 min mellom avgangene. Er det mange forskjellige ruter med slike stive tider kan det være problematisk å utnytte kapasiteten i tunnelen optimalt.

3.4 Materiellplanlegging

Materiellplanlegging foregår som annen planlegging på flere nivå, som nevnt i 3.2. Innkjøp og til dels bruk av materiell vil være en strategisk bestemmelse, mens produksjon av materiellturneringsplaner og vedlikeholdsplaner vil foregå på både taktisk og operativt nivå.

Innkjøp av materiell er en strategisk bestemmelse med langt tidsperspektiv. Togmateriell har veldig lang levetid. For eksempel er de eldste vognene (B-3 generasjonen) i bruk hos NSB fra 60-tallet, mens de eldste motorvognsettene (type 69) er fra 70-tallet (Hellerud et al., 2001). De fleste av togets egenskaper, som vekt, akselerasjon, topphastighet, luftmotstand, bremses, er vanskelig å endre når materielle først er kjøpt inn. Valg av tog vil derfor ha betydning for trafikkplanlegging over en lang periode.

Som en del av den totale jernbaneplanleggingen er det nødvendig å planlegge hvilke tog som skal trafikkere bestemte ruter. Det lages derfor materiellturneringsplaner der det lokaliseres tog til alle de planlagte avgangene. Materiellplanleggingen vil slik sett være underordnet ruteplanleggingen (se Figur 3). Selv om ruteplanleggerne må ta hensyn til tilgjengelig materiell, vil prosessen med detaljerte planer for bruken av materiell starte etter at hovedbestilling og tilleggsbestilling til Jernbaneverket er utført. Alle rutene i den grafiske rutetabellen får tildelt materiell, ved at det settes opp materielldiagram (Watson og Humphreys, udatert). Disse diagrammene viser togenes posisjon i forhold til strekning og tid, lignende grafisk rutetabell, men viser kun bevegelsen til et togsett av gangen. Hvilke tog som trafikkerer hvilke ruter finnes også i skjematisk oppsett som i Figur 10.

Prosjektoppgave høst 2006 – Energiforbruk – avhengighet av ruter og materiell

I denne planleggingen er det enkelte regler som må følges (Watson og Humphreys, udatert):

- Toget må ha samme startsted som stoppsted, ellers må det tilføres en tomkjøring.
- Det må være et bestemt antall minutter mellom stopp på en rute og start på en ny.

Tur	mandag	tirsdag	onsdag	torsdag	fredag	lørdag	søndag	Til Tur
1	Y1-0001 2570 - 2573 - 2574 - 2577 - 2580 - 2583 - 2584 - 2587 <SKN>	Y1-0002 2571 - 2572 - 2575 - 2576 - 2579 - 2581 - 2582 - 2585 - 2586 - 2589 <SKN>	Y1-0003 (SKN) <SKN>	Y1-0001 2570 - 2573 - 2574 - 2577 - 2580 - 2583 - 2584 - 2587 <SKN>	Y1-0002 2571 - 2572 - 2575 - 2576 - 2579 - 2581 - 2582 - 2585 - 2586 - 2589 <SKN>	Y1-0601 (SKN) <SKN>	Y1-0701 (SKN) <SKN>	2
2	Y1-0002 2571 - 2572 - 2575 - 2576 - 2579 - 2581 - 2582 - 2585 - 2586 - 2589 <SKN>	Y1-0003 (SKN) <SKN>	Y1-0001 2570 - 2573 - 2574 - 2577 - 2580 - 2583 - 2584 - 2587 <SKN>	Y1-0002 2571 - 2572 - 2575 - 2576 - 2579 - 2581 - 2582 - 2585 - 2586 - 2589 <SKN>	Y1-0003 (SKN) <SKN>	Y1-0603 (SKN) <SKN>	Y1-0703 (SKN) <SKN>	3
3	Y1-0003 (SKN) <SKN>	Y1-0001 2570 - 2573 - 2574 - 2577 - 2580 - 2583 - 2584 - 2587 <SKN>	Y1-0002 2571 - 2572 - 2575 - 2576 - 2579 - 2581 - 2582 - 2585 - 2586 - 2589 <SKN>	Y1-0003 (SKN) <SKN>	Y1-0001 2570 - 2573 - 2574 - 2577 - 2580 - 2583 - 2584 - 2587 <SKN>	Y1-0602 (SKN) <SKN>	Y1-0702 (SKN) <SKN>	1

Figur 10 Skjematisk oppsett for Y1 på Bratsbergbanen

4 Energisparing i jernbanelogistikk

Mange av de logistikkbeslutningene som hele tiden tas ved de forskjellige planleggingsnivåene vil ha stor betydning for energiforbruket. Innkjøp av materiell og stoppmønster på en rute er eksempler på dette. Ikke alltid vil beslutningstagerne være klar over hvilke energikostnader som besluttes. Det vil derfor være interessant å belyse hvilke energikostnader som påløper ved ulike beslutningsnivå.

Ved det strategiske planleggingsnivået vil det legges føringer med hensyn på materiell og rutestrategier. Materiellets egenskaper som vekt og luftmotstand, blir bestemt ved innkjøp, og kan i liten grad endres på eksisterende materiell. Disse egenskapene vil ha påvirkning på kjøremotstanden og dermed energiforbruket. Føringer for rutestrategier vil også ha påvirkning på hvor mye energi som forbrukes. Her kan områder som stoppmønster og reisetid være avgjørende for energiforbruket. Dette kan i mindre grad endres på lavere planleggingsnivå.

På taktisk nivå utarbeides de endelige planene for ruter, materiell og personell. Denne planleggingen er underlagt føringene fra den strategiske planleggingen, men det er stort rom for optimalisering med hensyn på energiforbruk. I ruteplanleggingen vil rekkefølge på tog, avstand mellom tog, kjøretid og tidsbuffer være områder som kan endres for å spare energi. I noen grad kan det også bestemmes om stasjoner skal kjøres forbi ved alle eller ved enkelte avganger. I den taktiske planleggingen fordeles også materiell på forskjellige ruter. Det bestemmes hvilke type materiell som benyttes på hvilke ruter, og om man kjører med doble motorvognsett. Med stor variasjon i egenskapene på forskjellig type materiell (se vedlegg D), kan en tenke seg at også disse bestemmelsene vil påvirke totalt forbruk av energi.

Når en kommer ned på operativt nivå er mange av forutsetningene for jernbanetransport alt lagt. Når materiell er innkjøpt og satt opp på en spesiell rute, er allerede mang faktorene som bestemmer energiforbruket bestemt. Det er derfor lett å tenke at energiforbruket i liten grad kan variere innenfor disse rammene. Tester viser noe annet. I 2002 begynte Deutsche Bahn med prosjektet EnergieSparen. Deres forsøk viste at noen lokførere lå 20% over gjennomsnittet for totalt energiforbruk, mens andre lå 20% under gjennomsnittet. Målet deres var å spare 10% på riktig kjøreteknikk, noe som ut i fra de store forskjellene virker realistisk. (Nielsen, Essen og Boer, 2005) Dette viser at selv med detaljerte planer for togfremføring vil det være rom for individuelle beslutninger av togpersonellet, som er av betydning for energiforbruket.

Når en skal vurdere hva som kan gjøres på forskjellige planleggingsnivå for å spare energi, er det nødvendig å starte med å se på hvordan energi kan spares på operativt nivå. Dette vil danne et grunnlag for hvordan en kan legge opp planleggingen på Strategisk og operativt nivå. Når en organisasjon som NSB skal spare energi, vil det være viktig at det er samsvar mellom tiltakene som gjøres på de ulike planleggingsnivåene.

4.1 Energieffektive kjøreteknikker

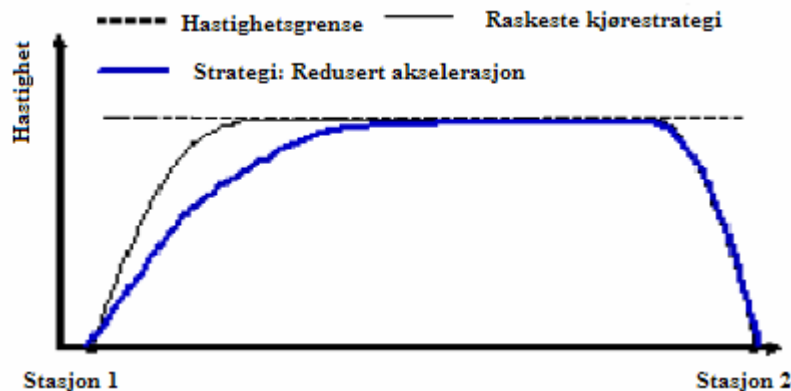
Grunnlaget for energisparing ved energieffektive kjøreteknikker ligger i at det på en gitt strekning alltid er beregnet lengre kjøretid en nødvendig. Muligheten for besparelser ligger altså innenfor de bufferne som eksisterer i all ruteplanlegging. Et tog som ligger før rutetiden, bør utnytte den oppsparte tiden på energioptimalisert kjøring. Spørsmålet blir da hvordan man skal utnytte denne ekstra kjøretiden. Hvilken kjørestrategi er mest optimalt for det totale energiforbruket, når det også er et krav om å holde rutetidene? Rutetider vil alltid ha høyere prioritet enn energioptimalisert kjøring.

4.1.1 Hovedstrategier

I utgangspunktet er det tre strategier som kan gi lavere energiforbruk ved å utnytte ekstra tilgjengelig tid:

- Redusert akselerasjonshastighet
- Redusert topphastighet
- Rulling

Ved å bruke lavere trekkraft for å akselerere opp til toppfart, kan energi spares. Motoren drar da med lavere effekt som gir lavere energiforbruk ut i fra ligningen $E = P \cdot t$. Toppfarten vil da nås senere og dette vil øke tidsforbruket.

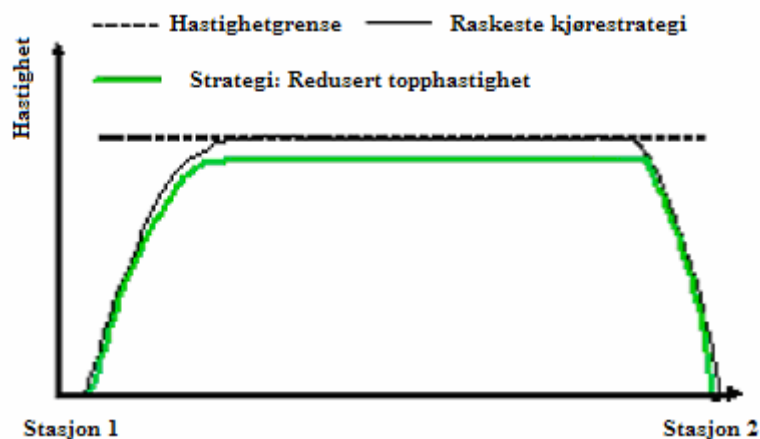


Figur 11 Redusert akselerasjonshastighet (International Union of Railways b, 2003)

Kjøremotstanden til toget er avhengig av farten. Matematisk kan den uttrykkes

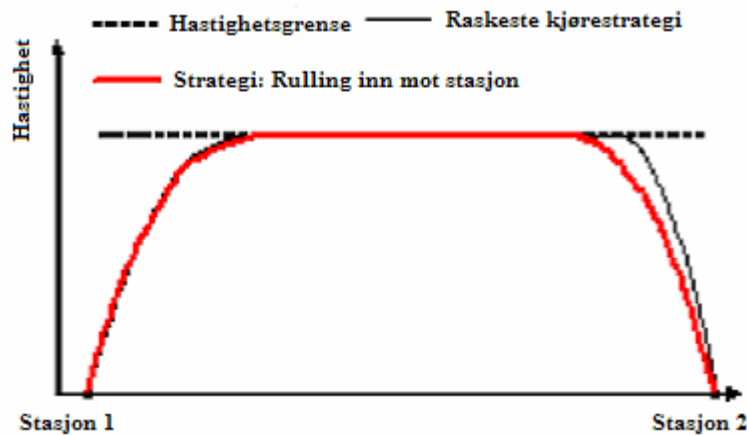
$W = A + B \cdot v + C \cdot v^2$ (Vestby, 2000), der A, B og C er konstanter avhengig av togtype, og v er farten. En redusert topphastighet vil gi lavere kjøremotstand og dermed lavere energiforbruk.

Det er særlig mye å spare ved en reduksjon ved store hastigheter, på grunn av leddet $C \cdot v^2$, der motsanden øker med kvadratet av farten. Redusert topphastighet vil i likhet med lavere akselerasjonshastighet øke tidsforbruket noe.



Figur 12 Redusert topphastighet (International Union of Railways b, 2003)

En siste strategi for å redusere forbruket, er å slå av trekkraften så tidlig som mulig inn mot stasjoner og fartsreduksjoner, og rulle ned i hastighet.. Gevinsten vil ligge i å utnytte den opparbeidede kinetiske energien mest mulig uten nedbremsing. Ved nedbremsing vil energi gå tapt til varme, selv med nettbrems. Rulling vil imidlertid øke tidsforbruket noe i forhold til kjøring med stor fart inn mot stasjonen med en kraftig nedbremsing.



Figur 13 Rulling inn mot stasjon (International Union of Railways b, 2003)

4.1.2 Andre viktige faktorer

Nyere togtyper er utstyrt med nettbremser, der det er mulig å benytte motoren til å redusere hastigheten. Energien vil da bli tilbakeført til kontaktledningen og vil kunne benyttes av andre tog eller et annet sted på elektrisitetssystemet. Dette vil redusere totalforbruket i forhold til å benytte skivebremser som overfører energien kun til varme. Nettbremser er begrenset av virkningsgraden til motoren og har lav bremseeffekt ved høye hastigheter (Vestby, 2000). Det kan derfor ta lengre tid å bremse ned mot stasjoner. Nettbremser vil også ha en del energitap, både i selve motoren og i tilbakeføringen via kontaktledningen.

Lokførere som kjenner terrenget på strekningen godt, har mulighet for å tilpasse farten etter det terrenget som kommer. Dersom for eksempel det kommer en stigning etter en nedoverbakke, kan lokføreren la være å bremse nedover for deretter å rulle opp bakken. Dette kan redusere behovet for bremsing og akselerering, noe som vil redusere energiforbruket.

4.2 Optimalt kjøremønster i praksis:

Den raskeste måten å komme fra A til B på en banestrekning vil være full akselerasjon til maksimal topphastighet og deretter full bremsing inn mot stasjonen. Dette vil gi minimal kjøretid, men på grunn av at det er ønskelig å beskytte seg mot forsinkelser, vil alle rutetider inneholde en tidsbuffer, som beskrevet i 3.3.1. Dette gjør at et tog i rute kan velge andre kjøreteknikker enn raskest mulig. I 4.1 er det beskrevet strategier for energisparing. Spørsmålet blir da hvordan det er lurt å utnytte den ekstra tiden, når en også tar hensyn til ruter, materiell og terreng.

Coleman (2003) beskriver fem teknikker som benyttes i Freightmeiser systemet, et system for energisparing på tog:

1. Ankomme neste stasjon på tida
2. Kalkulere nødvendig gjennomsnittshastighet
3. Holde konstant hastighet
4. Unngå å bremse ved høy hastighet
5. Forutse helninger

Det første punktet indikerer at det er viktig å utnytte den tiden man har til rådighet ute på linja. Kommer et tog for tidlig inn til stasjonen, er det benyttet for mye energi. Punkt to vil være en nødvendighet for å utføre punkt en. Punkt tre til fem, er mer kjøretekniske mål som skal diskuteres videre.

4.2.1 Rulling, lavere topphastighet eller lavere akselerasjon

Den kjørestrategien som gir minst besparelser er lavere akselerasjon. I forhold til Rulling og lavere topphastighet gir dette liten gevinst når en sammenligner effekt og økt tidsforbruk (International Union of Railways b, 2003). Deutsche Bahn (Halbach, 2005) benytter seg ikke av lavere akselerasjonshastighet i sitt energispareprogram. En fordel med redusert akselerasjon er at det er enkelt å gjennomføre for lokførere.

Vestlandsforskning (Vestby, 2000) har produsert en utregningsmodell for togtypen Signatur. Der er det undersøkt hva som teoretisk gir minst energiforbruk. Over en strekning på 12 km har de regnet ut forbruket på tre forskjellige kjørestrategier:

1. Raskest mulig kjøring (12 min)
2. Kjøring med lavere topphastighet (13 min)
3. Kjøring med rullestrategi (13 min)

I forsøket er det altså lagt til ett minutt ekstra tid som er benyttet til energisparende kjøring på to forskjellige måter. Dette tilsvarer en tidsbuffer på ca 8,5 %.

I forsøket ble energiforbruket henholdsvis:

Forsøk	Forbruk [kWh]	Reduksjon
1	180,3	
2	161,0	10,7%
3	151,3	16,1%

Tabell 1 Energiforbruk

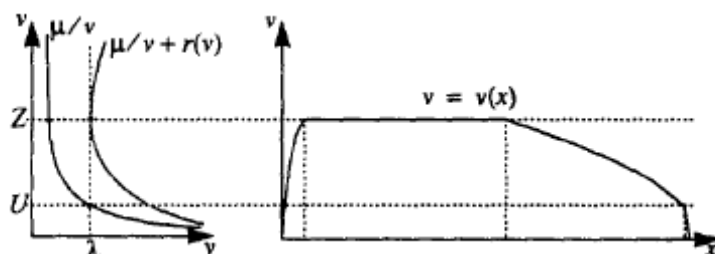
Denne enkle simuleringen viser både at det er mye å spare på en økning i kjøretiden og at en rullestrategi er klart mest besparende. Rullestrategien ligger hele 6% under strategien med lavere topphastighet i forbruk på samme tiden.

En simulering fra National Cheng Kung University i Taiwan (International Union of Railways b, 2003) viser at rullestrategien er best på lengre distanser med få stopp. Er det derimot en lokalstrekning med mange stopp, vil en strategi med lavere maksimalhastighet være mest energioptimalt. En annen simulering utført av Entro (vedlegg E) viser også at lavere maksimalhastighet er billigere når det er kort mellom stasjoner. Ut i fra dette kan en trekke konklusjonen at rulling er mest effektivt der avstanden mellom stasjonen er lang, mens lavere topphastighet er mest effektivt når avstanden er kort.

Kjørestrategi vil derfor avhenge av hvilke ruter det er snakk om. Det finnes også noen andre forhold som spiller inn. En rullestrategi krever for eksempel mye mer lokalkjennskap og utprøving av lokfører, enn strategien med lavere hastighet. Erfaringer fra simulertesting, gjort i tilknytning til denne oppgaven, viser at lokførere raskt klarer å avpasse toppfarten i forhold til en utvidet kjøretid, mens de har problemer med å finne ut hvor de skal slå av trekkraften for en fin rulling inn mot stasjoner.

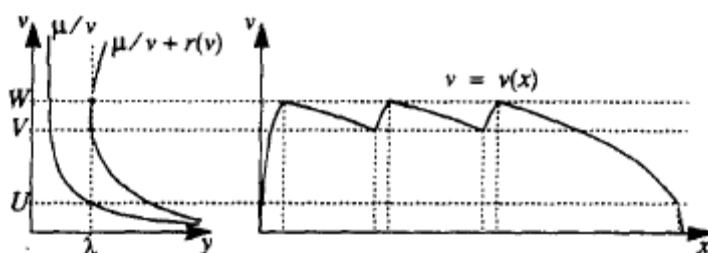
4.2.2 Konstant hastighet eller sagtannstrategi

Normalt vil toget etter en periode med akselerasjon gå over til konstant hastighet. Denne begrensnes gjerne av tillatt hastighet på strekningen eller den hastigheten som er nødvendig for å komme fram i rute. Det normale er da å innstille seg på ett motorpådrag som gir denne hastigheten. Ved automatisk kjøring vil dette gå av seg selv når gitt hastighet er nådd. Ved energisparende kjøring hvor rulling benyttes vil da en enkelt kjøretur betegne seg som i Figur 14



Figur 14 Konstant hastighet og rulling inn mot stopp (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

Imidlertid viser det seg at mange tog er mest effektive ved maksimalt pådrag. (Howlett, Milroy og Pudney, 1994) Den teoretisk mest energibesparende kjøremetoden ved konstant hastighet vil da være å gi fullt pådrag for deretter å rulle. Dette skjer med infinitesimale mellomrom, slik at kjøreturen fra Figur 14 nå vil se ut som i Figur 15. Denne kjøremetoden vil kun være mulig dersom lokføreren benytter manuell innstilling og rutetiden er så god at det kan holdes en middelhastighet under hastighetsbegrensningen.

