



Energiøkonomisering i  
Banestrømforsyning og  
togframføring

**Prosjekt nr.:**

**Rapport:** 1

**Oppdragsgiver:** P-divisjonen  
B-divisjonen  
S-divisjonen - fremføring

**Prosjekt:** Energiøkonomisering i banestrømforsyning og rullende materiell.

**Dato:** Mai 94

---

**Rapporten omhandler:**

Formålet er å gå gjennom alle ledd i banestrømforsyningen og brukere av elektrisk energi i rullende materiell med hensikt å liste opp mulige energiøkonomiseringstiltak.

**For NSB - Utvikling og Teknikk**

**Prosjektleder:**

  
Sverre Kloster

**Rapport utarbeidet av:**

  
Sverre Kloster

  
Jan Petter Haugli

**Innholdsfortegnelse:**

1. **Sammendrag. Forslag til videre arbeid.**
2. **Innledning.**
  - 2.1 Bakgrunn.
  - 2.3 Hensikt og målsetning med prosjektet.
  - 2.4 Organisering.
  - 2.5 Trender i utviklingen av energiforbruk og enøk.
3. **Generelt.**
  - 3.1 Forbruk av elektrisk kraft og energikontrakter.
    - 3.1.1 Prisutvikling elektrisk kraft.
    - 3.1.2 Energikontrakter.
    - 3.1.3 Forventet prisutvikling på elektrisk kraft.
    - 3.1.4 Transportarbeid med elektrisk trekraft (1992).
4. **Stasjonære anlegg.**
  - 4.1 Innledning.
  - 4.2 Ombygging av kjølesystemet på roterende omformere.
  - 4.3 Avmagnetisere generatoren i lavlastperioder.
  - 4.4 Utnytte spillvarme fra omformerne til varmegjenvinning.
  - 4.5 Overgang til statiske omformere.
  - 4.6 Ombygging av kontaktledningssystemet.
  - 4.7 Reduserte tap i strømforsyningssystemet ved overgang til asynkronteknikk i traksjonsmateriellet.
  - 4.8 Nytt mateledningssystem.
  - 4.9 Energihusholdningsprogrammer.
  - 4.10 Overgang til 25 kV og 50 Hz strømforsyning.
  - 4.11 Stasjonære togvarmeanlegg. Vurdering av enøk-tiltak.
  - 4.12 Elektrisk sporvekseloppvarming.

## 5. Rullende materiell.

### 5.1 Generelt.

### 5.2 Spesifikt energiforbruk ved elektrisk banedrift.

### 5.3 Trekkaggregater.

#### 5.3.1 Tilbakemating av bremseenergi. Nettbremse.

#### 5.3.2 Forbedring av trekkraftaggregatets effektfaktor (se også pkt. 4.7).

#### 5.3.3 Reduksjon av forbruk på hjelpeutstyr.

#### 5.3.4 Vektreduksjon.

#### 5.3.5 Aerodynamisk front lok/vgn.

#### 5.3.6 Virkningsgrad på trekkaggregater.

### 5.4 Vognmateriell.

#### 5.4.1 Kjøremotstand. Generelt.

#### 5.4.2 Godsvogner, kjøremotstand, energibehov.

#### 5.4.3 Personvogner, kjøremotstand, energibehov.

#### 5.4.4 Enøk i personvogner.

#### 5.4.5 Krengetog.

#### 5.4.6 Vektreduksjon.

### 5.5 Drift.

#### 5.5.1 Energiøkonomisk kjøring. Utløpsmetoden.

#### 5.5.2 Bruk av hjelpemidler for enøk-kjøring.

#### 5.5.3 Innføring/forbedring av stasjonære tekniske anlegg.

#### 5.5.4 INFO-kampanje.

## Litteraturfortegnelse

## Vedlegg

## Sammendrag. Forslag til videre arbeid.

Bedriftsøkonomisk og miljømessig får energiøkonomisering - enøk - økende betydning. NSB ønsker å profilere seg som en miljøvennlig bedrift.

NSB er pålagt å ha en plan for enøk-tiltak og B-, P- og S-div. har gitt Su og B-div. i oppdrag å foreta en gjennomgang av energikjeden i banestrømforsyningen med tanke på enøk-tiltak.