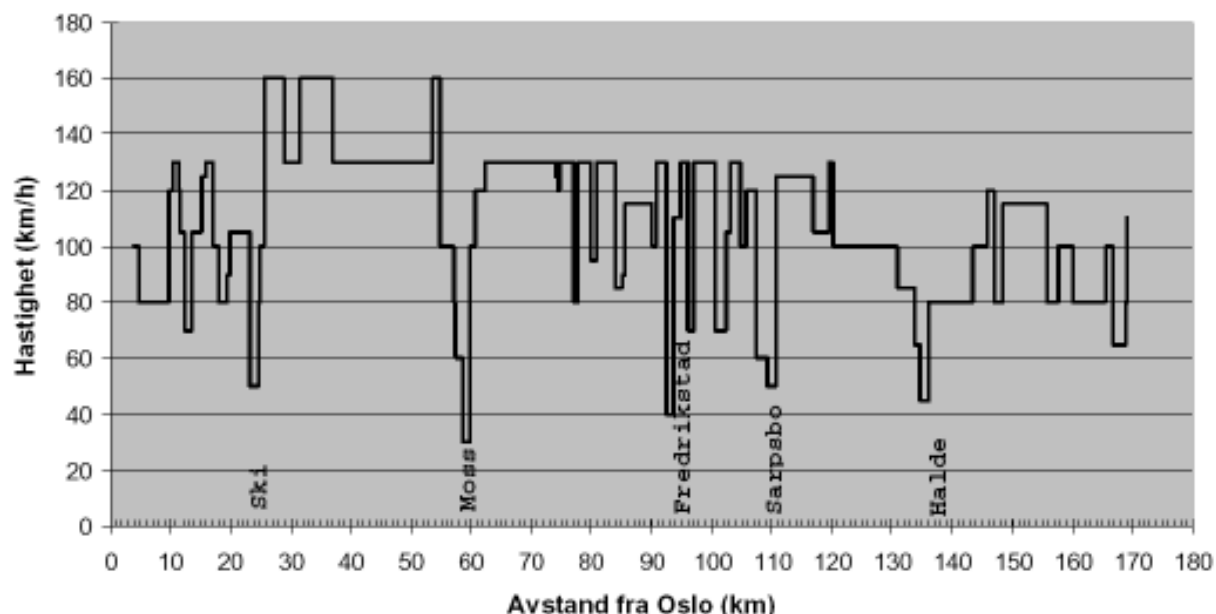


Figur 15 Infinitesimale perioder med fullt pådrag og rulling inn mot stopp (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

Denne strategien kan, som med ren rulling, være vanskelig å få til i praksis. Freightmeiser, systemet for energisparing, benytter seg av konstant hastighet i stedet for denne sagtannstrategien (Yee og Pudney, 2004).

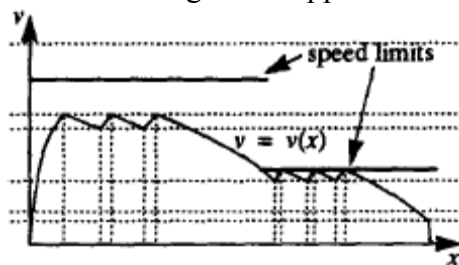
4.2.3 Hastighetsbegrensninger

På det norske jernbanenettet er det få steder der hastighetsbegrensningen er lik over lange streninger. De fleste steder vil hastigheten variere ofte, slik som vist i Figur 16. Dette medfører flere akselerasjoner og retardasjoner.

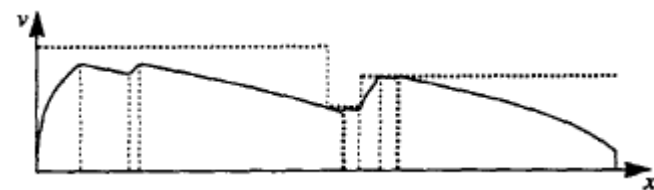


Figur 16 Hastighetsgraf på Østfoldbanen mellom Oslo S og Kornsjø (Jernbaneverket b, 2006)

På samme måte som ved retardasjon ned til 0 km/t på stasjoner, vil det mest energiøkonomiske være å rulle ned til den aktuelle hastigheten. Da vil minst mulig av den kinetiske energien bli oppbrukt ved varmeutviklende bremsing.



Figur 17 Rulling ned til hastighetsbegrensning med infinitesimale perioder med full pådrag (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)



Figur 18 Rulling ned til hastighetsbegrensning og full akselerasjon opp til hastighet (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

Figur 17 og Figur 18 viser to eksempler hvor det rulles ned i hastighet. I Figur 18 akselereres det også opp igjen når hastigheten økes. Akselerasjonen skjer med maksimal trekkraft. Ved hastighetsbegrensningene er farten hold konstant, uten de infinitesimale periodene. Dette kan være nødvendig for å holde ruta.

For lokaltog er det ikke alltid mulig å komme opp i maksimal hastighet før det må bremses ned igjen til neste stasjon. Den optimale kurven blir da en variant av Figur 15 der det akselereres med full akselerasjon, helt til ett punkt der toget begynner å rulle inn mot stasjonen. Det blir da ingen repeterende perioder.

4.2.4 Manuell eller Automatisk kjøring

I nyere tog kan det velges om det skal kjøres manuelt eller automatisk. Ved manuelt styrer lokfører trekkraften med stikka, mens det ved automatisk blir satt en hastighet som toget selv justerer seg til. Det er usikkerhet om hvilken av disse kjøremetodene som er mest energibesparende. Ved kjøring i simulator gir manuell kjøring lavest energiforbruk, mens reelle målinger (Vestby, 2000) har vist at automatisk kjøring gir lavest forbruk. Muligens gir automat best resultater i virkeligheten fordi dette gir jevnest hastighet, og dermed mindre fartsjusteringer. Fordelen med manuell kjøring er at det er mulig å slå trekkraften helt av for å rulle.

4.2.5 Terreng

Terreng er av avgjørende betydning når det skal spares strøm. Kjennskap til helninger av betydning kan gi store utslag. Noen bakker er så bratte at hastigheten vil synke, selv med fullt pådrag oppover, og hastigheten vil øke når det bare rulles nedover.

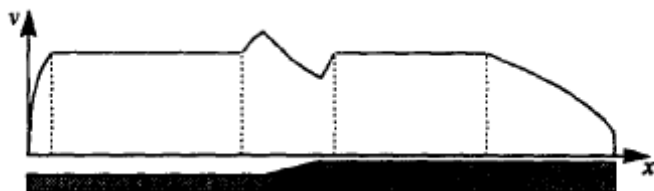
I nedoverbakker som er så bratte at hastigheten vil stige når toget ruller, er det ofte at lokføreren må bremse for å holde seg under fartsgrensen. En energieffektiv måte å utnytte bakken på, er å rulle ned i hastighet før bakken, slik at man når fartsgrensen nederst i bakken og akkurat slipper å bremse.

I Figur 19 blir hastigheten redusert med rulling før nedoverbakken og bakken utnyttet slik at toget har passe fart inn til stasjonen.



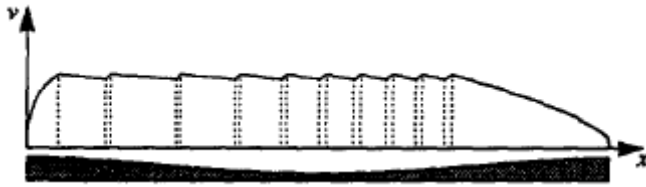
Figur 19 Rulling starter før nedoverbakken (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

I Figur 20 møter toget en bakke som er så bratt at hastigheten synker, selv med fullt pådrag. Toget akselererer da opp til en større hastighet før bakken, slik at gjennomsnittsfarten holdes oppe. Energibesparelsen vil da være at en ikke trenger å kjøre med høyere hastighet ellers på strekningen for å få en ønsket gjennomsnittsfart. Denne strategien er kun mulig dersom hastigheten ikke begrenses av en fartsgrense. Her kan det gjøres små investeringer og endringer ute på strekningene, slik at det blir mulig med en slik kjøreteknikk.



Figur 20 Før en bratt oppoverbakke økes hastigheten for å holde gjennomsnittsfarten (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

Små daler kan utnyttes ved at rulleintervallene blir lengre, slik som vist i Figur 21. I slak oppoverbakke vil rulleintervallene bli kortere.



Figur 21 I en grunn dal vil periodene med rulling blir lengre nedover, og kortere oppover (Howlett, Milroy og Pudney, 1994)

4.3 Potensial for energieffektiv kjøring i Norge

Mange lokførere i Norge er skeptisk til energisparende kjøring. Selv om det vises til resultater fra Tyskland med en besparelse på 7% (Halbach, 2005), mener de at dette ikke vil være like lett å praktisere i Norge. Det norske Jernbanenettet skiller seg kraftig fra det Tyske. Mens det i Tyskland er rette og flate strekninger med dobbeltspor og jevne hastigheter, er det svingete og enkeltsporete spor med mye bakker og hastighetsendringer i Norge. Lokførere mener også det er mest å spare på de lange rutene med få stopp, noe det ikke er så mange av her til lands.

Teoretisk kan det se ut til at disse holdningene er helt feil. Potensialet for energisparende kjøring ligger ved hastighetsendringer og horisontale kurver, noe det jo er mye av i Norge. Dermed skulle det jo egentlig være et større potensial her. Det er imidlertid noe usikkert om det er mest å spare på lokal eller regionaltrafikk. De tyske målingene viser at det er spart mest på regionalstrekningene (Halbach, 2005). I lokaltrafikk er det derimot mye mer hastighetsvariasjoner og stopp, noe som teoretisk gir bedre muligheter for innsparing. Det er også et større antall tog i trafikk. Noe av grunnen til lavere besparelser i lokaltrafikken kan være at rutene her har mindre tidsbuffer. Potensialet for å spare større pengebeløp i Norge ligger nok i lokaltrafikken i Oslo området der det er mye trafikk og mange stopp.

4.4 Energioptimalisering ved taktisk og strategisk planlegging

Ut i fra teori og funn av hva som kan spare energi på operativt nivå, kan en gå videre og se på hvordan dette kan underbygges på høyere planleggingsnivå. En viktig forutsetning for energieffektive kjøreteknikker, er at det er ekstra tid til rådighet. De buffertidene som er gitt i en rutetabell er av avgjørende betydning for mulighetene for energieffektive kjøreteknikker (International Union of Railways c, 2003). Det er også viktig å få jevn kjøring. Det vil si at toget har lite oppbremsing med påfølgende akselerasjon.

For å ta gode beslutninger rundt energisparing, er det viktig med god informasjon om hva som bidrar til energiforbruk i organisasjonen. NSB bør derfor samle inn informasjon om hvordan energiforbruk varierer med ulike rutestategier og materiell. En metodebeskrivelse for dette kommer i kapittel 5.

4.4.1 En alternativ metode for rutetabell

For å belyse hva som kan gjøres i taktisk og strategisk planlegging, er det sett på en alternativ metode for hvordan rutetabell kan endres for å spare energi. Denne modellen vil senere bli testet ut på simulator, for å se om den kan spare energi i forhold til dagens rutetabelloppsett.

I dag er rutetabellene lagt opp slik at toget skal gå fra stasjonen på det tidspunktet som står i rutetabellen. Disse tidene er like for både lokfører og reisende. Toget står på stasjonen til klokka er presis på tidspunktet for avgang. For å unngå forsinkelser begynner man med avgangsrutiner 10-20 sek før avgang, avhengig av materiell. Likevel kan toget komme for sent av sted fordi passasjerer somler med å komme seg på, eller det rett og slett er beregnet for lite tid til stasjonsoppholdet. Et tog som er ute i god tid vil i dag måtte vente ekstra lenge på stasjonen før avgang. Det er ingen mulighet for å dra med seg den oppsparte tiden videre. Toget kan selvsagt ikke gå før den oppsatte ruten. I forhold til energibesparende kjøring vil det være en fordel å benytte mest mulig av tiden på sporet, og minst mulig tid på stasjonen. Opparbeidet tid bør benyttes til rulling eller lavere fart. Med dagens ruteoppsett er dette vanskelig. Lokføreren vil ha få muligheter til å vite hvor god tid han har før neste stasjon, og usikkerheten rundt hvor lang tid neste stopp vil ta, kan gjøre at han velger å være så tidlig som mulig ute.

Et annet problem er det gjerne beregnet for liten tid til stasjonsopphold (Tabell 2). Dette medfører at togene drar med seg en forsinkelse, og toget må bruke av strekningsbufferen for å innhente det tapte. Dette er ikke alltid tilstrekkelig og punktligheten i rushtid blir derfor dårlig.

	Faktisk oppholdstid Gjennomsnitt (sekunder)	Planlagt oppholdstid (sekunder)	Standardavvik
Åsåker	45,1	20	10,7
Røyken	40,5	20	4,6
Hallenskog	31,4	20	3,6
Heggedal	83,9	180	60,4
Gullhella	30,6	20	10,9
Bondivatn	39,3	20	10,8
Asker	83,8	120	49,8
Sandvika	53,2	30	13,8
Lysaker	44,9	30	6,6
Skøyen	56,0	30	19,8
Nationaltheatret	52,2	30	11,6
Oslo S.	91,3	120	25,8
Kolbotn	59,0	30	37,3
Ski	54,0	60	13,4
Ås	45,8	20	4,5
Vestby	39,1	30	4,5
Sonsveien	36,7	20	9,7
Kambo	44,1	30	18,6

Tabell 2 Faktisk og planlagt oppholdstid på et utvalg stasjoner (tabell fra NSB)

Ut i fra dette kan en si at dagens rutetabelloppsett har følgende problemer:

- Kort tid beregnet til stasjonsopphold
- Uklar fordeling mellom tid til stasjonsopphold og strekningsbuffer
- Vanskelig å benytte opparbeidet tid på energisparende kjøreteknikker
- Vanskelig å vite når en bør ankomme neste stasjon

En kan se for seg en løsning der en øker tidsintervallet for stasjonsopphold. Gjelder dette for alle tog, vil tog utenfor rushtid måtte vente lenger på stasjonene. Dette er uheldig i forhold til energiforbruket. I forhold til energisparende kjøreteknikker er det sentrale å få mest mulig tid på sporet. En løsning med ulikt beregnet stasjonsopphold for rushtidstog og andre tog vil ødelegge for ”stive rutetider”.

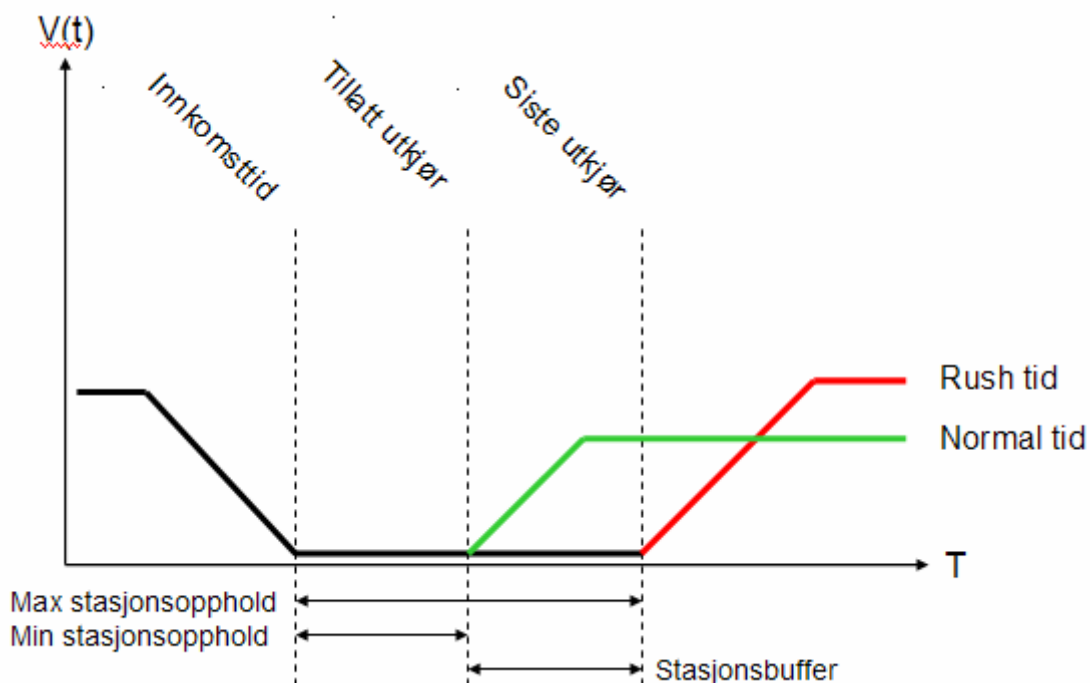
Et forslag fra til et energisparende rutetidsoppsett, kan være å benytte seg av en ”skyggetabell” (International Union of Railways a, 2003). Skyggetabell er prinsippet med å oppgi en tidligere tid til de reisene, enn den tekniske avgangstiden for togpersonell. Rutetabellen for reisende blir da forskjellig fra rutetabellen til togpersonalet og den grafiske rutetabellen.

I en skyggetabell bør det være fokus på korrekt innkomsttid, og ikke avgangstid siden:

- Ett tog som kommer for sent, er forsinket.
- Ett tog som kommer for tidlig, har kastet bort en mulighet for energisparende kjøring

Dette er i tråd med Freightmeiser systemets råd for kjøreteknikker (Coleman, 2003).

I Figur 22 er det vist hvordan et stasjonsopphold kan være med en skyggetabell. Her opereres det med innkomsttid, en tid for tillatt utkjør og en tid for siste utkjør. Kunden får oppgitt tillatt utkjør i sin rutetabell, mens siste utkjør vil være teknisk avgangstid, som ruteplanleggerne benytter i sin tidsplanlegging. Tog utenfor rushtid kan ta av ”før planlagt”, dersom linja er tilgjengelig, og lokføreren er dermed klar over at det nå er god tid til neste stasjon. Denne tiden kan benyttes til lavere hastighet eller rulling mot neste stasjon, og vil dermed spare energi.



Figur 22 Stasjonsopphold med buffer i forhold til utkjør

- *Max stasjonsopphold* beregnes etter stasjonsopphold i rushtid.
- *Min stasjonsopphold* beregnes etter korteste stopp utenfor rushtid.

Fordeler:

- Økt punktlighet (Mulighet for å ta med seg oppspart tid)
- Lavere energiforbruk (Lokfører er klar over at han ligger foran rute)
- Mer transparent i forhold til faktisk tidsbruk og buffere på stasjon og strekning

Eksempel

Tog 1612 har i dag ordinær avgang fra Asker 10:42:00. Toget går utenfor rushtid, men har samme rutetider som rushtidstog. Fra ruteplanleggerens side er det beregnet ca 30 sekunder for på og avstigning. Ved innkomst til Asker viser klokka 10:41:30, som planlagt. Det er lite folk på perrongen, og på- og avstigning med avgangsprosedyre tar 20 sekunder. I dag vil da toget måtte vente til klokken 10:42:00 før det kjører. Med en skyggetabell, der rutetabellen viste 10:41:00 for reisende og 10:42:00 for lokfører, kunne toget reist 10:41:50 fra stasjonen. Lokføreren er da klar over at han ligger 10 sekunder før ruta. Denne tiden kunne vært benyttet til å slå av trekkraften tidligere i Liertunnelen for deretter å rulle inn mot Lier.

10 sekunder kan virke lite, men dersom en opparbeider 10 sekunder for stasjonene Nationalteatret, Skøyen, Lysaker, Sandvika og Asker, vil det være 50 sekunder å benytte til ekstra rulling i liertunnelen eller et annet egnet sted. Forsinkelse i rutetabellen på ett minutt vil antagelig også være så lite at den ikke legges merke til av de reisende. Et problem med denne metoden er at den krever en noe større tidsbuffer med hensyn på togfølgetid. Dette kan være vanskelig å få på strekningene med høy utnyttelse av kapasiteten, men på mange strekninger er det kapasitetsreserve og en slik utnyttelse vil være mulig.