Forprosjekt gir en oversikt over de potensielle muligheter - med et 10 års perspektiv med 1992 som basis - til enøk i banestrømforsyningen og rullende materiell. Enøk med dieseltrekraft - som utgjør 22% av det totale transportarbeid - er ikke tatt med her.

Prisen for elektrisk energi har de siste 20 år steget med 700% eller over det dobbelte av konsumprisindeksen. Det antas at trenden vil fortsette av politiske og miljømessige årsaker. For å spare energi skal prisen økes mer enn den generelle prisstigning.

NSBs forbruk av 3-fase elektrisk energi var i 1992 508 GWh ( $508 \times 10^6$  kWh) til en pris på 150 mill. kr som utgjør 3% av de totale driftskostnader.

I tabellen nedenfor er listet opp de enøk-tiltak som rapporten omhandler. Enøk-besparelser er gitt i % av det totale energiforbruk i banestrømforsyningen om 8 år med samme fordeling av transportarbeide mellom gods- og person- trafikk som i 1992.

Resultatet av arbeidet er at de samlede potensielle muligheter for å redusere det spesifikke energiforbruk (pr. tkm) er 32% innen år 2002. Som et realistisk mål foreslås 25%. Dette betyr en besparelse på 40 mill. kr/år etter dagens pris og transportarbeid.

En besparelse på 25% innen 8 år vil ikke være "lineær". Ved aktiv innsats anslås at 20% besparelse allerede vil kunne oppnås etter 4 år.

Det synes som at en realistisk besparelse ved dieseldrift om 4 år er 15% som utgjør 10 mill. kr. Dette gir en samlet besparelse på 50 mill. kr pr. år for å utføre dagens transportarbeid på skinner ved NSB.

Det må presiseres at for å oppnå en høy besparelse, må mange av tiltakene starte allerede nå, f.eks. må det stilles skjerpede krav til enøk på nye anlegg og nytt rullende materiell.

			Prosent:
Pkt.	4.2	Ombygging av kjølesystem i omform.	0,33
"	4.3	Avmagnetiser gen i lavlastperioder	0,42
"	4.4	Utnytte spillvarme	4,35
"	4.5	Overgang til statiske omformere	0,67
"	4.6	Ombygging av kontaktledning	0
"	4.7	Redusert tap pga. bedret effektfaktor	0,29
"	4.8	Nytt mateledningssystem	0
"	4.9	Energihusholdningsprogram	0
"	4.11	Stasjonær togvarme	0,5
"	4.12	Elektrisk sporvekselvarme	
"	5.3.1	Nettbremse	15
"	5.3.3	Reduksjon av forbruk til hjelpeutstyr	4
"	5.4.3	Persontog - kjøremotstand	0
"	5.4.4	Enøk - personvogner	1,5
"	5.5.1	Økonomisk kjøring - utløpsmetoden	10
"	5.5.3	Forbedring av stasjonære anlegg	1
"	5.5.4	INFO-kampanje	1
			~ 39
"	5.4.2	Godsvogner - kjøremotstand. Øket hastighet og forbruk	- 7
		Sparepotensial	<u>32%</u>

1)

1) Energien til sporvekselvarme tas i det vesentligste fra det ordinære 50 Hz strømforsyningsnett. Har et stort potensiale for energisparing.

**Forslag til videre arbeid:**

Vedtatt en målsetting om å spare 25% energi innen 2002 - og 20% om 4 år - vil dette ikke oppnås uten en aktiv innsats og oppfølging. Det foreslås derfor:

- Innstillingen gis raskest mulig en administrativ behandling der målsettingen for det videre enøk-program fastlegges. Arbeidsgruppen foreslår 25% som et realistisk mål.
- Det startes et nytt og utvidet enøk-prosjekt og det utnevnes en felles prosjektleder for det videre arbeid.
- Det nye prosjektet skal bl.a. også omfatte:
  1. Et forprosjekt for dieseldrift på samme måte som for elektrisk banedrift.
  2. Initiere en gjennomgang av regnskapssystemet med sikte på at energikostnadene blir mere synlige.
  3. Påbegynt varmegjenvinningsanlegg i Bergen omformerstasjon ferdigstilles eventuelt ved bruk av FoU-midler.
  4. Sparekampanje om enøk-tiltak.
  5. Initiere opplæring av lokomotivførere i økonomisk kjøring .
  6. Være rådgiver om enøk ved nyanskaffelser av rullende materiell og anlegg i banestrømforsyningen.