5 Analysering av energiforbruk

I analysering kan det velges kvantitative og kvalitative metoder, som beskrevet i 1.3. NSB ønsker tall på hvordan ulike rutestrategier og materiellbruk påvirker energiforbruket, og da er det nødvendig å benytte seg av kvantitative metoder. Videre i denne oppgaven vil det derfor være fokus på kvantitative analysemetoder. Kvalitative metoder, som samtaler med fagpersonell, er i noe grad brukt som støtte til beslutningene rundt hva som er egnede metoder for ulike analyse-scenarier.

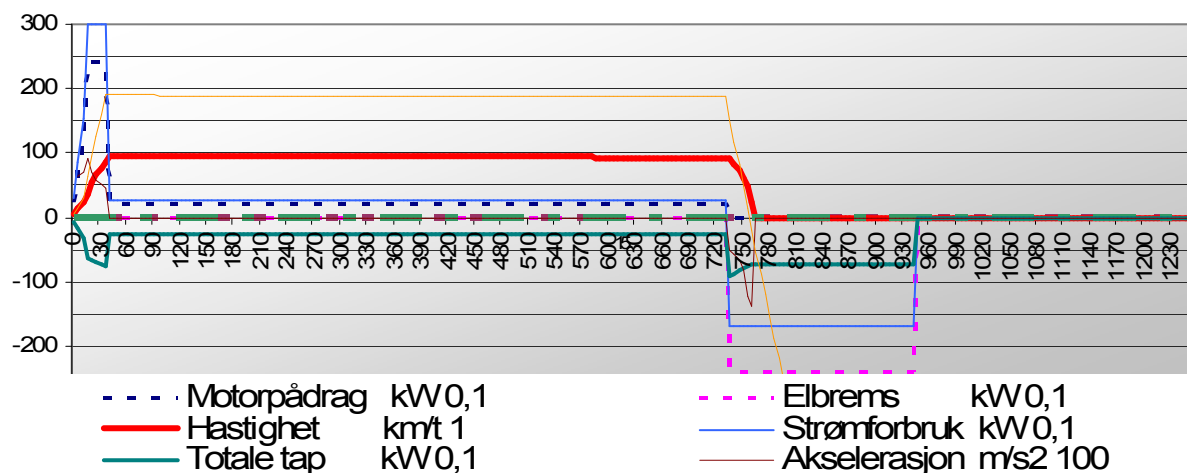
5.1 Analyse metoder

For å analysere sammenhenger mellom energiforbruk og materiell og rutetabeller er det flere metoder som er mulig å benytte seg av. Både teoretiske og praktiske metoder er aktuelle. Av teoretiske metoder er det mulig å konstruere regnearkmodeller for togkjøring, mens det er mulig å gjøre praktiske forsøk ved å måle strømforbruk på reelle kjøreturer eller ved simulatorkjøring. De forskjellige analysemetodene vil generere resultater som er avhengig av hvor godt de passer til analyseoppgaven. Metodene vil ha forskjellige styrker og svakheter som vil beskrives nærmere.

5.1.1 Regnearkmodell

Det er mulig å konstruere teoretiske utregningsmodeller for energiforbruk i jernbanen. Disse modellene benytter fysiske formler til å etterligne virkeligheten. Vestlandsforskning (Vestby, 2000) brukte en slik modell i en rapport om energiforbruk på krengetog på Sørlandsbanen. Der har de sammenlignet reelt forbruk med utregnet forbruk. I denne oppgaven vil ikke slike modeller bli benyttet direkte, men siden den også danner grunnlaget for hvordan en simulator er oppbygd (Moen, 2005), blir prinsippene kort forklart.

Grunnlaget for regnearkmodellene er fysiske lover. For å regne ut forbruket over en strekning, må denne deles opp i små delstrekninger, som er tilnærmet homogen i forhold til stigning og kurve. Det må også skilles mellom perioder med konstant hastighet og perioder med akselerasjon eller retardasjon. Energiforbruket må regnes separat for hver type delstrekning, for deretter å summere over hele strekningen. Etter utregning er det mulig å få en grafisk visning av kjøreturen med kurver for motorpådrag, hastighet, akselerasjon, tap, tilbakemating, og totalt strømforbruk. Et eksempel er vist i Figur 23.



Figur 23 Grafisk bilde fra energiutregningsmodell laget av Entro nova AS

Denne modellen ble brukt av Vestlandsforskning (Vestby, 2000)

Energiforbruk kan regnes ut i fra kjente fysiske lover:

Formel 1 Energiforbruk

$$E = P \cdot t \text{ eller}$$

Formel 2 Energiforbruk

$$E = Z \cdot s$$

der

t: tid

s: strekning

P: effekt

Z: trekkraft.

Hvilken av disse formlene som brukes er avhengig av oppgaven som skal løses. Trekkraften vil begrenses av enten effekten til togets motor eller friksjonen mellom lokomotiv og skinne.

Formel 3 Trekkraft

$$Z = P / v \text{ eller}$$

Formel 4 Trekkraft

$$Z = m_{lok} \cdot g \cdot \mu$$

Ved konstant hastighet vil trekkraften være den samme som den totale motstanden på toget ($Z = W$). Den totale motstanden bestemmes av en motstandsligning:

Formel 5 Motstandsligning

$$W = A + B \cdot v + C \cdot v^2$$

Konstantene A, B og C vil være spesifikke konstanter avhengig av togtype. Disse komponentene er knyttet til rullemotstand, slingring og luftmotstand og bestemmes ved praktiske forsøk. For å få reelle tall er det også nødvendig å ta hensyn til motvind, bakkehelling, kurvemotstand, motstand i tunneler og klimatiske forhold.

Ved hastighetsendringer vil utregningen mer avansert enn ved konstant hastighet. Da må en ta utgangspunkt i Newtons andre lov:

Formel 6 Newtons andre lov

$$F = m \cdot a$$

Her kan F skrives som $Z - W$ og i massen må det tas hensyn til et tillegg for roterende masse i hjul og aksler. Vi får da ligningen:

Formel 7 Akselerasjon

$$a = \frac{Z - W}{m_{tog} + m_{rot}}$$

I denne ligningen vil både a, W og Z kan uttrykkes som en funksjon av farten.

Fordeler/ulemper:

Fordelene med en slik modell vil være at den gir like resultat hver gang, og at den ikke blir påvirket av uønskede og ukjente faktorer slik praktiske analysemetoder kan bli. Ved enkle analyser, for eksempel energiforbruk ved akselerasjon, vil den være rask og nøyaktig å bruke.

Ulempen med en slik modell er ved større komplekse analyser. Problemet kan være at modellen enten ikke er god nok til å etterligne virkeligheten eller at den blir så kompleks at det er vanskelig eller tar lang tid å benytte seg av den. I virkeligheten vil det være veldig mange parameter som påvirker resultatet. Å få med alle disse i modellen kan være en utfordring. Det er dessuten nødvendig å finne motstandskonstanter for hver enkel togtype. Slike analyser vil heller ikke kunne få med seg forskjellene i kjøreteknikk for lokførere, men alltid forutsette ”perfekt” kjøring.

5.1.2 Simulatoranlegg

NSB skolen på Sundland i Drammen disponerer et simuleringssenter for opplæring av lokførere. Hovedmomentet med dette anlegget er å drive sikkerhetstrening, men det har også applikasjoner som gjør at det kan benyttes til energianalyse og opplæring i energisparende kjøreteknikker (Moen, 2005). I dette anlegget kan realistisk togkjøring simuleres ved at lokfører sitter bak en etterligning av en kjørepult (fra Type 72) og ser på et lerret. Alle de viktigste funksjonene fra reelle tog finnes i disse simulatorene.

Anlegget består av (Moen, 2005):

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



Figur 24 Bilde fra førerbordssimulator

På TBT er det mulig å bygge reelle eller andre strekninger. I dag har simulatoren mulighet for å kjøre på strekningene Skøyen – Moss og Skøyen – Spikkestad, men det jobbes med å bygge ut flere strekninger. Egne strekninger for energianalyser kan være aktuelt. For noen analyser vil det være best å ha enkle rette strekninger, slik at det blir få forstyrrelser på forsøkene. Med utbygde strekninger for hele Oslo området, kan muligens simulatoren benyttes til testing av rutetabeller med hensyn på energioptimalisering.

Det er det mulig å bygge opp forskjellige scenario, til en gitt strekning, på SPS. Her kunne det være interessant å bygge forskjellige scenario for energisparing. Scenario for energisparende kjøreteknikker kan benyttes i opplæring av lokførere.

Etter kjøring er det mulig å få ut en kjørelogg. Denne inneholder (Moen, 2005):

Generell data	Beskrivelse
Dato for kjøring	-
Elevens navn	-
Simulator id	Hvilke simulator som brukes
Scenario navn	Hvilke scenario som kjøres
Strekning	-
Kjøreplan navn	-
Togsammensetning	Som regel type 72-enkelttogsett
Total togvekt ved oppstart	Forhåndsstilles
Adhesjon ved oppstart	Forhåndsstilles
Bremseeffekt ved oppstart	Forhåndsstilles
Kjøredata	Beskrivelse
Tidspunkt for start	Reell tid for start av kjøring
Tidspunkt for avslutning	Reell tid for avslutning av kjøring
Totalt forløpt tid	-
Simulert starttidspunkt	Simulert tid, for eks ved en rute
Simulert avslutningstidspunkt	-
Totalt forløpt simulert tid	-
Posisjon start	-
Posisjon avslutning	-
Kilometerpunkt start	-
Kilometerpunkt slutt [km]	-
Distanse [km]	-
Gjennomsnitthastighet [km/h]	-
Antall togstopp	-
Varighet togstopp	-
Energidata	Beskrivelse
Energi forbruk [kW/h]	-
Tilbakeført energi [kW/h]	Fra nettbrems
Sum energi forbruk [kW/h]	-
Førerfeil	Beskrivelse
Antall nødbrems	-
Antall ATC overhastighet	Antall registrerte hastighetsoverskridelser på 5 km/t eller mer.
Antall overhastighet	-
Antall passerte hindringer	-
Rutetabell	Beskrivelse
antall rutetabell punkter	-

CorPra:

CorPra er et analyseprogram som brukes i etterkant av simuleringene. Denne gir en grafisk fremvisning av den foretatte kjøringen. Her er det mulig å gjøre dypere analyser. To forskjellige kjøringer kan legges oppå hverandre, slik at en kan studere forskjeller. De data som kan plottes er:

- Kumulativ bremseenergi
- Kumulativ energi
- Kumulativ trekkraft
- Tog hastighet
- Togets akselerasjon



Figur 25 Skjermbilde fra CorPra

Fordeler/ulemper:

Jan V Moen (2005) lister opp noen hovedpunkter for bruk av simulator:

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

I jernbanedrift vil i tillegg en stor fordel med testing på simulator være at det er mulig å gjøre praktiske forsøk uten å forstyrre trafikken. Simulatoren vil være fin til å sammenligne ulike alternativer som det ikke er mulig å teste ute i trafikken, og til trening av lokførere på bestemte kjøreteknikker. Selv om simuleringene vil foregå i et annet og kanskje roligere miljø enn ute i trafikken, kan man forvente at lokførernes reaksjoner er ganske like som ute i virkelige tog.

Det er alltid stor usikkerhet om hvor godt resultatene fra simulering stemmer med virkeligheten, og det vil være nødvendig å kalibrere den med virkelige data. Dette anlegget har en teoretisk utregningsmodell, lik den som er beskrevet i 5.1.1, i bunnen. På samme måte som den teoretiske utregningsmodellen, vil kvaliteten på analysen avhenge av en god modell og gode inndata. Det er i tillegg en fare for at lokfører blir påvirket av at han vet han blir ”testet”. På grunn av at simuleringene tar lang tid og at de må utføres av lokførere som allerede har mye arbeid, kan det være vanskelig å gjennomføre så mange simuleringer at man får et godt beslutningsgrunnlag.

5.1.3 Energimålinger

På grunn av liberaliseringen av det norske jernbanenettet, med flere aktører, har det blitt nødvendig med et nytt system for avregning av strømforbruk. JBV har derfor, i samarbeid med operatørene, begynt å installere energimålere på alle tog som skal trafikkere i Norge. Denne loggen generer en kjøreløgg over energiforbruket, og i tillegg til å generere strømregning, kan disse data benyttes til å analysere energiforbruk.

Energimålerene som blir benyttet er:
WebRTU®Z1-Rail

Disse målerne kan lagre hvert 1,2,3,4,5,10,15,20,30 eller 60 min og har en lagringskapasitet på 17476 verdier (gir 60 dager med 5 min. intervaller).

De viktigste funksjonene er:

<i>Funksjon</i>	<i>Beskrivelse</i>
Datainnsamling	Data fra LEM EM4T blir samlet og lagret med et gitt tidsintervall.
Dataoverføring	Overfører data til en computer
Tid og tariff synkronisering	WebRTU®Z1-Rail kan automatisk synkronisere mot tariff lister. Den interne klokken kan synkroniseres med tids servere eller andre eksterne klokker.

Basis komponenter:

- ABS boks
- Energimeter for måling
- Strøm tilkobling
- Input signal tilkobling
- Antenne tilkobling (GSM/GPRS og GPS)
- WebRTU®Z1 med
- ABS boks
- Strøm tilførsel
- Hovedkort (simkort holder, backup batteri, GSM/GPRS modem og GPS modul)

Valgfrie komponenter:

- Input mulighet (2 digitale input kanaler)
- Firmware
- ELWeb protokoll
- DLMS

Data ut:

Dataene fra energimålerne kommer som et regneark. Hvert femte minutt er det en ny registrering. Konkrete utdata er:

- Dato og tid
- Uttak av energi
- Tilbakeføring av energi
- Totalt energiforbruk
- Akkumulert forbruk
- Posisjon (lengdegrader og breddegrader)

Fordeler/ulemper:

Når NSB har installert energimålere på alle sine tog, vil dette produsere store mengder data som kan benyttes i energianalyser. Mengden av data vil gjøre at de kan benyttes som et sikkert beslutningsgrunnlag. Siden togene likevel skal være i trafikken, vil det ikke kreves store ekstra ressurser for innsamling av data.

Datagrunnlaget vil i stor grad begrense seg til det vanlige trafikkmønsteret. Skal det utføres eksperimenter utover det faste kjøremønsteret, må det utføres egne testturer. I en presset infrastruktur kan dette være en utfordring. Eksperimentell testing må antagelig foregå på kveldstid eller i helgene, noe som kan gi store personalkostnader. Siden det også blir ekstra energi og materiellkostnader, vil kostnadene til slik testing antagelig være større enn i et simulatoranlegg.

5.1.4 Sammenligning av analyse metoder

Ut i fra kommentarene om fordeler og ulemper kan de ulike analysemetodene sammenlignes. Det er valgt å sammenligne med hensyn på Datamengde, Fleksibilitet, Kompleksitet og Kvalitet på resultat. Disse kan beskrives som:

- Datamengde: Hvor lett det er å generere store mengder med data
- Fleksibilitet: Hvor lett det er å tilpasse metoden for nye analyse områder
- Kompleksitet: Hvor anvendelig metoden er på komplekse analyser
- Kvalitet på resultat: Hvor godt dataene stemmer med virkeligheten

Med hensyn på datamengde vil energimålinger komme best ut, fordi det er mulig med kontinuerlig måling på all trafikk og dermed er datagrunnlaget stort. Datamengden i ett simulatoranlegg vil begrense seg ved at hver test tar lang tid. For regnearkmodellen er det ingen hensikt å gjøre flere like forsøk, fordi dette vil gi samme resultat. Skal derimot mange forsøk med litt forskjell utføres, for eksempel gradvis reduksjon av fart på en strekning, vil utregningsmodellen raskt kunne endres og større mengder data produseres.

I forhold til fleksibilitet vil Simulatoranlegget være overlegen de andre metodene. Her er det mange muligheter for strekning, type kjøring, og type materiell. Dette kan også endres forholdsvis raskt. For en regnearkmodell vil større endringer i verste fall bety at en ny modell må konstrueres. For mindre endringer vil mulighetene her også være ganske store. Energimålinger fra reel trafikk vil ha liten mulighet for eksperimentell testing. Det må da foretas egne tester, og da vil simulatoren være billigere.

Når et simulatoranlegg først er anskaffet, er kompleksiteten på bruk relativt lav. Forskjellige innstillinger av materielldata, strekningsdata og ruteoppsett endres raskt og enkelt. Det kan imidlertid være krevende å bygge opp nye strekninger, selv om dette gjøres ved ”dra og plasser” metoden. Energidata vil genereres automatisk etter kjøring, men må kanskje bearbeides videre for riktig presentasjon. For energimålinger fra reel trafikk vil utfordringen være å samle og bearbeide rådata. Ellers vil mulighetene for forskjellig type testing være god, så lenge dette skjer da det er lite trafikk. Endringer av strekning, materiell og ruteoppsett vil ta lenger tid enn i Simulatorene. Komplekse analyser kan være et problem med regnearkmodeller. For eksempel vil det være en kjempejobb å nøyaktig beskrive en reel strekning, for deretter å beregne energiforbruk ved ulikt ruteoppsett. Det vil kreves en del fysikk kompetanse for å endre på en regnemodell. Metoden egner seg derfor best for ”enkle” kjøring.

Kvaliteten på den data som blir produsert med de ulike metodene vil selvsagt variere i forhold til hva som analyseres. Hvem som gir riktigs resultat kan diskuteres. Ved praktiske metoder vil resultatene være avhengig av hvordan lokfører kjører, slik at regnearkmodellen vil være mer ”uavhengig”. Teoretiske utregninger har derimot en tendens til å ikke gjenspeile virkeligheten godt nok. I simulatoren får man svakheter fra både praktiske og teoretiske metoder, siden dette er en slags kombinasjon. Siden energimålinger gjøres på reelle strekninger, med reelle tog og kanskje i reell trafikk, vil nok dette gi de beste resultatene.

For en mer visuell sammenligning er metodene satt opp i Tabell 3. På de forskjellige punktene blir det gitt enten [-], som er lavest, [+] eller [++] etter hvor bra de dekker de enkelte områdene. Her er det lagt mest vekt på hvordan metodene presterer i forhold til hverandre.

Type	Datamengde	Fleksibilitet	Kompleksitet	Kvalitet på resultat
Energiutregningsmodell	+	+	-	+
Simulatoranlegg	-	++	+	-
Energimålinger	++	-	+	++

Tabell 3 Sammenligning av analysemetoder

Ut i fra denne sammenligningen kan en utrope energimålinger som ”vinner”. I mange sammenhenger vil også reelle data være uslåelig, men på grunn av den dårlige evnen til å analysere andre områder enn det som trafikkeres, er den dårligere egnet til å finne nye metoder å gjøre ting på. Energimålingene vil være bra til å måle prestasjon og endring i prestasjon, mens de to andre metodene vil egne seg til ”forskning”.

5.2 Identifikasjon av analyse områder

Databasen til UIC på www.railway-energy.org har en oversikt over rundt hundre teknologier eller muligheter for energisparing. Ut i fra denne listen har Nilsen, Essen og Boer (2005) identifisert 28 områder som er lovende i forhold til energisparing. Det er brukt fem kriterier for å luke ut uinteressante teknologier og områder:

1. Teknologier som enda ikke har blitt evaluert
2. Teknologier som ikke ble ranket som lovende eller veldig lovende
3. Områder som bare gjelder godstransport
4. Områder der implementeringstiden er over 5 år
5. Andre årsaker som teknisk inkompatibilitet.

De 25 områdene som passerte kriteriene samt 3 andre, som av andre grunner likevel er tatt med, er listet opp i Tabell 4.

Technology option	Overall Potential	Diesel/Electric	Can be Retrofitted?	Industry or NS	Time to earn back investment	Time period for broad application	Penetration in NS 1=little, 2=developing, 3=extensive
Procurement							
<i>Mass reduction</i>							
Aluminium Car-Body	Very promising	Both		I	0-1 year		0
Double-decked stock	Very promising	Both		I			3
Wide-body stock	Very promising	Both		I			1
Articulated trains (Jakob-type bogies)	Promising	Both		I			0
Modular train sets	Promising	Both		I		0-2 years	3
Light coach interior equipment	Promising	Both	R	NS			0
<i>Managerial options</i>							
Bonus/penalty rules	Very promising	Both	-	NS/I			0
LCC-driven procurement	Very promising	Both	-	NS			2
Reference cycle for energy efficiency	Promising	Both	-	I/NS		0-2 years	0
Energy efficient driving style							
Energy efficient driving by low-tech measures	Very promising	Both	-	NS	0-1 year		0
Training programs to raise awareness of personnel	Very promising	Both	-	NS	0-1 year		1
Energy efficient driving strategies	Very promising	Both	-	NS			1
Energy meters (electric)	Very promising	Electric	R	NS			0
Database of traction consumption	Promising	Both	-	NS		0	1
Energetic optimisation of timetable	Promising	Both	-	NS		0-2 years	0
Traction and braking							
IGBT	Very promising	Both	R	NS	0-1 year		2
Regenerative braking in DC systems	Very promising	Electric	R	NS	0-1 year		2
Stationary energy storage	Promising	Electric	-	NS			0
Switch-off traction group	Very promising	Both	R	NS			0
Optimisation of traction software	Promising	Electric	R	NS			0
Climate functions							
Control of comfort functions in parked trains	Very promising	Both	R	NS	0-1 year		0
Modification of target temperature in passenger coaches	Very promising	Both	R	NS	0-1 year		3
Ventilation control (in new stock)	Very promising	Electric		I			3
Ventilation control (retrofit)	Promising	Electric	R	NS			3
Coach insulation	Promising	Both	R	NS			1
CO2 based demand control for coach ventilation	Very promising	Both	R	NS		5-10 years	0
Heat pumps for temperature control	Not evaluated	Both	?	I/NS			0
Fuel							
Biodiesel	Not promising	Diesel		NS		5-10 years	0

Tabell 4 De 28 mest lovende energisparende tiltakene (Nilsen, Essen, Boer, 2005)

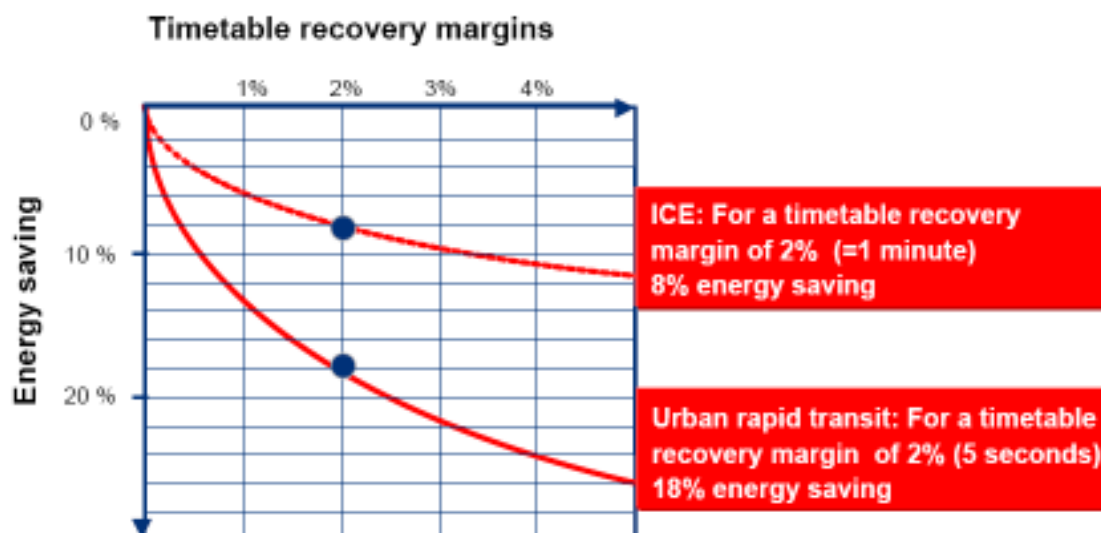
Som nevnt i problemstillingen ønsker NSB spesielt å vurdere energiforbruk i forhold til stoppmønster og reisetid for lokaltrafikken i Oslo-området, samt å vurdere dette i forhold til eksisterende og alternativt materiell. I Tabell 4 er energioptimalisering av rutetabell listet opp som lovende. Energi effektive kjøreteknikker og listet opp som veldig lovende. Forskjellige innkjøpsstrategier er også listet opp som enten lovene eller veldig lovende.

Ut i fra problemstillingen og de mest lovende teknologiene/mulighetene for energisparing vi det videre i oppgaven ses nærmere på:

- Energioptimalisering av rutetabell
 - Tidsbuffer/reisetid
 - Stoppmønster
 - Alternative rutetabelloppsett
 - Bruk av eksisterende materiell
- Energieffektive kjøreteknikker
- Innkjøp av materiell

5.2.1 Tidsbuffer/reisetid

Det er en klar sammenheng mellom den tiden toget har tilgjengelig på en strekning og energien toget forbruker. Bedre tid gir lavere gjennomsnittshastighet og dermed lavere energiforbruk. Det er klart at ved en stram ruteplanlegging vil det være mindre rom for energibesparende kjøring. Lokføreren har da liten annen mulighet enn å kjøre raskest mulig fra A til B. En økning i rutetidene vil kunne gi besparelser i strømforbruket ved rundere kjøring. Økt reisetid er derimot lite attraktivt for de reisende, som vil komme raskest mulig frem. I tillegg til energisparing kan økning i rutetid gi mindre forsinkelser, slik at kundetilfredsheten likevel kan øke.



Figur 26 Energibesparelse ved økning i reisetid [Deutsche Bahn, 2005]

En undersøkelse fra Deutsche Bahn (2005) viser at det er mulig å spare mye energi ved kun å øke tidsforbruket litt, og det er på lokaltogene det er mest å spare i forhold til prosentvis økning i kjøretiden. 2 % økning av rutetiden vil kunne gi så mye som 18 % energibesparelse.

Metode:

For å finne ut hvordan økt reisetid påvirker energiforbruket, vil det være mulig å benytte en utregningsmodell. Det kan regnes ut hastigheter som er nødvendig for å tilbakelegge en strekning på en gitt tid, og dermed er det mulig å estimere energiforbruket. Det er da mulig å få grafer, som i Figur 26, med energibesparelse som en funksjon av tidsbuffer på strekning. Hvor reelle disse tallene blir, kan diskuteres, da det er vanskelig å ta lokale hensyn i slike utregningsmodeller. Grafene blir generelle og ikke strekningsspesifikke.

Det vil være liten mulighet for å endre på rutetider i den reelle trafikken for å få sammenhenger mellom kjøretid og energiforbruk. Dette vil påvirke trafikken i alt for stor grad. Togene er avhengig av å følge de tidene som er fastsatt i ruteterminen. Testing på reel strekning må da skje med egne testruter på tidspunkt med lite trafikk, gjerne i helg eller kveld. Dette vil antagelig gi høye kostnader. Mer praktiske og strekningsspesifikke forsøk kan også foregå i Simulator. Ulempen her er at det vil være veldig resursskrevende å få den mengden data som skal til for å generere gode kurver. Data fra simulator vil også inneholde feilkilder, som forskjellig kjøreteknikk.

5.2.2 Stoppmønster

Forskjellige rutealternativer har selvfølgelig ulikt stoppmønster. Hvordan et slikt stoppmønster påvirker energiforbruket er i liten grad vært fokusert på i NSB. Ved vurdering av stoppesteder er det markedspotensialet i forhold til tidsforbruk som er blitt brukt som kriterium for om det skal stoppes eller ikke.

Ved start å stopp vil det brukes mer energi enn om farten holdes konstant gjennom stasjonen. En kan derfor spørre seg om et gitt markedspotensial er verdt merforbruket i energi ved et ekstra stopp. Et gitt markedspotensial for en stasjon bør vurderes opp i mot både tidsforbruket og energiforbruket ved å stoppe på stasjonen.

Metode:

Å endre på stoppmønster kan ikke gjøres uten videre ute i trafikken. Dette ville få konsekvenser for de kundene som eventuelt skulle tatt det toget og annen trafikk på linja. Dermed kan andre analysemetoder enn energimålinger være bedre for å analysere dette område. En teoretisk oversikt over hvor ”dyrt” et togstopp er kan greit regnes ut med en regnearkmodellmodell. Her kan det i noen grad tilpasses for lokale forhold, ved for eksempel å justere for stigning og fall. For å få en bedre lokaltilpasset analyse, er det mulig å benytte seg av simulatoranlegget.

5.2.3 Alternative rutetabeller

Oppbygging av rutetabeller har til nå ikke tatt særlig hensyn til forbruket av energi. Gjennomgang av rutetabeller kan gi energibesparelser uten en økning i kjøretiden (International Union of Railways, 2003). Det er mulig å finne skjult potensial i rutetabellene ved hjelp av simuleringsverktøy.

Områder som bør undersøkes er:

- Fordeling av tidsbuffer over en strekning
- Flyt mellom avganger
- Vanlig rutetabell eller skyggetabell

Metode:

Det kan være en tanke å utvikle avanserte program som optimerer rutetabeller med hensyn på energiforbruk i tillegg til andre hensyn, men på grunn av jernbanens kompleksitet kan dette være veldig vanskelig. En lettere metode vil være å utvikle forskjellige rutetabeller basert på teori om optimale kjøreteknikker, for deretter å sammenligne dem mot hverandre.

Til dette formålet vil simulering ved simulatoranlegget være egnet. Her kan en teste forskjellige rutetabeller uten at det forstyrrer trafikken. Testing ute i trafikken kan skje på tider uten mye trafikk, dersom endringene i forhold til dagens rutetabell ikke er store.

5.2.4 Bruk av eksisterende materiell

Mye av energiforbruket er allerede bestemt ved innkjøp av materiell. Faktorene i motstandsligningen (Formel 5) er da allerede bestemt. NSB har likevel noe mulighet til å endre på hvilken materielltype som benyttes på de ulike strekningene og rutene. En slik rotering av eksisterende materiell vil kunne påvirke energiforbruket. For eksempel vil det på korte strekninger med mange stopp være viktig å ha materiell som er raske ved av og på stigning, slik at tidsforbruket på stasjonen er lavt, og det vil være viktig med lav vekt i forhold til kapasitet, på grunn av mye akselerasjon. For en strekning med høye hastigheter og få stopp, vil det være viktigere å benytte materiell som har lav kjøremotstand.

Av dagens materiell som kan sammenlignes er type 69 mot type 72, og type 70 mot type 73B eller EL18 + B5 (se vedlegg D).

Områder under Materiellbruk som kan undersøkes:

- Tidsforbruk på stasjoner
- Vekt i forhold til kapasitet
- Akselerasjon/topphastighet: evne til å følge ruta
- Kjøremotstand

Metode:

For å finne ut av hvordan energiforbruket varierer med ulikt materiell i ulike ruter vil energimålinger fra trafikken gi det beste resultatet. Å teste andre materielltyper i en rute kan gjøres uten at dette forstyrrer trafikken i alt for stor grad. Fordelene med reelle målinger i forhold til simulatormålinger vil være kvaliteten på data og mengden data. Ulempen vil være at forsøkene ute på linja vil kreve en del organisering. Undersøkelser av mindre skala vil derfor være lettere å gjennomføre i et simulatoranlegg.

En regnearkmodell vil kunne benyttes til å sammenligne materielltyper, men på grunn av at det er vanskelig og tidkrevende å modellere reelle strekninger og at de andre metodene vil være vesentlig bedre, vil denne metoden anses som uegnet til formålet.

5.2.5 Energieffektive kjøreteknikker

Tester viser at det er stor forskjell i energiforbruket mellom forskjellige lokførere. Dette betyr at mange av førerne har et stort potensial for å redusere sitt energiforbruk ved å endre sin kjørestil. Det kan være ønskelig å gjennomføre trening i kjøreteknikker for lokførere, for på den måten redusere det totale strømforbruket. Det er forskjellige kjøreteknikker som kan benyttes for dette formålet. Som beskrevet i 4.2 kan det være forskjellige strategier som er ”billigst” ved ulike forhold. Derfor kan være en ide å undersøke hvilke metoder som gir mest reduksjon i forskjellig type trafikk og forskjellige strekninger.

Områder under kjøreteknikk som bør undersøkes er:

- Manuell eller Automatisk kjøring
- Rullestrategi eller lavere topphastighet hastighet
- Konstant hastighet eller sagtannstrategi
- Bruk av terreng
- Strategier for hastighetsvariasjoner

Metode:

Metodebruken ved analyse av optimal kjøreteknikk vil variere i forhold til hva som skal analyseres. De områdene som er veldig strekningsavhengig, som bruk av terreng og strategier for hastighetsvariasjoner, er nok best å tilnærme på en praktisk måte. Siden testing i virkeligheten kan være en utfordring, vil simulortesting være det enkleste alternativet. Manuell eller Automatisk kjøring, rullestrategi eller lavere topphastighet og Konstant hastighet eller sagtannstrategi er muligens avhengig av type strekning, og ikke så avhengig av lokale forhold. Da kan det være enklere å simulere en kjøring med en regnearkmodell. I denne modellen kan for eksempel avstand mellom stasjoner eller topphastighet varieres, for deretter å finne ut ved hvilke type strekninger forskjellige strategier lønner seg. Det er i 4.2 antydning at rullestrategien er best for lange distanser med få stopp, mens lavere topphastighet egner seg best i lokaltrafikken. Reelle målinger bør benyttes til slutt som verifikasjon på at ”teoriene” fra regnearkmodellen og simuleringene stemmer.

5.2.6 Innkjøp av materiell

Innkjøp av nytt materiell skjer ikke så ofte i NSB siden levetiden for tog er lang. De eldste lokaltogene er fra så tidlig som 1970 (Vedlegg D). Fokuset er da heller ikke så stort på dette området i de pågående energiprojektene. Likevel er dette et område som er meget viktig å analysere, siden store deler av kostnadene vil påløpe allerede ved innkjøp. Rolstadås, Andersen og Schjølberg (1999) kaller dette levetidskostnader (LCC). LCC er, i tillegg til innkjøpskostnadene, ”skjulte” kostnader for drift, vedlikehold, miljø, dokumentasjon, opplæring, sikkerhet og utskifting.

For reduksjon av energiforbruket er det to ting som er sentralt ved innkjøp av materiell. Vekt, og luftmotstand vil bestemme mye av energiforbruket uavhengig av hvordan lokføreren kjører. Dette kan ses ut i fra motstandsligningen (Formel 5). Vekt vil ha påvirkning på rullemotstand og slingring, mens luftmotstand er en egen komponent i ligningen.

Metode:

Det er fullt mulig å analysere strømforbruk for nye togtyper. Dersom NSB får oppgitt informasjon for komponentene i motstandsligningen for potensielt materiell, kan disse tallene brukes enten i en regnearkmodell eller i simulatoranlegget på Sundland. I begge tilfeller vil være mulig å bygge opp nye togtyper og sammenligne energiforbruket til disse med eksisterende materiell. I simulatoranlegget vil det i tillegg være mulig å knytte dette opp mot eksisterende strekninger og ruter.

Det vil forekomme testkjøring av nytt materiell i Norge for godkjenning av nye togmodeller. Men siden denne testkjøringen vil foregå på et så sent stadium i konstruksjonsfasen, at parameter som påvirker energiforbruk i liten grad kan endres, regnes dette som uegnet til energianalyser.

5.2.7 Metoder for energianalyse

Som en oppsummering av kapitlene 5.2.1 til 5.2.6 er det satt opp en tabell som viser hvilke analysemetoder som er beskrevet som egnet til de ulike analyseområdene. Denne tabellen er satt opp etter beskrivelse av metodene, egne erfaringer og samtaler med ansatte i NSB. Det er lagt vekt på forholdene mellom metodene, mer enn om det er teknisk mulig å benytte dem. Tabellen ble presentert for energigruppen i NSB på et møte i Drammen 05.12.2006.

	<i>Regnearkmodell</i>	<i>Simulatoranlegg</i>	<i>Energimålinger</i>
<i>Tidsbuffer/reisetid</i>	Egnet	Noe egnet	Noe egnet
<i>Stoppmønster</i>	Egnet	Egnet	Noe egnet
<i>Alternative rutetabeller</i>	Mindre egnet	Egnet	Noe egnet
<i>Optimal kjøreteknikk</i>	Egnet	Egnet	Noe egnet
<i>Bruk av eksisterende materiell</i>	Mindre egnet	Noe egnet	Egnet
<i>Innkjøp av materiell</i>	Egnet	Egnet	Mindre egnet

Tabell 5 Oppsummering av metoder i forhold til analyseområder

6 Energianalyser

Det er foretatt noen simuleringer på simulatorsenteret på Sundland i Drammen for å undersøke hvordan energiforbruk blir påvirket av ulike endringer. Disse er kjørt med et enkeltsett av lokaltog type 72 (se vedlegg D). På grunn av at tidsforbruket ved testene er forholdsvis lang (ca 30 min), er det bare et begrenset antall simuleringer, og målingene er derfor på ingen måte statistisk signifikant. Resultatene fra simuleringene bør derfor ses på som trender og ikke sannheter.

6.1 Simuleringer

Simuleringene er delt i tre tester *oversiktssimulering*, *energiforbruk ved stasjonsopphold og rutetabell* og *energiforbruk*. Oversiktssimuleringen har til hensikt å antyde hva en kan vente seg av analysene, med hensyn på manuell/automat og stoppmønster. På grunn av store forskjeller mellom automat og manuell kjøring, som virket i overkant store, ble det valgt å analysere videre på stoppmønster. Til slutt ble det gjort forsøk med to forskjellige typer rutetabell, for å illustrere hvordan simulatoren kan brukes til dette formålet.

Simuleringene ble utført i to omganger. *Oversiktssimulering og energiforbruk ved stasjonsopphold* ble foretatt sommeren 2006, før arbeidet med denne rapporten ble påbegynt. Valgene for hva som er testet i disse simuleringene er derfor ikke begrunnet i litteraturen, men er et resultat av hva som var ”i vinden” ved NSB på dette tidspunktet. Det er likevel valgt å ta med disse fordi de er eksempler på hvordan energianalyser på simulator kan gjennomføres. Testingen på *rutetabell og energiforbruk* ble utført høsten 2006, som en del av denne rapporten.

6.1.1 Oversiktssimulering

For å bli kjent med mulighetene for energianalyser ved simulering, ble det først kjørt en liten test med fire simuleringer. Strekningen som ble kjørt var mellom Moss og Sonsveien, med tog type 72, og hver kjøretur var på ca 10 minutter. Parameter som ble endret underveis var:

- Automatisk og manuell innstilling
- Stopp ved to eller tre stasjoner

(Ved automatisk innstilling setter lokfører en hastighet som toget selv følger, mens det ved manuell innstilling blir regulert pådraget på motoren)

Disse parametrene ble valgt av to grunner. NSB var opptatt av hvordan stasjonsopphold påvirket det totale energiforbruket, mens lokførerne på simulatorsenteret var på sin side opptatt av det ”kjøretekniske”. Det foregikk en diskusjon om Automat eller Manuell var ”billigst”.

6.1.2 Energiforbruk ved stasjonsopphold

Etter den første testen ble det evaluert om hva som skulle testes videre. Forskjellene på automatisk og manuell innstilling virket store (se 6.2) i forhold til hva som var forventet og gav også motsatt resultat enn noen reelle målinger på området (Nag, 2005). Siden ikke simulatoren var blitt kalibrert mot virkelige resultater, er det fullt mulig at disse resultatene er helt feil. Derfor ble det i denne testen valgt å fokusere videre på energiforbruk ved stasjonsopphold.

Formålet med testen er å prøve å finne ut hvor mye et ekstra stopp koster i merforbruk av energi. Et stasjonsopphold vil kreve tid til retardasjon, av og påstigning og akselerasjon. Når en kutter ut et stopp har derfor ekstra tid til rådighet. Man har da i realiteten to valg. Enten kan reisetida kuttes ned, eller så kan man gi togene god tid på strekningen. God tid på strekningen vil bety lavere energiforbruk dersom man utnytter tida til energieffektive kjøreteknikker.