## 2. Innledning.

### 2.1 Bakgrunn.

Enøk er et område som får økende betydning og oppmerksomhet fra NSB og samfunnet forøvrig. NSB ønsker å fremstå som en miljøvennlig bedrift, og det har derfor betydning at energiforbruket pr. transportenhet, personkilometer og/eller tonnkilometer er lavest mulig. Dette vil også ha betydning for driftsøkonomien. Prisen på elektrisk energi har over tid steget mer enn konsumprisindeksen, en trend som antas å ville fortsette blant annet av politiske årsaker. For å spare energi, skal prisen opp. Enøk får derfor økende betydning både av miljøhensyn og bedriftsøkonomiske årsaker. NSB er tidligere, i forbindelse med fornyelsen av statskraftavtalen pålagt å arbeide med energiøkonomisering innenfor sitt område.

Det pågår tiltak i banestrømforsyningen og togfremføring ved NSB, men det synes nå som det er et behov for en fornyet og samlet gjennomgang innen dette felt, blant annet i lys av den tekniske utviklingen.

#### Hensikt og målsetning med prosjektet

Prosjektet begrenser seg til enøk innen banestrømforsyning og togdrift. Togdrift med diesel-materiell tas ikke med. Prosjektet er et forprosjekt og vil vurdere alle ledd i energikjeden med henblikk på enøk - fra energien mottas og måles før omformingen til 16 2/3 Hz og til bruken på rullende materiell. Prosjektet tar sikte på å liste opp det samlede energispare-potensialet for hele kjeden og med et tidsperspektiv på 10 år, med utgangspunkt i 1992. Investeringsanslag for å oppnå enøk-tiltak vil bli tatt med.

I de fleste tilfeller vil en bare kort kunne omtale de enkelte energisparetiltak og referere sammendrag og konklusjoner. Henvisninger til vedlagte litteraturliste vil bli gjort med [ ].

#### Organiseringen av forprosjektet

Forprosjektet berører flere divisjoner, og arbeidet er utført for B-div., P-div. og St av:

Sverre Kloster      Su      -      Prosjektleder  
Jan Petter Haugli    Bts

#### Trender i utviklingen av energiforbruk og enøk.

Ved alle europeiske jernbaneforvaltninger arbeides det med tiltak for å senke energiforbruket. Jernbanens egen forskningsorganisasjon ERRI(ORE) har arbeidet mye på området, og en rekke rapporter er gitt ut. Videre finnes endel litteratur på området.

Noen transportpolitiske grunner fører til at det spesifikke energiforbruket øker. For å beholde eller høyne markedsandeler i persontrafikk, skal reisehastigheten økes, og transporttiden i godstrafikk senkes. Dette øker energiforbruket. På samme måte vil økt krav til komfort i personvogner, f.eks klimaanlegg og annet forbruk i vogner, øke



energiforbruket. Dette vil bli behandlet nærmere under de enkelte punkter om energisparetiltak.

### 3.1 Forbruk av elektrisk kraft og energikontrakter.

#### 3.1.1 Prisutvikling elektrisk kraft.

NSBs forbruk av elektrisk kraft i millioner kWh fra 1970 til 1992 er vist i fig. 1.