I testen ble det kjørt på tre forskjellige måter. Alle følger rutene fra 1120 Moss-Ski. Testene markert A stopper på alle stasjoner, mens B og C stopper kun på Sonsveien mellom Moss og Ski. B kjører raskest mulig til stasjon, mens C benytter den ekstra tiden til energieffektiv kjøring.

6.1.3 Rutetabell og energiforbruk

Den siste testen ble utført for å belyse hvordan energioptimalisering av rutetabell kan foregå ved bruk av simulator. Her blir det sammenlignet mellom dagens ruteoppsett og en rute som er endret i forhold til å utnytte mulighetene for energioptimale kjøreteknikker.

Det kjøres da etter to forskjellige rutetabeller. Den første er rute 1120 Moss-Ski. Den andre er en litt endret versjon av denne ruten, der det er benyttet prinsippet ”skyggetabell”, som er beskrevet i 4.4.1, og der tidsbufferen er litt forskjøvet. Disse endringene er gjort på basis av teorien om energieffektive kjøreteknikker. Den totale kjøretiden mellom endestasjonene er den sammen i begge forsøkene.

De fire første målingene (V1-V4) ble kjørt på et tidligere tidspunkt enn de andre og V1 og V2 er de samme som A1 og A2.

6.2 Resultater og diskusjon

Ut i fra simulatormålingene er det trukket ut resultater med innvirkning på kjøreteknikk, ruteplanlegging og personellplanlegging. Det presiseres at disse resultatene er basert på et fåtall målinger og derfor ikke må ses på som sannheter.

6.2.1 Manuell/Automat

Det er kun gjort noen forsøk i simulatoren der det sammenlignes kjøring med Automat og Manuell. I oversiktssimuleringen var det stor forskjell på de to innstillingene med Manuell som den klart billigste (se Tabell 6), men antallet forsøk er altfor lavt til å komme med noen konklusjon. Automat har i den analysen 30% høyere forbruk enn manuell. Denne forskjellen virker stor og er ikke i samsvar med reelle målinger fra sørlandsbanen (Nag, 2005). Siden simulatoren i tillegg ikke er kalibrert mot virkelige verdier blir det stor usikkerhet rundt dette resultatet.

Test	Manuell/Automat	Ant. stopp	Forbruk [kW/h]
O1	A	2	110,14
O2	A	3	130,64
O3	M	2	88,20
O4	M	3	95,40

Tabell 6 Testresultat fra oversiktssimulering

Bytting mellom automat og manuell i reell trafikk vil ikke påvirke trafikken i noen stor grad. Derfor er det nok bedre å benytte reelle målinger for å få svar på hvilken av disse kjøremodusene som er best. Dette kan gjøres enkelt ved at annenhver avgang på en strekning kjøres med henholdsvis automatisk og manuell innstilling.

Selv om det er usikkert hvilken kjøremodus som er billigst ut i fra normal kjøring, er det klart at manuell innstilling er nødvendig for å utføre rulling. Det å utnytte høydepotensial til å rulle vil ikke være mulig i automat der hastigheten hele tiden vil stille seg selv.

6.2.2 Merforbruk ved stasjonsopphold

Ut i fra Simuleringene for stasjonsopphold går det an å regne ut hvor mye et ekstra stasjonsopphold koster med hensyn på energiforbruk. Gjennomsnittet for de forskjellige kjøremetodene er sammenlignet, og differansen er delt på differansen på antall stasjoner det er stoppet ved. For å kunne presentere tall i norske kroner er det lagt til grunn en kraftpris på 0,5 kr/kWh. Fra NSB ble det gitt prognoser på kraftpris for høst 2006 som lå litt over dette.

Test	Ant. stopp	Type Kjøring	Forbruk [kWh]	Merknad
A1	6	Vanlig	385,3	
B1	3	Vanlig	322,9	
C1	3	Energi	316,9	Sifa slo inn
A2	6	Vanlig	349,8	
B2	3	Vanlig	308,7	Dødseksjon på
C2	3	Energi	278,5	
C3	3	Energi	310,7	

Tabell 7 Testresultat fra analyse for energiforbruk ved stasjonsopphold

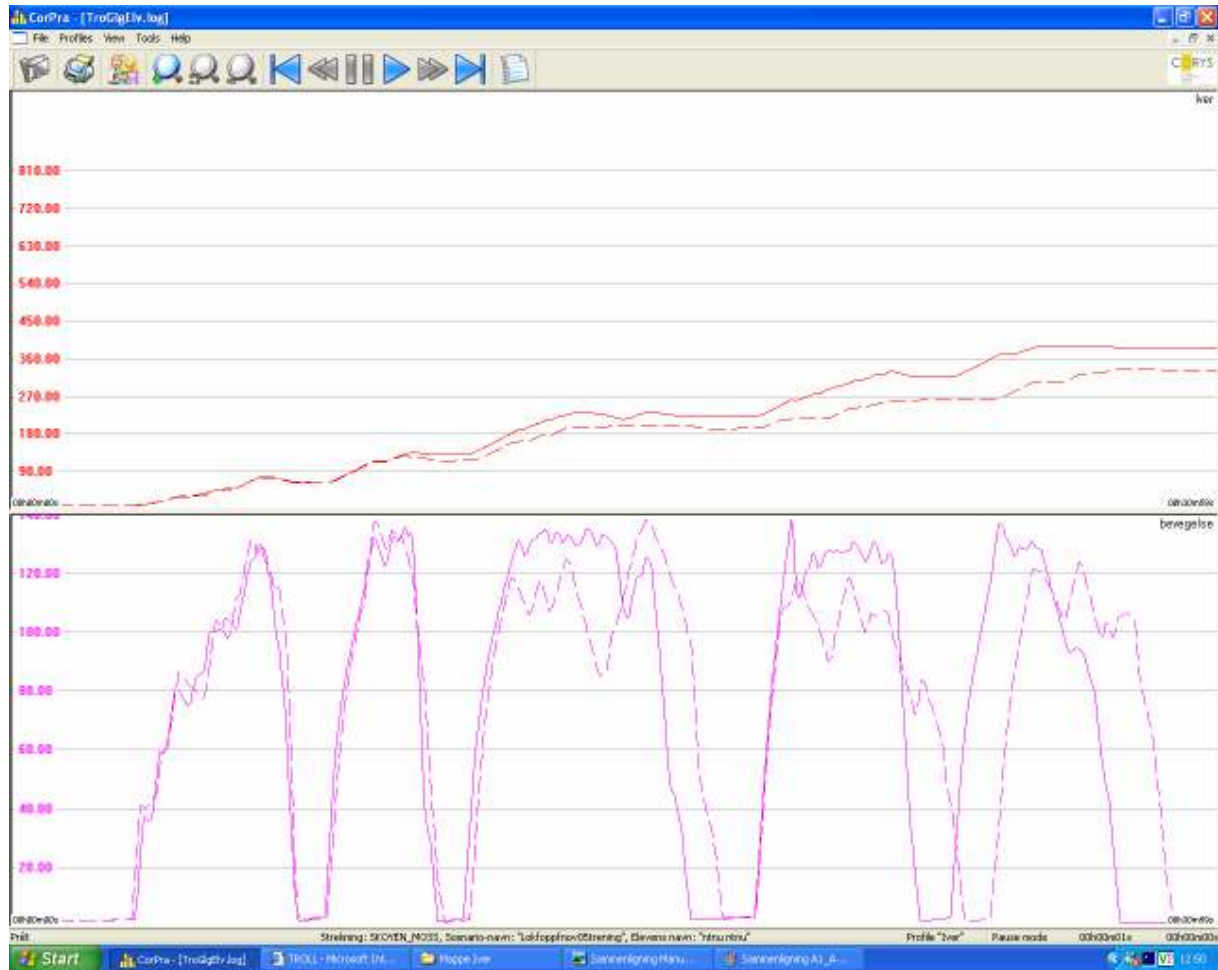
Ut i fra simulatorforsøkene gir energiforbruket en merkostnad, per togstopp for et enkeltsett med type 72, på:

- 8,5 kr, med tidsreduksjon
- 11,5 kr med energieffektiv kjøreteknikk

Det er viktig å merke seg at dette er tall basert på noen simuleringer på en bestemt strekning, slik at disse tallene er forbundet med stor usikkerhet. Likevel kan de gi en indikasjon på i hvilken størrelsesorden en snakker om i forhold til merforbruk av energi ved et ekstra stopp. Fra Jan Vetle Moen i NSB ble det opplyst at det i Storbritannia blir regnet i underkant av ett pund per togstopp, altså rundt 12 kr. Siden det er litt høyere energikostnader i Storbritannia enn her hjemme, kan en derfor konkludere at resultatene er ganske like.

6.2.3 Kjøretid

Da simuleringene for energiforbruk ved stasjonsopphold ble gjennomført ble det observert en stor forskjell mellom de to forsøkene som kjørte på ”vanlig” måte med 6 stopp (A1 og A2 i Tabell 7). A2 er hele 9% lavere enn A1. For å prøve å finne ut av forskjellen, ble kjøreløkken for disse to kjøringene sammenlignet i CorPra. Her kan det se ut som den største forskjellen er utnyttelsen av kjøretid. Mens det i A1 blir kjørt raskest mulig, utnytter A2 tiden som er til rådighet i rutetabellen, uten å bli forsinket til endestasjonen. Dette indikerer at det kan ligge veldig mye besparelser i å lære lokførere til å utnytte kjøretiden.

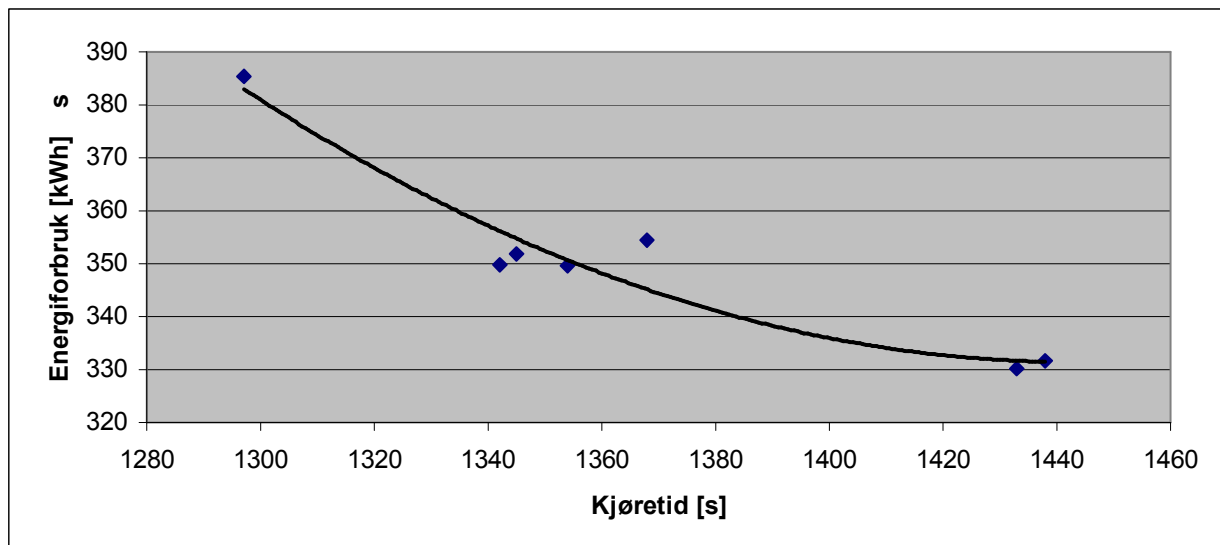


Figur 27 Sammenligning av testene A1 og A2 i CorPra, med energiforbruk øverst og hastighet nederst

Test	Type	Forbruk [kWh]	Kjøretid	Merknad
V1	Vanlig	385,3	1297	
V2	Vanlig	349,8	1342	
V3	Vanlig	330,1	1433	
V4	Vanlig	354,5	1368	1 ATC brems
V5	Vanlig	351,9	1345	
V6	Vanlig	331,7	1438	
V7	Vanlig	349,6	1354	
S1	Skygge	319,2	1444	
S2	Skygge	312,1	1405	
S3	Skygge	330,6	1476	
S4	Skygge	312,7	1464	
S5	Skygge	307,1	1454	

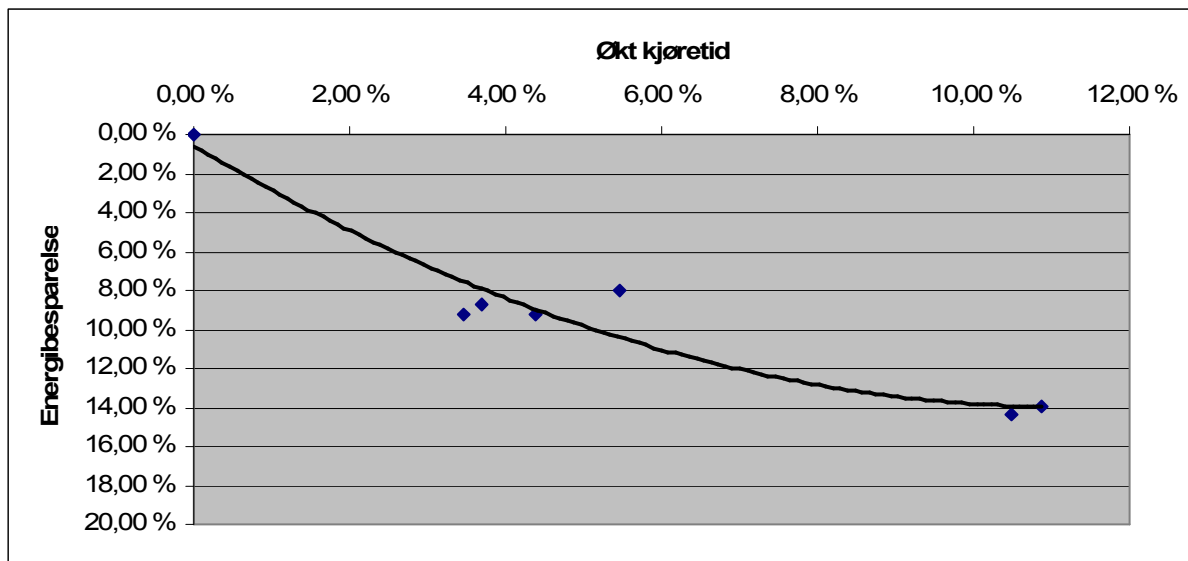
Tabell 8 Testresultater fra analyse for rutetabell og energiforbruk

I tillegg til å sammenlignes mot ”skyggetabell”, vil de vanlige kjøringene (V1-V7) i Tabell 8 benyttes til å analysere sammenheng mellom tidsforbruk og energiforbruk. Dersom forsøkene settes opp etter hvor lang tid de har benyttet på selve kjøringen, ser man at det er en klar sammenheng mellom kjøretiden og energiforbruket (Figur 28). Denne sammenhengen kan beskrives som en kurve på formen ax^2+bx+c .



Figur 28 Sammenheng mellom kjøretid og energiforbruk mellom Moss og Ski

For å undersøke om denne kurven er realistisk er det mulig å presentere resultatene på samme måte som Deutsche Bahn i Figur 26, med energisparing som en funksjon av økt kjøretid i prosent. Strekningen i simuleringen, mellom Moss og Ski, er en nybygd dobbeltsporet bane med topphastighet på 160 km/t. Med et ganske hyppig stoppmønster vil dette være togtrafikk som plasserer seg et sted mellom ICE og lokaltrafikk, men kanskje nærmest ICE på grunn av høye hastigheter.



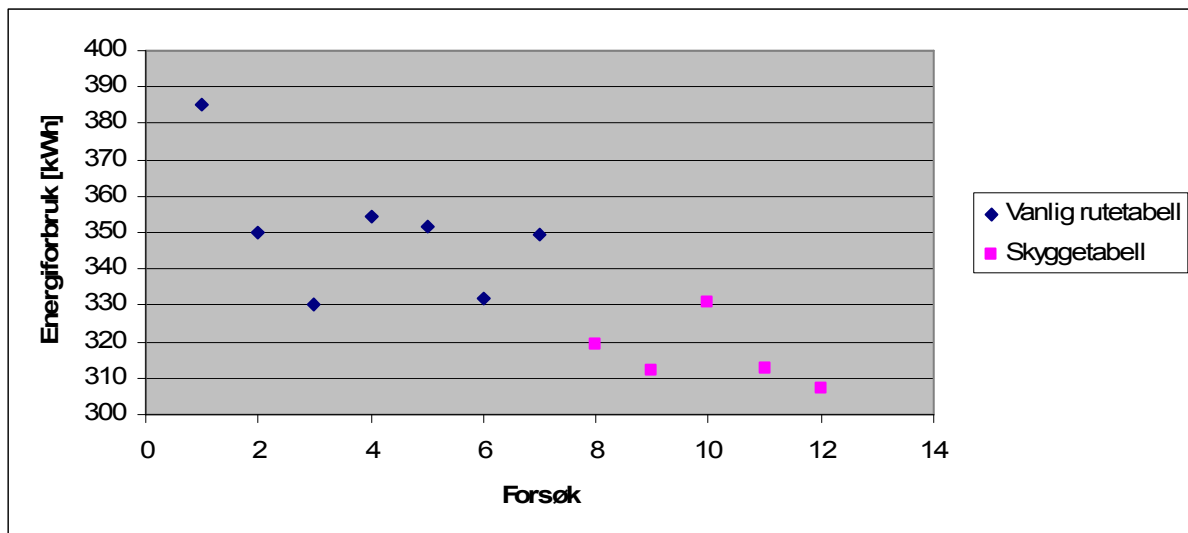
Figur 29 Energibesparelse i forhold til økt kjøretid mellom Moss og Ski

Kurven (Figur 29) som blir generert av simuleringene er litt forskjellig i forhold til de fra Deutsche Bahn, særlig ved 2% økning i kjøretiden, men dette kan ha sammenheng med at det ikke er noen målinger i dette området. Ser man derimot på punktresultatene, viser disse bedre samsvar. Punktene rundt 4% økning i kjøretiden viser at dette kan gi 8-10% energibesparelse, mot ca 11% i Deutsche Bahn sin kurve for ICE-trafikk.

I forhold til at Moss- Ski er en mellomting mellom ICE-trafikk og Lokaltrafikk, skulle tallene for 4% økning i kjøretiden derfor ligget mellom 11% og 24%. At de i stedet ligger under tallene for ICE trafikk, kan kanskje forklares med den laveste målingen (V1) i simuleringen ikke er ”raskest mulig”, men at det sannsynligvis er mulig å kjøre enda rasker.

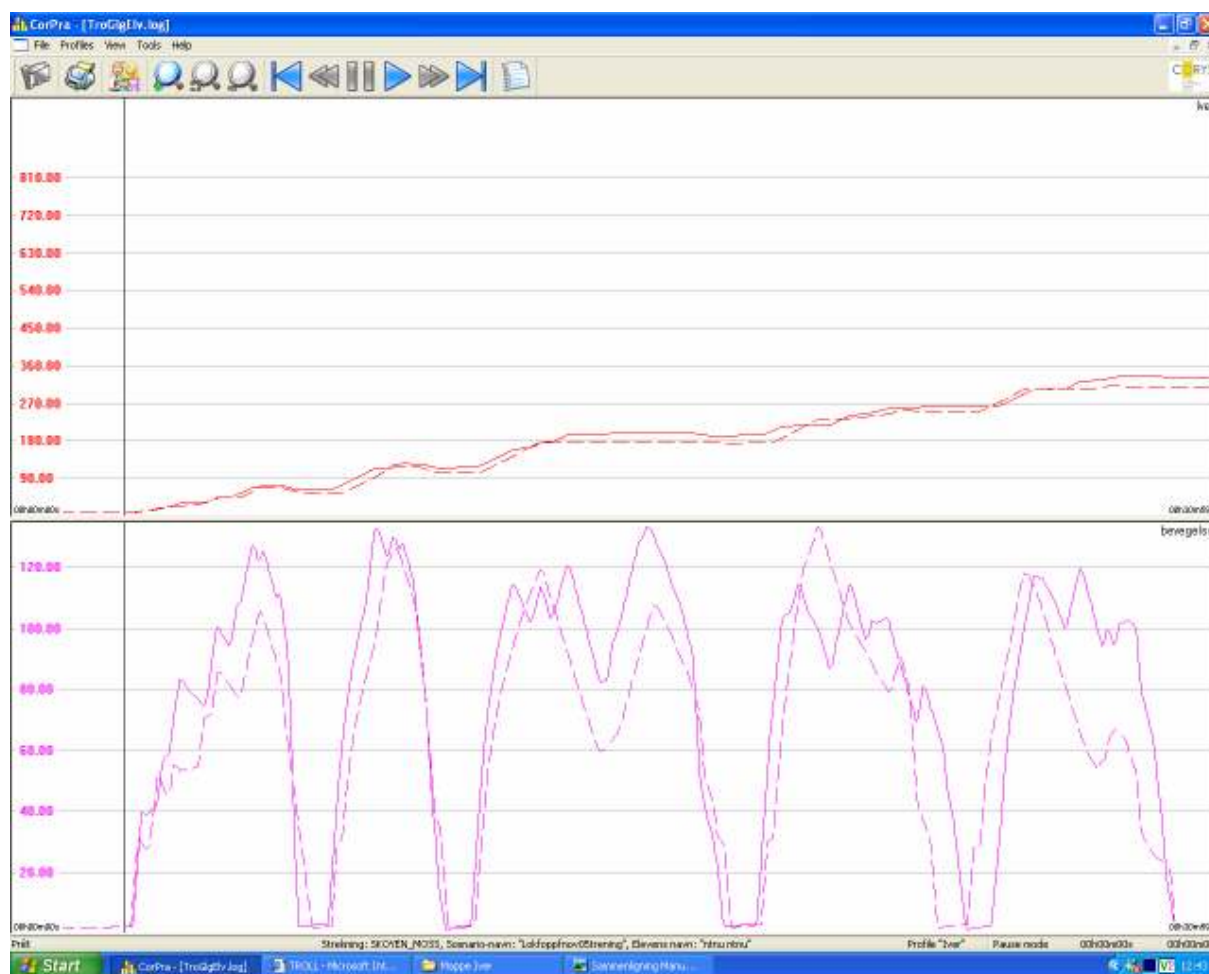
6.2.4 Ruteoppsett

Det ble utført en test med to forskjellige ruteoppsett. Resultatene viser at kjøring etter skyggetabellen gav gunstigst resultat med hensyn på energiforbruk. Når målingene V1 og V4 er fjernet på grunn av at disse anses som ”støy” (se vedlegg C), får vi et gjennomsnittlig forbruk som er 7,67% lavere med skyggetabell enn med vanlig tabell.



Figur 30 Sammenligning av målingene for Vanlig rutetabell og skyggetabell

Ved å se nærmere to målinger i CorPra, fra henholdsvis vanlig- og skyggetabell, kan en studere om det er noe forskjell i kjøremønster. I Figur 31 er V3 i heltrukket linje mens S5 er i stiplet linje. Mellom start- og endestasjon har de benyttet ca like lang tid. Likevel har S5 nesten 7% lavere energiforbruk. Ved 3 av 4 mellomstasjoner kommer S5 litt senere inn og drar senere enn V3, slik oppsettet i skyggetabellen forutsetter. Dette gir S5 bedre tid mellom disse stasjonene. V3 har til gjengjeld brukt lang tid til stasjon 5, og antagelig vært for sent ute fra denne stasjonen. S5 har totalt sett et jevnere kjøremønster, med mindre fartsendringer (topper i figuren).

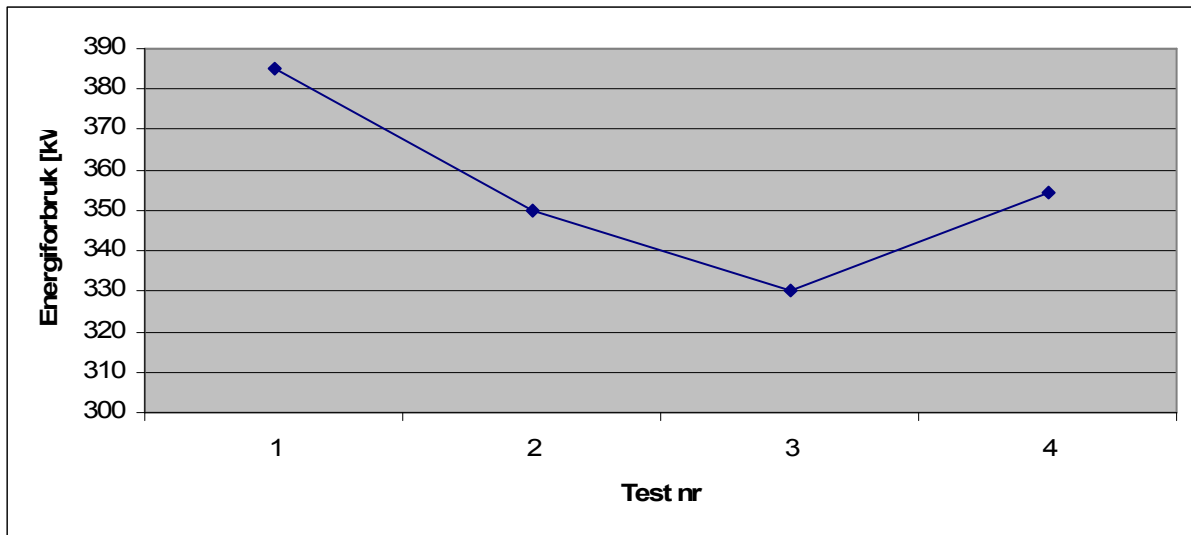


Figur 31 Sammenligning av de laveste målingene ved vanlig og skyggetabell i CorPra

Om skyggetabell er vesentlig billigere med hensyn på energiforbruk enn den vanlige rutetabellen, er vanskelig å konkludere med etter disse forsøkene. Til det er det alt for få forsøk. Forsøkene er heller ikke gjennomført på en så objektiv måte som ønskelig. Siden lokførerne er klar over at de blir testet på energiforbruk, kan det hende de "overpresterer". Testen gir imidlertid grunn for ytterligere forsøk på området.

6.2.5 Lokalkjente førere

I simuleringen om kjøretid og energiforbruk kom det fram en annen observasjon av interesse. Energiforbruket synker kraftig etter som lokføreren får trening på strekningen. Fra den første målingen, for lokfører nr 1, til måling 3 er det en reduksjon på 14,3 %. At måling 4 ligger en del over måling 3 skyldes en ATC-brems, der en taper mye kinetisk energi. Selv med ATC brems ligger denne nesten likt med måling 2, slik at også denne ville fulgt den nedadgående trenden. Dette kan være en indikasjon på at lokal kjennskap til hastigheter, stasjoner og kurvaturer kan bidra mye til å redusere energiforbruket. En lokfører som er bevist på energisparing kan lære seg hvilke hastigheter som kan benyttes og når rulling kan begynne, og likevel holde rutetida. Ingen av disse testene var forsinket inn til endestasjonen.



Figur 32 Utvikling på energiforbruk fra måling 1 til måling 4 for lokfører 1

Dette viser kun en mulig trend, og selv om det er sannsynlig at dette også er tilfelle ute i trafikken, bør effekten studeres nærmere før det trekkes klare konklusjoner.

7 Konklusjon

Beslutningene i et selskap som NSB vil grovt sett fordele seg på tre de tre nivåene strategisk-, taktisk- og operativ planlegging. Beslutningene som blir tatt på strategisk og taksisk nivå, vil ha mye å si for det totale energiforbruket til togfremføring. Likevel vil det være rom for reduksjon i energiforbruket også på operativt nivå, gjennom energieffektiv kjøreteknikk. For best mulig å utnytte de mulighetene som finnes for energieffektive kjøreteknikker er det viktig at dette er med som en faktor ved bestemmelser på strategisk- og taktisk nivå. Ved en helhetlig energitankegang ved innkjøp, rutestrategier, ruteplanlegging og materiellplanlegging, kan forholdene legges godt til rette for energisparing i jernbanetransport.

Det finnes tre hovedstrategier for energieffektiv kjøreteknikk. Dette er lavere akselerasjon, lavere topphastighet og rulling. En sammenligning av disse viser at lavere topphastighet og rulling er de beste strategiene i forhold til tidsforbruk. Lavere topphastighet vil være best å benytte i lokaltrafikk med kort avstand mellom stoppene, mens rulling bør benyttes der det er lengre mellom stasjonene og i tilknytning til topografi.

Det er usikkert om det er mest lønnsomt å kjøre i manuell eller i automatisk kjøremodus på togene. Dette er et område som også kan være strekningsspesifikt. Her er det reelle målinger som viser at automat er billigst, mens simulerte målinger viser at manuell er billigst. Manuell kjøremodus vil være en nødvendighet for å kunne benytte seg av kjørestrategien rulling.

Besparelser ved riktig kjøreteknikk vil være ved hastighetsendringer og helninger. Dette er det mye av i det norske jernbanenettet. Derfor vil det være gode muligheter for energieffektive kjøreteknikker i Norge. De største besparelsene ved opplæring av personell, vil være der det er stor frekvens på rutene. I Norge utpeker Oslo seg som det stedet med tettest togtrafikk, og derfor vil besparelsene være størst her.

Energioptimalisering av rutetabell er en av 25 lovende metoder for å spare energi i jernbanedrift, plukket ut av Nilsen, Essen og Boer (2005). I Norge har ikke dette vært noe tema. Områder som bør undersøkes med tanke på energioptimalisering er:

- Stoppmønster
- Kjøretid
- Alternative ruteoppsett
- Bruk av eksisterende materiell

I simulator er det gjort tester på energikostnad for ett ekstra togstopp med et togsett av typen 72. Med en strømpris på 0,5 kr/kWh ble merkostnaden per stopp på 8,5 kr, dersom man i tillegg kutter ned på kjøretiden. Dersom den ekstra kjøretiden benyttes til energieffektive kjøreteknikker vil merkostnaden være 11,5 kr per stopp.

Kjøretid er av stor betydning for energiforbruket til toget. Simulatorforsøk på dette området viser at 4% økning i kjøretiden, noe som tilsvaret tidsbufferen i Norge, vil gi energibesparelser mellom 8-10%. Dette er litt mindre enn beregninger gjort fra Deutsche Bahn.

Det er gjort forsøk med en alternativ metode å sette opp rutetabell på i dette prosjektet. Ved å innføre en skyggetabell og fordele tidsbufferen jevnere utover strekningen, kan det spares energi. Tester med denne modellen i simulator viser at den ligger 7,7% under vanlig rutetabell i energiforbruk.

NSB har i hovedsak tre forskjellige metoder for å analysere energiforbruket. Dette er regnearkmodell, energimålinger, og simulator. Disse har alle sine fordeler og ulemper. Bruken av dem avhenger av hva som skal analyseres. Simulator og regnearkmodell er noe mer egnet til testing av nye konsepter, på grunn av at disse er lettere å tilpasse nye områder. Energimålinger på tog vil gi de mest reelle resultatene fordi det er mulig å produsere en stor mengde data fra virkelig togtrafikk.

I videre arbeid vil det være aktuelt å benytte reelle målinger og regnearkmodell til å analysere energiforbruk. Det bør også gjøres flere forsøk med simulator. Disse testene bør sammenlignes, slik at det er mulig å kalibrere parametrene i simulatoren og regnearkmodellen. På den måten vil NSB besitte tre gode analyseverktøy for energisparing. Det kan også ses nærmere på aktuelle strategier for optimalisering av rutetabell.

Referanser

- Andersen, A., Strandhagen, J.O. & Haavardtun, L.J. 1998: *Material og produksjonsstyring*, Oslo: Cappelen Akademiske Forlag
- Coleman, D., 2003: *A System for Long Haul Optimal Driver Advice*, TMG Rail Technology
- Coyle, J.J., Bardi, E.J., Novack, R.A. 2000: *Transportation*, Ohio: South-Western College Publishing
- Fröidh, O., et al. 2000: *Tågtrafikplanering*, Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan
- Halbach J. 2005: *Energy efficient driving by Deutsche Bahn AG*, Foredrag av Energiekostenmanagement DB Regio AG, Frankfurt 30. Juni
- Hellerud, J.E., et al. 2001: *Norske lok og motorvogner 1.1.2001*, Kolbotn: Norsk Jernbaneklubb
- Holme, I.M., Solvang, B.K. 1998: *Metodevalg og Metodebruk*, Otta: TANO AS
- Howlett, P.G., Milroy, I.P. & Pudney, P.J. 1994: *Energy-efficient train control*, Control Eng. Practice, Vol2, No. 2, pp. 193-200
- International Union of Railways a, 2003: *Evaluation of energy efficiency technologies for rolling stock and train operation of railways*, Berlin: rapport for Deutsche Bahn AG og Railway Environment Centre
- International Union of Railways b, 2003: http://www.railway-energy.org/static/Energy_efficient_driving_strategies_74.php (dato 17-12-06)
- International Union of Railways c, 2003: http://www.railway-energy.org/tfee/index.php?ID=220&TECHNOLOGYID=72&SEL=210&SEKTION=Sec1_closed#a_General%20information
- Jernbaneverket, 1998: *Generelt om transport på bane og togtrafikk i Oslo-området*, Oslo: Jernbaneverket, Plankontoret Region Øst.
- Jernbaneverket, 1999: *Slik fungerer jernbanen*, Oslo: Jernbaneverket, Hovedkontoret, Informasjonsavdelingen
- Jernbaneverket, 2005: *Network statement 2007*, Produktbeskrivelse for norsk jernbanenett
- Jernbaneverket a, 2006: http://www.jernbaneverket.no/marked/togselskap/Grafiske_togruter/ (dato 17-12-06)
- Jernbaneverket b, 2006: http://www.jernbaneverket.no/marked/togselskap/Network_Statement_2007/ (dato 17-12-06)

Kasilingam, R.K. 1998: *Logistics and Transportation, Design and planning*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers:

Linjegods, 2006: <http://www.linjegods.no/> (dato 27-10-06)

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

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

Nielsen, J.B., Essen, H.P. & Boer, L.C. 2005: *Tracks for saving energy*, Delft, CE

NSB a 2006: http://www.nsb.no/internet/no/Om_NSB/index.jhtml?language=no (dato 17-12-06)

NSB b, 2006:

http://www.nsb.no/internet/diverse/rutetider/pdf/jun06/400_asker_oslo_lillestrom.pdf (dato 25-10-06)

NSB c, 2006: http://www.nsb.no/internet/no/Guide_til_reisen/vaare_tog/ (dato 25-10-06)

Rolstadås, A., Andersen, B. & Schjølberg, P. 1999: *Produksjons og driftsteknikk*, Trondheim: Tapir forlag

SINTEF, 2000: *Planleggingspraksis i NSB*, Rapport av Sætermo, I-A.F., Tomasgard, A., Sæbø, H.J., Stølan, A. for NSB

SINTEF, 2002: *Konsekvensanalyse og beslutningsstøtte i jernbaneplanlegging*, Rapport av Olsson, N., Indbryn, M., Veiseth, M. for NSB

Statens Jernbanetilsyn, 2006: http://sjt.no/www/Om_Statens_jernbanetilsyn/ (dato 26-10-06)

Statistisk Sentral Byrå a, 2006: <http://www.ssb.no/emner/10/08/10/elkraftpris/> (dato 12-10-06)

Statistisk Sentral Byrå b, 2006: <http://www.ssb.no/emner/06/05/lonnkvart/tab-2006-08-25-04.html> (dato 12-10-06)

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

Watson, R., Humphreys, I. udatert: *Resource planning processes – linear, intersktive or holistic?, The case of train planning*, Centre for Transport Studies, Loughborough University, UK

Yee, R., Pudney, P. 2004: *Saving fuel on long-haul trains: Freightmiser initial trail results*, Conference On Railway Engineering, Darwin

Vedlegg

A - Forstudierapport

**Forstudierapport
Prosjektoppgave
TPK4700**

ENERGIFORBRUK – AVHENGIGHET AV RUTER OG MATERIELL (Train Energy Use – Timetable and Rolling Stock Dependencies)



**Høst 2006
Stud. Techn. Iver Wien**

Forord

Dette er en forstudierapport til prosjektet gitt i fordypningen TPK4700 Produksjons og Kvalitetsteknikk ved Norges tekniske og Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), institutt for produksjon og kvalitetsteknikk.

Tittelen på prosjektet er ENERGI FORBRUK – AVHENGIGHET AV RUTER OG MATERIELL og utføres i samarbeid med NSB og forskningsprosjektet PERMO. Bjørn Andersen er ansvarlig faglærer og Nils Olsson er veileder.

Takk til veileder Nils Olsson ved Sintef for god veiledning under forstudiearbeidet.

Trondheim 11.09.06

Iver Wien

Innholdsfortegnelse

1	Prosjektbeskrivelse	IV
1.1	Bakgrunn for prosjektet	IV
1.2	Problembeskrivelse.....	IV
1.3	Målsetting	IV
1.4	Presisering av arbeidsoppgaver	IV
2	Prosjektstyring	VI
3	Vedlegg.....	VII
3.1	POS (Project Overview Statement)	VII
3.2	WBS (Work Breakdown Structure).....	VIII
3.3	Gant-diagram	IX
3.4	KTR-skjema.....	X

Prosjektbeskrivelse

Bakgrunn for prosjektet

Som et ledd i sivilingeniørutdannelsen ved NTNU, institutt for produksjons og kvalitetsteknikk, skal det i 9. semester gjennomføres et prosjekt som en del av fordypningen TPK4700 produksjons og kvalitetsteknikk. Omfanget av prosjektet er 15 studiepoeng. Prosjektet støttes av emnemodulen TPK20 IKT-basert produksjonsledelse som er på 7,5 studiepoeng.

Problembeskrivelse

NSB arbeider med tiltak for direkte energisparing, læring om hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens togdrift kan utvikles. Energiforbruk i togframføring bestemmes blant annet av togmateriellets egenskaper (vekt, akselerasjon, maksimalhastighet) i forhold til infrastruktur og ruteplan (kjøretid, stoppmønster, avstand mellom stopp), sikkerhet og komfortkrav.

NSB ønsker spesielt å vurdere energiforbruk i forhold til stoppmønster og reisetid for lokaltrafikken i Oslo-området. Det er aktuelt å vurdere dette ut fra dagens NSB-materiell og for alternative materielltyper. Det kan være aktuelt å bruke den nyetablerte lokomotivførersimulatoren og ulike former for erfaringsdata for å studere energiforbruk.

Målsetting

Målsetting med denne oppgaven er å sette seg inn i og beskrive hvordan logistikken i NSB, med hensyn på rutetabell og materiell, påvirker energiforbruket. Det skal beskrives metoder på hvordan denne sammenhengen kan finnes ved ulike metoder, slik at det senere kan brukes som beslutningsstøtte i NSB. Minst en av disse analysene skal utføres i mindre skala, slik at reelle sammenhenger mellom logistikk og energiforbruk finnes.

Presisering av arbeidsoppgaver

Prosjektet vil deles inn i tre hovedområder. En teoridel, en del med beskrivelse av analyser og en del med analyseresultater og diskusjon. Hoveddelene kan igjen deles opp i arbeidsoppgaver.

Del 1. Gjennomføre et litteraturstudium rundt oppbygging av rutetabeller, bruk av rullende materiell generelt, og hvordan logistikkstyring påvirker energiforbruk. Et sammendrag av dette skal presenteres.

- Beskrive oppbygging av rutetabell hos NSB
- Beskrive rullende materiell og bruk av dette i lokaltrafikken i Oslo området
- Beskrive hvordan logistikkstyring kan påvirke energiforbruket

Del 2. Beskrive ulike alternativer til hvordan NSB kan analysere sammenhenger mellom rutetabell, rullende materiell og energiforbruk. De alternative analysene kan inkludere både bruk av erfaringsdata og simulering.