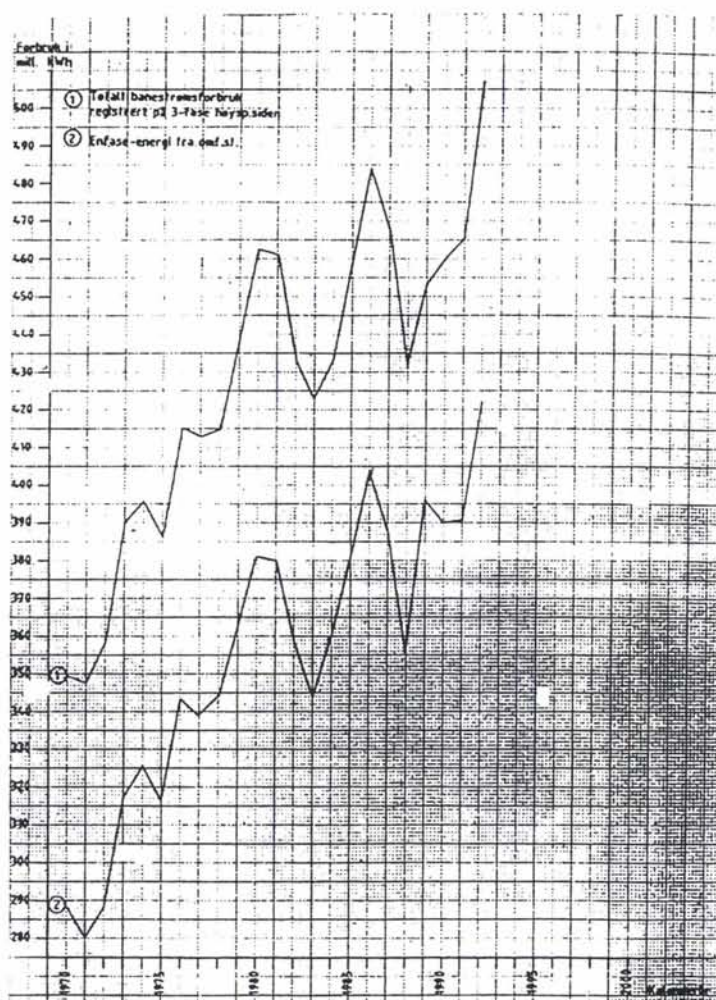


Fig. 1. NSBs forbruk av elektrisk kraft samt generert énfase-energi mellom 1970 og 1992.

I 1992 kjøpte NSB 507 789 MWh til en kostnad av 148 mill. kr. Norges samlede produksjon i 1992 var på 117 502 GWh. Det vil si at NSB forbrukte 0,43% av landets totale elektrisitetsproduksjon.

Figur 2 viser utviklingen i kostnadene for NSBs kraftkjøp i perioden 1978 til 1992. NSBs kostnader for kraftkjøp går opp som en følge av økt forbruk og økte priser og avgifter. Det vil derfor være viktig for NSB å minimalisere energiforbruket og fortløpende vurdere energiøkonomiserende tiltak. Ved raskere økning i prisene på elektrisk kraft forkortes nedbetalingstiden for de enøk-tiltakene som gjennomføres.

Prisfallet i kraftkjøpet for 1992 skyldes overgang til ny energilov.