- Utarbeide hvilke områder som skal analyseres. Forlag til analyser:
 - Bruk av kjøretid og tidsbuffer til energioptimal kjøreteknikk
 - Energibesparelse ved økning av kjøretid
 - Energiforbruk ved stoppmønster
 - Materielltyper (sammenligning)

- Energisparing ved nytt materiell
- Beskrive hvilke analysemetoder som er mulige å benytte hos NSB
 - Simulering i fullskalasilulator
 - Simulering ved matematiske utregninger
 - Reelle målinger
- Beskrive hvordan de enkelte analysene kan gjennomføres

Del 3. Konkretisere minste et av alternativene fra deloppgave 2 ved å beskrive mer detaljert hvilken type data, systemer etc. som er nødvendige for analysene. Om mulig gjennomføres også en analyse i mindre skala for å illustrere databehov og hvilken type resultater som kan taes frem.

- Planlegge gjennomføringen av en eller flere analyse(r) og beskrive den
- Gjennomføre analysen i mindre skala i samarbeid med NSB
- Beskrive og diskutere resultater fra analysen

Prosjektstyring

Prosjektstyring er en del av prosjektoppgaven som skal gjennomføres parallelt med de andre oppgavene og er en del av bedømmelsen av prosjektet.

Problemstilling, mål, suksesskriterier og forutsetninger, risiko og hindringer er samlet i en Project Overview Statement (vedlegg 1) for å gi en oversikt over prosjektets bakgrunn.

Denne oppgaven er tredelt med en litteraturredel, en del med analyse beskrivelse og en del med analyse. Det vil være naturlig å utføre disse oppgavene i kronologisk rekkefølge. Spesielt er det naturlig at del 2 er ferdigstilt før del 3 gjennomføres. Del 1 og oppgave 2.1 bør utføres noe parallelt. Det er laget en Work Breakdown Structure (vedlegg 2) som viser arbeidspakkene i forhold til hverandre.

For å få en oversikt over hvor mye tid som skal brukes på hver aktivitet er det satt opp en tabell. Det er regnet at prosjektets varighet er på 17 uker, hvor det er satt av 24 timer til prosjektet hver uke. Dette gir totalt 408 timer. Det er også satt opp forskjellige milepæler. Denne tabellen vil også være utgangspunkt for Gant-diagrammet (vedlegg 3). Videre er disse aktivitetene beskrevet mer inngående i KTS-skjema (vedlegg 4).

Arbeidsomfang og milepæler:

WBS nr	Aktivitet	Milepæl	Varighet (t)	Start	Ferdig
1.1	Litteratursøk		48	21.08.2006	06.11.2006
1.2	Forstudierapport	1	24	21.08.2006	11.09.2006
2.1.1	Beskrive ruteoppbygging		24	11.09.2006	09.10.2006
2.1.2	Beskrive materiell hos NSB		24	11.09.2006	09.10.2006
2.1.3	Beskrive logistikk og energi		24	11.09.2006	09.10.2006
2.1	Utkast del 1				09.10.2006
2.2.1	Utarbeide analyseforslag		24	09.10.2006	16.10.2006
2.2.2	Beskrive analysemetoder		24	09.10.2006	30.10.2006
2.2.3	Beskrive energianalyser		48	23.10.2006	06.11.2006
2.2	Utkast del 2				06.11.2006
2.3.1	Planlegge analysegjennomf.		24	09.10.2006	13.11.2006
2.3.2	Utføre analyse		40	06.11.2006	20.11.2006
2.3.3	Resultater og diskusjon		24	06.11.2006	04.12.2006
2.3	Utkast del 3				04.12.2006
3	Statusrapport	2	16	16.10.2006	23.10.2006
4	Ferdigstilling og redigering	3	48	04.09.2006	19.12.2006
5	Prosjektstyring		16	21.08.2006	19.12.2006
Totalt			408		

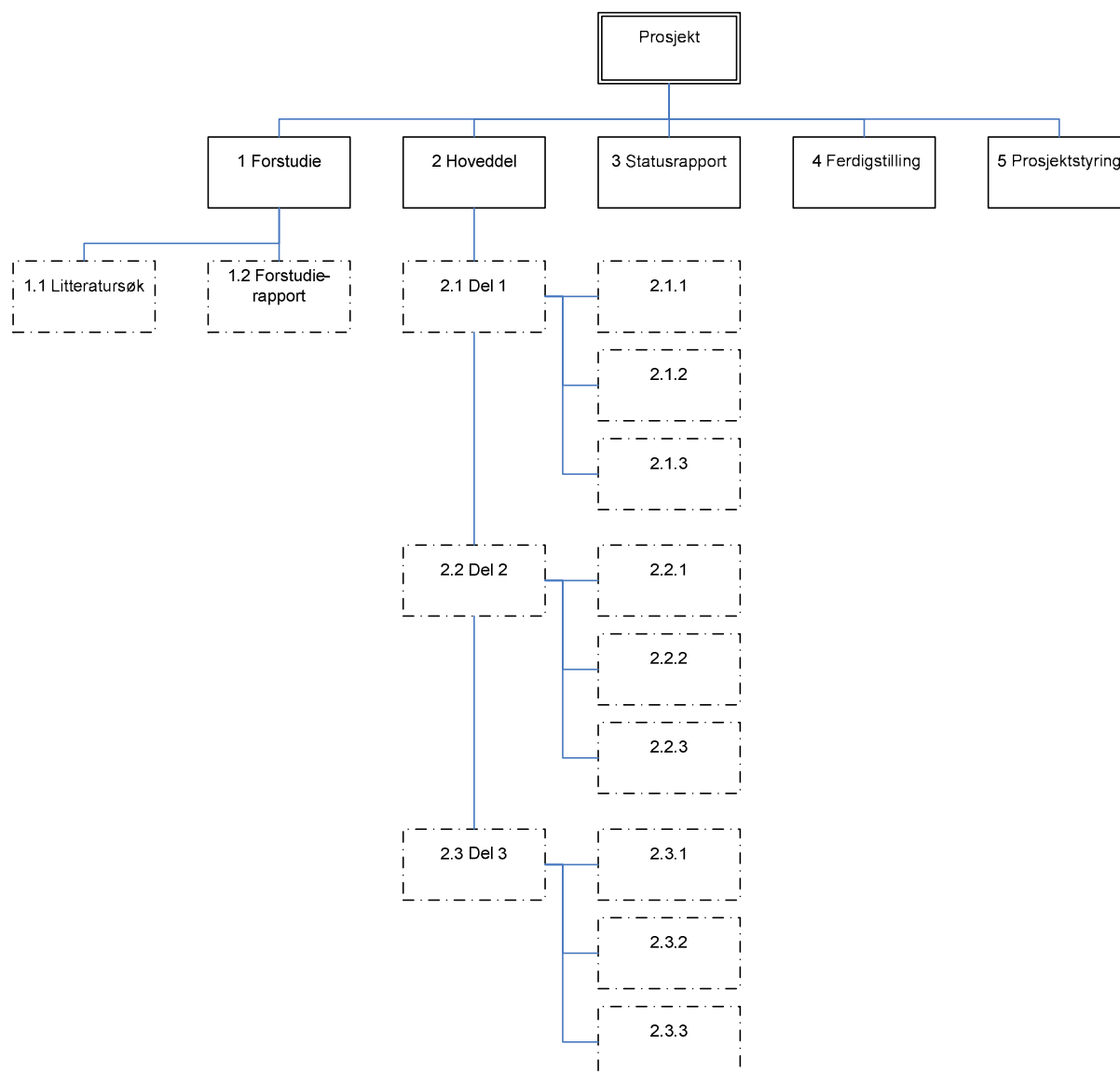
Møter og administrativt arbeid er ikke oppsatt på tidspunkt, men ligger i aktiviteten prosjektstyring og blir spredt utover prosjektet varighet.

Vedlegg

POS (Project Overview Statement)

POS	Prosjekt: Energiforbruk – Avhengighet av ruter og materiell	Dato rev 06.09.06
Problem: Strømprisene stiger og blir en stadig større utgiftspost for NSB. NSB arbeider med tiltak for direkte energisparing, læring om hva som er effektiv energibruk og for hvordan framtidens togdrift kan utvikles		
Hovedmål: Finne sammenhenger mellom logistikk og energiforbruk		
Delmål: <ul style="list-style-type: none">• Beskrive ruteoppbygging, materiellbruk og sammenhenger mellom logistikk og energi• Beskrive hvordan disse sammenhengene kan finnes• Utføre en eller flere analyser i forhold til disse sammenhengene		
Suksesskriterier: <ul style="list-style-type: none">• Overholde milepæler• Få A eller B på prosjektet• NSB drar nytte av prosjektet		
Forutsetninger, risiko, hindringer: <ul style="list-style-type: none">• Tilgjengelighet på relevant litteratur• Tilgjengelighet på ressurser hos NSB (Personer og utstyr)• Tilgjengelighet på veileder• Sykdom• Uforutsette hendelser med data verktøy		

WBS (Work Breakdown Structure)



Prosjektoppgave høst 2006 – Energiforbruk – avhengighet av ruter og materiell

Gant-diagram

ID	Task Name	Start	Finish	Duration	aug 2006		sep 2006			okt 2006				nov 2006				des 2006			
					20.8	27.8	3.9	10.9	17.9	24.9	1.10	8.10	15.10	22.10	29.10	5.11	12.11	19.11	26.11	3.12	10.12
1	1.1 Litteratursøk	21.08.2006	06.11.2006	11,2w																	
2	1.2 Forstudierapport	21.08.2006	11.09.2006	3,2w																	
3	Innlevering forstudierapport	11.09.2006	11.09.2006	0w																	
4	2.1.1 Beskrive ruteoppbygging	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
5	2.1.2 Beskrive materiell hos NSB	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
6	2.1.3 Beskrive logistikk og energi	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
7	2.2.1 Utarbeide analyseforslag	09.10.2006	16.10.2006	1,2w																	
8	3 Statusrapport	16.10.2006	23.10.2006	1,2w																	
9	Innlevering statusrapport	23.10.2006	23.10.2006	0w																	
10	2.2.2 Beskrive analysemetoder	09.10.2006	30.10.2006	3,2w																	
11	2.2.3 Beskrive energianalyser	23.10.2006	06.11.2006	2,2w																	
12	2.3.1 Planlegge analysegjennomføring	09.10.2006	13.11.2006	5,2w																	
13	2.3.2 Utføre analyse	06.11.2006	20.11.2006	2,2w																	
14	2.3.3 Resultater og diskusjon	06.11.2006	04.12.2006	4,2w																	
15	4 Ferdigstilling og redigering	04.12.2006	03.04.2007	17,4w																	
16	5 Prosjektstyring	21.08.2006	19.12.2006	17,4w																	
17	Innlevering prosjekt	19.12.2006	19.12.2006	0w																	

KTR-skjema

Aktivitet
1.1 Litteratursøk

Oppgave: Finne litteratur som er relevant for oppgaven.
Målsetning: Litteraturen skal danne ett grunnlag for litteraturstudiet i del 1 og gi bakgrunnskunnskap for resten av prosjektet.
Innhold: Bøker, artikler og data som kan belyse prosjektets problemstillinger
Arbeidsmetode: <ul style="list-style-type: none">• NSB dokumentasjon• Sintef dokumentasjon• Internett• Bibliotek• Pensumlitteratur
Utfordringer/vanskeligheter: Finne tilstrekkelig litteratur på alle områder i prosjektet og skille mellom god og dårlig litteratur, spesielt litteratur fra Internett.
Resultat: Danne grunnlag for videre arbeid med prosjektet
Varighet: 48 t

Aktivitet
1.2 Forstudierapport

Oppgave:

”Levere en rapport som inneholder en analyse av oppgavens problemstillinger og en nærmere beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven. Beskrivelsen av arbeidsoppgaven skal munne ut i en klar definisjon av innhold og angrepsmåte.”

Målsetning:

Få en oversikt over prosjektets arbeidsoppgaver, avgrensninger og tidsforbruk.

Innhold:

- Beskrivelse av oppgaven: Mål, avgrensning, arbeidsoppgaver (KTR)
- Beskrivelse av prosjektstyring: Arbeidsomfang, struktur (WBS), fremdrift (Gant)

Arbeidsmetode:

Litteratur, samtaler, rapportskrivning

Utfordringer/vanskeligheter:

Å avgrense oppgaven godt på de forskjellige deloppgavene. Forskjellig oppfatning av oppgavene i forhold til veileder og NSB

Resultat:

En plan for videre arbeid med prosjektet

Varighet:

24 t

Aktivitet

2.1.1 Beskrive ruteoppbygging

Oppgave:

Beskrive hvordan rutetabeller i NSB er bygd opp, hvilke faktorer som er viktige.

Målsetning:

Få en god forståelse av hvilke faktorer som er viktige i oppbyggingen av rutetabeller.

Innhold:

- Beskrivelse av ruteoppbyggingsprosess
- Beskrivelse av ruteoppbyggingsverktøy
- Beskrivelse av utfordringer i ruteplanleggingen

Arbeidsmetode:

Litteratur, samtaler med NSB-ansatte og rapportskriving

Utfordringer/vanskeligheter:

Få de opplysningene som trengs.

Resultat:

En beskrivelse av ruteoppbygging som kan tas hensyn til i forhold til energisparende kjøreteknikk.

Varighet:

24 t

Aktivitet

2.1.2 Beskrive materiell hos NSB

Oppgave:

Beskrive materielle som NSB benytter i lokaltrafikken i Oslo området.

Målsetning:

Få en god oversikt over materielle i lokaltrafikken i Oslo

Innhold:

Teknisk beskrivelse av vekt, passasjerkapasitet, motorytelse og andre fakta som spiller en rolle i forhold til energiforbruk

Arbeidsmetode:

Litteratur om materiell og rapportskriving

Utfordringer/vanskeligheter:

Finne de fakta som er nødvendig

Resultat:

En beskrivelse av de fakta som kan spille en rolle i forhold til energiforbruk.

Varighet:

24 t

Aktivitet
2.1.3 Beskrive logistikk og energi

Oppgave: Beskrive hvordan logistikken i NSB kan påvirke energiforbruket.
Målsetning: Beskrive en sammenheng mellom enkelte av NSB sine logistikkoperasjoner og energiforbruket i konsernet.
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Beskrivelse av hvordan energiforbruk kan avhenge av ruteoppsett.• Beskrivelse av hvordan energiforbruk kan avhenge av hvilket materiell som benyttes
Arbeidsmetode: Bruk av litteratur og rapportskrivning
Utfordringer/vanskeligheter: Få god nok litteratur som bygger opp under sammenhengene mellom logistikk og energiforbruk
Resultat: En beskrivelse av sammenhenger mellom logistikk og energiforbruk som kan hjelpe til med å identifisere områder som kan analyseres.
Varighet: 24 t

Aktivitet
2.2.1 Utarbeide analyseforslag

Oppgave: Identifisere de sammenhenger mellom logistikk og energiforbruk hvor det skal beskrives analysemuligheter.
Målsetning: Få en liste over områder som skal beskrives videre.
Innhold: En liste over analyseområder.
Arbeidsmetode: Bruk av litteratur og samtaler med veileder og NSB-ansatte
Utfordringer/vanskeligheter: Finne de mest relevante sammenhengene
Resultat: Finne de analyseområdene som senere skal beskrives i 2.2.3
Varighet: 24 t

Aktivitet
2.2.2 Beskrive analysemetoder

Oppgave: Beskrive de metodene som kan benyttes til å analysere sammenheng mellom logistikk og energiforbruk.
Målsetning: Få en oversikt over de verktøy som er tilgjengelig hos NSB til analyse av energiforbruk og hvordan disse kan benyttes.
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Beskrivelse av simulatorsenteret og hvilke data som er tilgjengelig• Beskrive energimåling på tog og hvordan en kan hente ut data• Beskrive regnemetoder for teoretisk analyse
Arbeidsmetode: Bruk av litteratur, samtaler med NSB-ansatte og rapportskrivning
Utfordringer/vanskeligheter: Få tilgjengelig informasjon
Resultat: En beskrivelse av analyseverktøy som kan benyttes i 2.2.3
Varighet: 24t

Aktivitet
2.2.3 Beskrive energianalyser

Oppgave: Beskrive hvordan NSB kan analysere sammenhenger mellom rutetabell, bruk av rullende materiell og energiforbruk.
Målsetning: Lage analyseforslag til forskjellige sammenhenger mellom rutetabell, bruk av rullende materiell og energiforbruk.
Innhold: Beskrivelse av analyser i henhold til verktøy som brukes og data som er nødvendig
Arbeidsmetode: Bruk av litteratur og samtaler med veileder og NSB-ansatte
Utfordringer/vanskeligheter: Krever god dekning på aktivitet 2.2.1 og 2.2.2
Resultat: En beskrivelse av ulike analyse alternativer, som kan jobbes videre med i 2.3 eller NSB kan utføre senere.
Varighet: 48 t

Aktivitet
2.3.1 Planlegge analysegjennomføring

Oppgave: Planlegge gjennomføring av en eller flere av analysene beskrevet i 2.2.3
Målsetning: Lage en plan på hvordan analysene skal gjennomføres
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Finne ut hvilke(n) analyse(r) som gjennomføres• Planlegge det praktiske rundt gjennomføringen• Beskrive mer inngående hvordan analysen(e) skal gjennomføres
Arbeidsmetode: Samarbeid med NSB om tidspunkt og tilgjengelig personell, verktøy og data
Utfordringer/vanskeligheter: Få en god dialog med NSB, og få tilgang til de verktøy og resurser som er nødvendig.
Resultat: En god plan på hvordan analysen skal gjennomføres
Varighet: 24 t

Aktivitet
2.3.2 Utføre analyse

Oppgave: Utføre en eller flere av analysene beskrevet i 2.2.3
Målsetning: Gjøre forsøk og samle tall for senere analyse
Innhold: Innsamling av analysedata
Arbeidsmetode: Arbeidsmetode avhenger av analyse, men kan være simulatortesting, innsamling av energitall fra reelle målinger eller teoretiske beregninger.
Utfordringer/vanskeligheter: Klare å få nok god data til at analysen kan bli troverdig
Resultat: Rådata fra analysen som senere kan analyseres
Varighet: 40 t

Aktivitet
2.3.3 Resultater og diskusjon

Oppgave: Samle, analysere og diskutere resultatene fra analysen i 2.3.2
Målsetning: Presentere analyseresultatene på en oversiktlig og informativ måte.
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Analyse av data• Beskrivelse av resultat• Diskusjon av resultat
Arbeidsmetode: Rapportskriving
Utfordringer/vanskeligheter: Presentere resultatene på en måte slik at de lett forstås av de som skal lese rapporten.
Resultat: Analyse(r) som gir ett godt bilde på en sammenheng mellom logistikk og energiforbruk som kan brukes som beslutningsstøtte i NSB
Varighet: 24 t

Aktivitet
3 Statusrapport

Oppgave: Lage en avrapportering av prosjektet per 23. oktober 2006
Målsetning: Beskrive hvordan arbeidet med prosjektet ligger an.
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Fremdriftsdiagram som viser plan, forbruk og fremdrift• Beskrivelse av arbeidet i perioden
Arbeidsmetode: Rapportskriving og samtaler med veileder
Utfordringer/vanskeligheter: Beskrive alle de endringene som er gjort i prosjektet
Resultat: En statusrapport om arbeidets gang frem til 23. oktober
Varighet: 16 t

Aktivitet
4 Ferdigstilling og redigering

Oppgave: Sette sammen alle deloppgavene til en helhetlig rapport.
Målsetning: Sette sammen hele prosjektet slik at det fremstår helhetlig, på en lettfattelig måte, uten feil og med en spennende layout.
Innhold: Hele rapporten
Arbeidsmetode: Rapportskriving, redigering av innhold, retting av feil og arbeid med layout.
Utfordringer/vanskeligheter: Presentere stoffe på en måte som blir forstått av leseren og luke ut de feil og mangler som oppstår under rapportskrivingen.
Resultat: En rapport som NSB kan bruke i sitt arbeid med å redusere strømforbruket i jernbanedriften.
Varighet: 48 t

Aktivitet
5 Prosjektstyring

Oppgave: Utføre prosjektstyring for å få orden på gjennomføringen av prosjektet
Målsetning: Styre prosjektet slik at arbeidet blir gjort i riktig rekkefølge, at tidsfrister overholdes og at rapporten svarer på alle de problemstillingene som oppgaven gir.
Innhold: <ul style="list-style-type: none">• Gjennomgang av problemstilling• Gjennomgang av målsetning og delmålsetninger i forhold til resultater• Endring av oppgavetekst og målsetninger hvis det er nødvendig• Oppfølging av tidsforbruk
Arbeidsmetode: Kontinuerlig gjennomgang av oppgave og forstudierapport for å sikre seg at en er på rett spor Samtaler med veileder
Utfordringer/vanskeligheter: Å hele tiden holde tidsfrister og styre oppgaven i henhold til målsetning
Resultat: Holde tidsfrister og dokumentere alle endringer i oppgaven
Varighet: 16 t

B - Statusrapport 23.10.06 for Iver Wien

Generelt

Arbeidet med prosjektet har til nå gått greit, men det har blitt en del ujevn jobbing på grunn av andre arbeidsoppgaver på skole og jobb. Innsamling av informasjon fra NSB har også vært litt variabel i forhold til hvor gode kontakter jeg har. Ved de avdelingene der ingen kjenner meg, er det tungt å få informasjon. Veiledningen har så langt vært veldig god.

Planlagt fremdrift

I følge fremdriftsplanen i forstudierapporten skal jeg per 23.10.06 ha gjort:

Ferdigstillelse av:

- Forstudierapport
- Beskrive ruteoppbygging
- Beskrive materiell hos NSB
- Beskrive logistikk og energi
- Utarbeide analyseforslag

Begynt på:

- Beskrive analysemetoder
- Planlegge analysegjennomføring

Virkelig fremdrift

Per 23.10.06 har jeg gjort:

Ferdig med:

- Forstudierapport
- Utarbeide analyseforslag

Begynt på:

- Beskrive ruteoppbygging (75% ferdig)
- Beskrive materiell hos NSB (75% ferdig)
- Beskrive logistikk og energi (50% ferdig)
- Beskrive analysemetoder (30% ferdig)
- Beskrive energianalyser (30% ferdig)
- Planlegge analysegjennomføring

Avvik i fremdriften

Arbeidet med teoridelen av prosjektet har tatt lengre tid enn antatt, og jeg har ikke kommet så langt som forutsatt på dette området. I fremdriftsplanen er det estimert ca en tredjedel av tiden til dette formålet. I ettertid ser jeg at denne delen tar ca halve arbeidet. Jeg har også begynt med noen oppgaver som har en senere start. Det har ikke vært en så klar deling mellom arbeidsoppgavene som det var planlagt på forhånd. De forskjellige delene har blitt arbeidet med delvis samtidig.

Endringer i tidsplan

Det vil ikke bli endringer i oppstarten av senere arbeidsoppgaver som følge av endringer i fremdriften, men enkelte oppgaver vil måtte jobbes med parallelt. Avslutning av teorikapittel

Prosjektoppgave høst 2006 – Energiforbruk – avhengighet av ruter og materiell

blir satt til 06.11.06 før oppstart av analyse, mens beskrivelse av analysemetoder og energianalyse vil avsluttes sammen med hovedanalysen den 04.12.06.

Endringer i oppgave

Per dags dato ser det ikke ut til at det blir spesielle endringer i oppgaveteksten.

Vedlegg

Opprinnelig tidsplan:

ID	Task Name	Start	Finish	Duration	aug 2006		sep 2006			okt 2006				nov 2006				des 2006			
					20.8	27.8	3.9	10.9	17.9	24.9	1.10	8.10	15.10	22.10	29.10	5.11	12.11	19.11	26.11	3.12	10.12
1	1.1 Litteratursøk	21.08.2006	06.11.2006	11,2w																	
2	1.2 Forstudierapport	21.08.2006	11.09.2006	3,2w																	
3	Innlevering forstudierapport	11.09.2006	11.09.2006	0w																	
4	2.1.1 Beskrive ruteoppbygging	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
5	2.1.2 Beskrive materiell hos NSB	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
6	2.1.3 Beskrive logistikk og energi	11.09.2006	09.10.2006	4,2w																	
7	2.2.1 Utarbeide analyseforslag	09.10.2006	16.10.2006	1,2w																	
8	3 Statusrapport	16.10.2006	23.10.2006	1,2w																	
9	Innlevering statusrapport	23.10.2006	23.10.2006	0w																	
10	2.2.2 Beskrive analysemetoder	09.10.2006	30.10.2006	3,2w																	
11	2.2.3 Beskrive energianalyser	23.10.2006	06.11.2006	2,2w																	
12	2.3.1 Planlegge analysegjennomføring	09.10.2006	13.11.2006	5,2w																	
13	2.3.2 Utføre analyse	06.11.2006	20.11.2006	2,2w																	
14	2.3.3 Resultater og diskusjon	06.11.2006	04.12.2006	4,2w																	
15	4 Ferdigstilling og redigering	04.12.2006	03.04.2007	17,4w																	
16	5 Prosjektstyring	21.08.2006	19.12.2006	17,4w																	
17	Innlevering prosjekt	19.12.2006	19.12.2006	0w																	

Ny tidsplan

ID	Task Name	Start	Finish	Duration	aug 2006		sep 2006			okt 2006				nov 2006				des 2006			
					20.8	27.8	3.9	10.9	17.9	24.9	1.10	8.10	15.10	22.10	29.10	5.11	12.11	19.11	26.11	3.12	10.12
1	1.1 Litteratursøk	21.08.2006	06.11.2006	11,2w																	
2	1.2 Forstudierapport	21.08.2006	11.09.2006	3,2w																	
3	Innlevering forstudierapport	11.09.2006	11.09.2006	0w																	
4	2.1.1 Beskrive ruteoppbygging	11.09.2006	06.11.2006	8,2w																	
5	2.1.2 Beskrive materiell hos NSB	11.09.2006	06.11.2006	8,2w																	
6	2.1.3 Beskrive logistikk og energi	11.09.2006	06.11.2006	8,2w																	
7	2.2.1 Utarbeide analyseforslag	09.10.2006	16.10.2006	1,2w																	
8	3 Statusrapport	16.10.2006	23.10.2006	1,2w																	
9	Innlevering statusrapport	23.10.2006	23.10.2006	0w																	
10	2.2.2 Beskrive analysemetoder	09.10.2006	04.12.2006	8,2w																	
11	2.2.3 Beskrive energianalyser	23.10.2006	04.12.2006	6,2w																	
12	2.3.1 Planlegge analysegjennomføring	09.10.2006	13.11.2006	5,2w																	
13	2.3.2 Utføre analyse	06.11.2006	20.11.2006	2,2w																	
14	2.3.3 Resultater og diskusjon	06.11.2006	04.12.2006	4,2w																	
15	4 Ferdigstilling og redigering	04.12.2006	03.04.2007	17,4w																	
16	5 Prosjektstyring	21.08.2006	19.12.2006	17,4w																	
17	Innlevering prosjekt	19.12.2006	19.12.2006	0w																	

C - Simuleringer

Oversiktssimulering

Dato: 19-06-06

Scenario: Skoyen_moss-energitesting

Hensikt: Få en grov oversikt over forskjell i energiforbruk ved tre-stopps- kontra to-stopps-strategi og automat kontra manuell kjøring

Beskrivelse:

Test	Dato	Klokke	Manuell/Automat	Ant. stopp	Forbruk [kW/h]
O1	19-06-06	13:14	A	2	110,14
O2	19-06-06	13:31	A	3	130,64
O3	19-06-06	13:56	M	2	88,20
O4	19-06-06	14:25	M	3	95,40

Energiforbruk ved stasjonsopphold

Dato: 18-07-06 til 19-07-06

Senario: Skoyen_moss-lokfoppfnov05trening

Hensikt: Få en oversikt over energikostnaden ved ett togstopp i lokaltrafikken for type 72.

Beskrivelse: Testen kjøres på tre forskjellige måter. Alle følger rutene fra 1120 Moss-Ski. A Stopper på alle stasjoner, mens B og C stopper kun på Sonsveien mellom Moss og Ski. B kjører raskest mulig til stasjon, mens C benytter den ekstra tiden til energieffektiv kjøring.

Simuleringer:

Test	Dato	Klokke	Manuell/ Automat	Ant. stopp	Type Kjøring	Forbruk [kWh]	Merknad
A1	18-07-06	12:04	M	6	Vanlig	385,3	
B1	18-07-06	14:14	M	3	Vanlig	322,9	
C1	18-07-06	14:51	M	3	Energi	316,9	Sifa slo inn
A2	19-07-06	10:47	M	6	Vanlig	349,8	
B2	19-07-06	12:16	M	3	Vanlig	308,7	Dødseksjon på
C2	19-07-06	14:04	M	3	Energi	278,5	
C3	19-07-06	14:41	A	3	Energi	310,7	

Utrekninger:

	A (kWh)	B (kWh)	C (kWh)
1	385,3	322,9	316,9
2	349,8	308,7	278,5
Gjennomsnitt	367,0	315,8	297,7
Reduksjon	-	51,2	69,3
Per stasjon	-	17,1	23,1

Kommentar:

- Forsøk C3 er utelatt fra utregning, pga at den er kjørt i automat
- Alle er kjørt med maksimal hastighet på 130km/t

Rutetabell og energiforbruk

Dato: 18-07-06 til 19-07-06 og 09-11-06 til 10-11-06

Scenario: Skoyen_moss-lokfoppfnov05trening

Hensikt: Sammenligne to typer rutetabell med hensyn på energiforbruk

Beskrivelse: Det kjøres etter to forskjellige rutetabeller. Den første er rute 1120 Moss-Ski. Den andre er en litt endret versjon av denne ruten, der det er benyttet prinsippet ”skyggetabell” og tidsbufferen er litt forskjøvet.

Rutetabeller:

Rute 1120 Moss-Ski:

Stasjon	Stopp	Inn	Ut
Moss	X		11.14
Sandbukta			17
Kambo	X		19
Sonsveien	X		22
Hølen			24
Vestby	X		29
Ås	X		34
Ski	X	41	42

Ny versjon av 1120 med "skyggetabell" og forskjøvet buffer:

Stasjon	Stopp	Inn	Ut
Moss	X		11.14
Sandbukta		17	17
Kambo	X	19	20
Sonsveien	X	22	23
Hølen		25	25
Vestby	X	29	30
Ås	X	34	35
Ski	X	41	42

Simuleringer:

Test	Dato	klokke	lokfører	Manuell/automat	Ant. Stopp	Type	Forbruk [kWh]	Kjøretid	Merknad
V1	18.07.2006	12:04	1	M	6	Vanlig	385,3	1297	
V2	19.07.2006	10:47	1	M	6	Vanlig	349,8	1342	
V3	26.07.2006	14:15	1	M	6	Vanlig	330,1	1433	
V4	26.07.2006	14:56	1	M	6	Vanlig	354,5	1368	1 ATC brems
V5	09.11.2006	14:32	2	M	6	Vanlig	351,9	1345	
V6	09.11.2006	15:54	2	M	6	Vanlig	331,7	1438	
V7	10.11.2006	10:25	3	M	6	Vanlig	349,6	1354	
S1	10.11.2006	12:10	1	M	6	Skygge	319,2	1444	
S2	10.11.2006	13:45	1	M	6	Skygge	312,1	1405	
S3	09.11.2006	15:09	2	M	6	Skygge	330,6	1476	
S4	10.11.2006	11:26	3	M	6	Skygge	312,7	1464	
S5	10.11.2006	13:30	3	M	6	Skygge	307,1	1454	

Utrekning:

Gj Snitt	Forbruk [kWh]	Kjøretid [s]
Vanlig	342,6	1382,4
Skygge	316,3	1448,6
Endring	7,67 %	4,79 %

Kommentarer:

- V1 og V2 er de samme simuleringene som A1 og A2 i 0
- V1 er ikke med i utregningen, siden denne har langt høyere forbruk enn de andre i samme kategori
- V4 er ikke med i utregningen, siden denne er utsatt for en ATC brems

D - Materiell i NSB (lokaltrafikk i Oslo området)

Type 69 A-E

Antall hos NSB:	83
Antall vogner:	2-3
Vekt:	83-139 tonn
Sitteplasser:	189-306 seter
Største hastighet:	130 km/h
Bygd år:	1970-1993



Type 70

Antall hos NSB:	16
Antall vogner:	4
Vekt:	206 tonn
Sitteplasser:	246 seter (Noe variasjon pga. ulike varianter)
Største hastighet:	160 km/h
Bygd år:	1991-1996



Type 72

Antall hos NSB:	36
Antall vogner:	4
Vekt:	202 tonn
Sitteplasser:	317 seter
Største hastighet:	160 km/h
Bygd år:	2001-2005



Type 73B

Antall hos NSB:	6
Antall vogner:	4
Vekt:	215 tonn
Sitteplasser:	242 seter
Største hastighet:	210 km/h
Bygd år:	2001



El 18 + B5

Antall:	58 B5 vogner, 4 BC vogner, 20 BF14 vogner, 22 EL 18 (Et sett består av 6 B5, 1 BC5, 1 BF og 1 EL 18)
Vekt:	41,5 tonn per vogn (B5)
Sitteplasser:	66 seter per vogn (B5)
Største hastighet:	160 km/h
Bygd år:	1977-1981 (B5)



E – Resultater fra Regnearksimulering

Resultater fra en regnearksimulering av Øyvind Gebhardt fra Entro nova AS:

Resultater

Kjøring 2000 m, T69	Tid	Forbruk	Bemerkninger	
	Sekunder	kWh	Avvik	
Full aks, full brems, 100km/t,	101	19,6	0 %	Kan stå 5 sekunder lengere på stasjonen
Full aks, full brems, 90 km/t	106	16,4	-16 %	Lavere topphastighet gir lavere forbruk, men større tidsforbruk
Full aks, full brems, rulle inn	103	16,9	-14 %	Rullingen kan ikke utnyttes, for kort distanse, må bremse likevel
Full aks, full brems, oppbremsing	106	28,3	44 %	Aks, brems, aks, brems gir "worst case" kjøring
Full aks, full brems, elbrems	106	10	-49 %	Eventuell tilbakemating av energi er svært besparende
Ekstrem aks, ekstrem brems, 84 km /t	106	13,8	-30 %	Stor påkjenning på materiell, kanskje ubehagelig


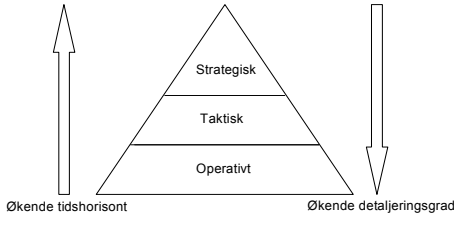

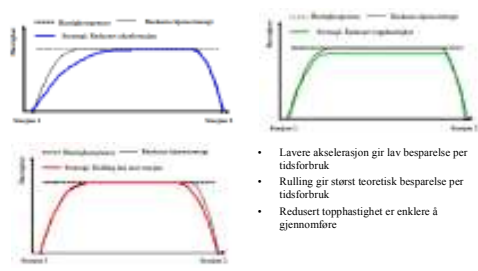
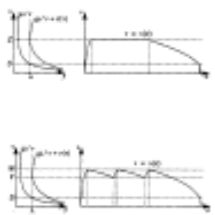
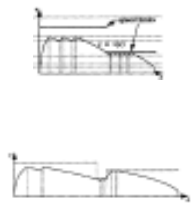
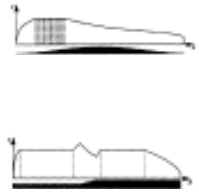
Beregning av besparelser på ett år per togsett.



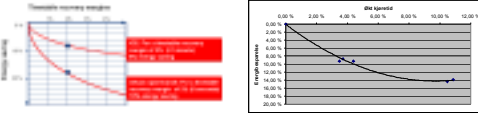

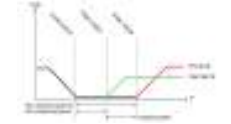
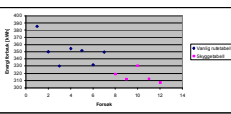



Regner at et togsett har 40 stopp mellom Ski og Skøyen og at disse trafikkerees 15 ganger per dag 2 ganger., 360 ganger i året.

$$10 \text{ kWh} \times 0,5 \text{ kr} \times 40 \text{ stopp} \times 15 \text{ ganger per dag} \times 360 \text{ dager}$$

$$1080000 \text{ kr}$$

F – Presentasjon for NSB 05-12-06

<p>Energisparing</p> <ul style="list-style-type: none"> Planleggingshierarki Kjørestراتيجier <ul style="list-style-type: none"> Optimale kjørestراتيجier Potensial i Norge Rutetabell Innkjøp Analysemetoder for energibruk 	<p>Planleggingshierarki</p> 
<p>Planleggingshierarki/energiparing</p> <ul style="list-style-type: none"> Strategisk: Over 1. år <ul style="list-style-type: none"> Innkjøp av materiell Rutevalg Taktisk: 1. år før ny rutetermin <ul style="list-style-type: none"> Rutetabell Materiellbruk Operativt: Gjeldene rutetermin <ul style="list-style-type: none"> Kjøreteknikk 	<p>Operativt: Kjørestراتيجier</p>  <ul style="list-style-type: none"> Lavere akselerasjon gir lav besparelse per tidsforbruk Rulling gir størst teoretisk besparelse per tidsforbruk Redusert topphastighet er enklere å gjennomføre
<p>Konstant hastighet</p>  <ul style="list-style-type: none"> Teoretisk er full akselerasjon – rulling "billigst" Hastighetsgrenser vil gjøre dette vanskelig 	<p>Hastighetsbegrensing</p>  <ul style="list-style-type: none"> Rulling ned til neste hastighetsbegrensing Full akselerasjon opp til fartsgrensen
<p>Terreng</p>  <ul style="list-style-type: none"> Senking av fart for nedoverbakke Hastighetsøkning for oppoverbakke 	<p>Manuell/Automat</p> <ul style="list-style-type: none"> Simulormålinger gir lavest med Manuell Reelle målinger gir lavest med Automat Manuell er en forutsetning for flere av de energieffektive kjøreteknikkene

<p>Potensial for energieffektiv kjøreteknikk i Norge</p> <p>Energisparing ved:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hastighetsendringer • Stigning/fall • høyfrekvente ruter <p>Hastighetsendringer og stigning/fall er det <u>mye</u> av i Norge</p> <p>Lokaltrafikken i Oslo-området har høyfrekvente ruter</p> 	<p>Taktisk: Rutetabell- og materiellplanlegging</p>  <p>Hva kan påvirke energiforbruket?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kjøretid • Stoppmønster • Alternative ruteoppsett • Bruk av eksisterende materiell
<p>Kjøretid</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Energibesparelse som en funksjon av økt kjøretid • 4% lengre kjøretid gir 8-10% energibesparelse • All planlagt kjøretid bør benyttes til kjøring, ikke stasjonsopphold 	<p>Stoppmønster</p> <p>Et ekstra stopp vil koste (0,5 kr/kWh):</p> <ul style="list-style-type: none"> • 8,5 kr (med tidsbesparelse) • 11,5 kr (med energieffektiv kjøreteknikk) • Vil ett stopp lønne seg? <ul style="list-style-type: none"> • Passasjerer • Tidsforbruk • Energiforbruk <p>40 stopp daglig gir 10200 kr/mnd</p> 
<p>Alternativt ruteoppsett</p>  <p>Skyggetabell</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rutetabell for reisende viser inkomsttid for tog • Fokus på riktig innkjør • Fleksibelt utkjør  <p>Fordeler:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energisparing utenfor rushtid • Tog kjører ikke før det skal • Bedre punktlighet 	<p>Bruk av eksisterende materiell</p>   <ul style="list-style-type: none"> • Vekt • Luftmotstand • Akselerasjon • Topp hastighet • Motorbrems • Stasjonsopphold <ul style="list-style-type: none"> - Døråpning/lukking - Passasjerer inn/ut - Avgangprosedyre
<p>Strategisk: Innkjøp av materiell</p>  <ul style="list-style-type: none"> • Viktig med LCC tankegang (Life Cycle Cost) <p>Fokus på:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vekt • Luftmotstand • Akselerasjon • Topp hastighet • Motorbrems • Stasjonsopphold 	<p>Energianalyser</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regnearkmodell (teoretisk) • Energimålinger på tog (praktisk) • Simulator (kombi) 