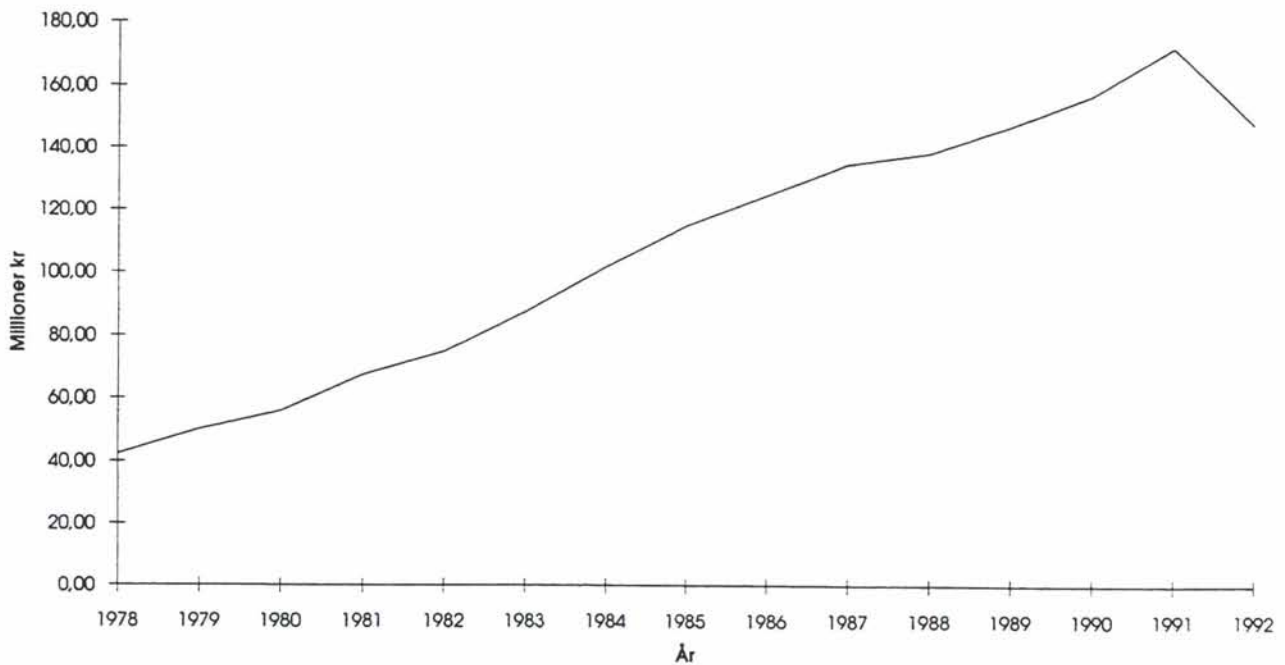


Fig. 2. NSBs årlige kraftkjøp i kroner/år for perioden 1978 til 1992.

Prisen på elektrisk kraft bestemmes av markedspris og avgifter. En sammenligning mellom prisutvikling på elektrisk kraft og prisutviklingen i samfunnet forøvrig gir to helt ulike kurver. Mellom 1970 og 1990 økte konsumprisindeksen med 336%. I 1970 betalte NSB 4,91 ø/kWh, i 1990 var prisen 34,57 ø/kWh. Over samme 20-årsperiode steg prisen på elkraft med 704%! **Med andre ord: prisen på elkraft har i denne 20-årsperiode økt mer enn dobbelt så mye som det generelle prisnivået i samfunnet.**

Figur 3 viser den prosentvise utviklingen i NSBs forbruk og prisutviklingen på elektrisk kraft referert til 1978.

Figur 3 viser tydelig at forbruket i % er relativt konstant, mens prisene øker. En viktig del av forklaringen på denne utviklingen er økte avgifter, og alt taler for at den kommer til å fortsette. Bakgrunnen for dette er at det fra politisk hold foreligger et ønske om å spare energi av miljøhensyn.

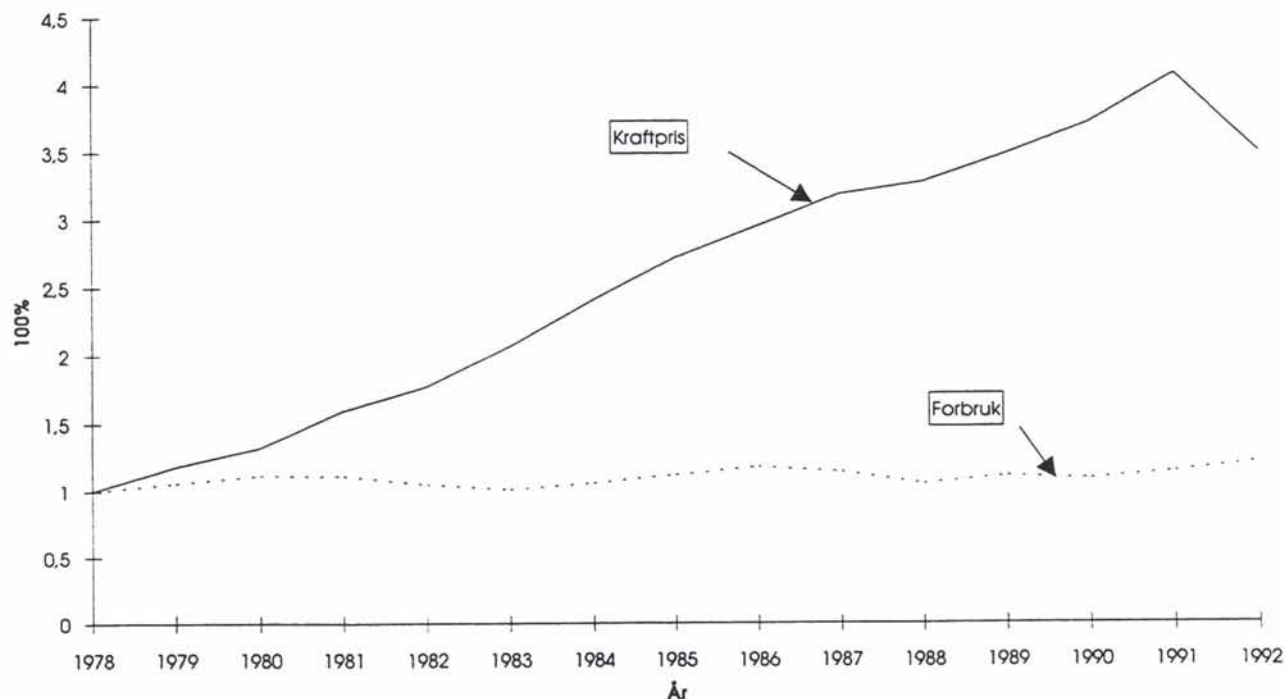


Fig. 3. Prosentvis utvikling av forbruk og pris på elektrisk kraft referert til 1978.

### 3.1.2 Energikontrakter.

Den nye energiloven har endret energimarkedet radikalt og åpnet for direkte forhandlinger mellom kunde og leverandør om priser. NSBs energikontrakter er, som for alle andre kjøpere av elektrisk kraft, todelt: en energiaftale og en overføringsavtale.

Energiavtalen inngås med kraftprodusentene, og er forhandlingsbar hva gjelder priser og leveransegarantier. Man betaler etter energiforbruk, og prisen er fastsatt i antall øre/kWh.

Overføringsavtalene må inngås med den netteier som har områdekonsesjon for det område hver enkelt omformerstasjon er plassert i. Overføringsavtalene er ikke forhandlingsbare i og med at en er innenfor et område der lokal netteier har monopol. Urimelige overføringstariffer kan innklages til Norges Vassdrags og Elektrisitetsverk.

Overføringsavtalene består av blandet tariff, som betyr at den inneholder effektledd og energiledd. Effektleddet skal i prinsippet dekke netteiers kostnader som kan knyttes til lasttopper. Det er stor variasjon blant netteiere for hvordan effektleddet defineres. Noen netteiere "premierer" NSB for å ha maksimallast om natten, mens andre kun ser på gjennomsnittlig kW-uttak over én time, uavhengig av årstid og tid på døgnet.

Energileddet skal gjenspeile alle netteieres overføringstap fra sentralnettet og fram til omformerstasjon. Et poeng her er at NSB kun skal forholde seg til én netteier, dvs. den netteier som har områdekonsesjon. NSB ser alle netteierens overføringstap i form av en samlet kostnad (energileddet).

### **3.1.3 Forventet prisutvikling på elektrisk kraft.**

Energiprisen har frem til 1992, da virkningen av energiloven ga utslag på energiprisene, vært jevnt stigende. Etter prisfallet i 1992 er det all grunn til å regne med at energiprisene kommer til å stige igjen. Hvordan prisutviklingen slår ut for NSB er avhengig av hvilket marked NSB kommer til å gå inn på. Kalde vintre med høyt forbruk og knapp tilgang på energi gir høye priser på spotmarkedet og man taper penger i forhold til å ha faste leveringsavtaler. Det motsatte vil kunne skje under år med stort overskudd på energi. Uansett vil man med tiden ha stigende priser på elektrisk energi.

Anta prisen mellom 1992 og 2002 utvikler seg i prosent likt med perioden 1978 og 1988, dvs. en prisøkning på 327%. I 1992 var kWh-prisen rundt regnet 30 øre. I 2002 skulle prisen på 1 kWh bli 98 øre. NSBs transportarbeid, i form av brutto tonn-kilometer, antas i denne perioden å være tilnærmet konstant. Det vil si at NSBs forbruk i 2002 er uten enøk som i dag 508 000 MWh. Det er disse tallene som danner grunnlaget for alle beregninger av kostnader og forbruk om 10 år. I dette forprosjektet er 1992 referanseåret, og 10 år fremover er regnet fra 1992.

### **3.1.4. Transportarbeid med elektrisk trekkraft (1992).**

I vedlegg 1 er vist en sammenstilling fra statistisk kontor for det totale utførte transportarbeid, fordelt på persontrafikk og godstrafikk, og fordelt på diesel- og elektrisk drift. Vedlegg 2 viser utført transportarbeid for årene 1990-1993.

**Bruttotonnkilometer 1992 (1000)**Persontrafikk:

Lokomotiver	787 825	
Lokomotiver ass.	9 983	
Personvogner	<u>2 614 574</u>	
	3 412 382	
-diesel på el.strekn.	41 154	3 371 228
Motorvogner	533 009	
Styrevogner	380 448	
Mellomvogner	<u>113 309</u>	<u>1 026 766</u>
SUM Persontog		<u>4 397 994</u>

Godstrafikk:

Ialt inkl. arbeidstog 5 905 785

Samlet transportarbeid el.drift 10 303 779

Samlet transp.arb. diesel og el.drift 13 150 500

dvs. at 78% av transportarbeidet utføres med elektrisk banedrift.

Energiforbruk

NSB kjøpte i 1992 507 789 MWh og leverte 422 676 MWh  $\approx$ 423 GWh, som enfasenergi 16 2/3 Hz fra matestasjoner.

Dette gir et gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk for elektrisk banedrift på:  
 $422.676 / 10\,304 = 41 \text{ Wh/tkm}$ .

Transportarbeidet med elektrisk drift fordeles med 57% på godstrafikk og 43% på persontrafikk.

Regnes spesifikt energiforbruk for godstog til 35 Wh/tkm, blir samlet energiforbruk for:

Godstog:  $5.9 \times 35 = 206 \text{ GWh}$

Persontog:  $425 - 206 = 217 \text{ GWh}$

Gjennomsnittlig spesifikt forbruk for persontog blir da:

$217 \cdot 10^9 / 4 \cdot 397 \cdot 10^9 \approx 50 \text{ Wh/tkm}$

Regnes at 10% av forbruket i persontog går til togvarme, se 5.4.4, utgjør dette ca 5% av det totale energiforbruk.

## 4. Stasjonære anlegg.

### 4.1 Innledning.

Av roterende omformere har NSB i dag 49 mobile og 8 stasjonære. De mobile omformerne fordeler seg med hensyn til ytelser slik:

- 32 stk à 5,8 MVA
- 9 " " 7 MVA
- 8 " " 10 MVA

De stasjonære omformerne fordeler seg slik:

- 5 stk à 3,8 MVA
- 2 " " 7 MVA
- 1 " " 10 MVA

I tillegg finnes 2 statiske omformere à 14 MVA i Sarpsborg. Disse omformerne er stasjonære.

I kapitlene 4.2, 4.3, 4.4 og 4.7 som berører roterende omformere, har man kun konsentrert seg om mobile 5,8 MVA omformere, fordi disse er desidert flest i antall. Merk derfor at i disse kapitlene er, der annet ikke er sagt, alle totalsummer basert på disse 32 om- formerne, og ikke på NSBs totale omformerpark.

I absoluttverdier vil besparelsene i kWh og kroner øke med økende ytelser på omformerne. Den prosentvise besparelsen pr. omformer vil derimot avta med høyere ytelser fordi virkningsgraden forbedres ved større ytelser.

Det er for visse tiltak vanskelig å bedømme nytte og potensiell energibesparelse. Disse kapitlene vil ikke ha samme omfang som de andre. Dette gjelder spesielt kapittel 4.8 og 4.9.

Gjennomføres tiltak under pkt. 4.2 og 4.3 vil sparepotensialet for 4.4 - utnyttning av spillvarme - reduseres.

### 4.2 Ombygging av kjølesystemet på roterende omformere.

Bakgrunn:

De roterende omformerne som NSB benytter i dag til frekvensomforming, består av en elektrisk motor og en generator som sitter på samme aksling. Både motor og generator er luftavkjølte. Avkjølingen gjøres ved hjelp av vifteblader som er fastmontert på rotor. Det medfører at kjøleluftmengden er konstant og uavhengig av motorens og generatorens belastning.

## Tiltak:

Man kan endre kjølesystemene i omformerne. Endringer må da gjøres i både omformerne og den faste stasjonsutrustningen. I omformerne fjernes en del av viftebladene som gir tvungen kjøling. Viftebladene som tas bort, kompenseres med et eksternt system som kan regulere kjøleluftmengden gjennom omformerer. Reguleringen skal, på bakgrunn av måleverdier, sørge for at det ikke passerer mer kjøleluft enn nødvendig. Dette systemet blir en del av den faste stasjonsutrustningen.

Vifteblader for tvungen kjøling av dempeviklingene kan ikke fjernes. Årsaken er raske temperatursvingninger i dempeviklingene som i sin tur er en følge av lastvariasjoner som gir korte perioder med pendlinger i rotorposisjon. Disse raske temperatursvingningene må kjøles ned umiddelbart og krever tvungen kjøling. De store konstruksjonsendringer det her er snakk om, kan bare gjøres i forbindelse med hovedrevisjoner.

## Kostnader:

Merk at de foreslåtte konstruksjonsendringer i dette kapittel er helt grunnleggende og berører konstruksjonsdetaljer som bare maskinkonstruktøren sitter inne med. Rammebetingelsene, som f.eks. minstekrav til tvungen luftkjøling av dempeviklinger, må settes av maskinkonstruktøren. Videre må maskinkonstruktøren sette kravene til utførelse og dimensjonering av det eksterne kjølesystemet.

Kravene til det eksterne kjølesystemet er for omfattende til å inngå i dette forprosjektet. Det foreslås imidlertid at dette utredes nærmere i samarbeid med både leverandør av omformerne og med en leverandør av ventilasjonssystemer.

Kostnad for ombygging av omformerne fås med størst mulig sikkerhet gjennom et prisoverslag fra leverandør både på arbeid og materiale. De kostnader som angis her, er rene anslag.

Utviklingskostnad (engangsbeløp):	1 000 000 NOK
Materiale (pr. omformer):	10 000 NOK
Arbeid (pr. omformer):	25 000 NOK

## Sparepotensialet:

Sparepotensialet som beregnes nedenfor, gjelder for én omformer. Alle måleverdier er hentet fra prøveprotokoll for 5,8 MVA omformerne. Prøveprotokollene er fra målinger utført hos leverandøren.

De totale tapene for omformerer er målt mellom målepunktene i fig. 1.

Friksjonstapene består av lagertap og luftmotstand i kjøleviftene. Det er antatt at lagertapene er neglisjerbare i denne sammenhengen. I gjennomsnitt er driftstiden for én omformer ca 6500 timer/år.

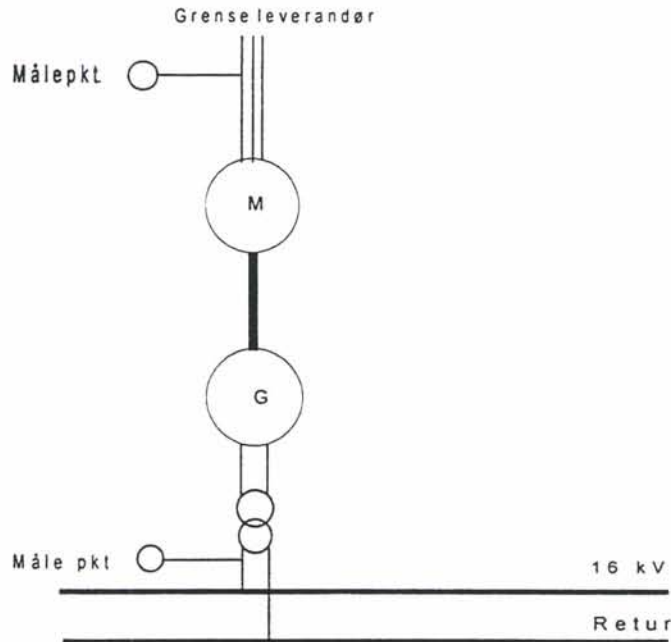


Fig. 1. Målepunkter for beregning av virkningsgrader på roterende omformere.

Videre er det antatt at 1/3 av driftstiden går omformererne på tomgang eller med så lav belastning at ekstra kjøleluftmengde ikke er påkrevet. Tomgangstid for omformerne varierer med de lokale belastningsforhold. Her er det antatt at den gjennomsnittlige tomgangstiden for samtlige 5,8 MVA omformerne i landet er 1/3 av driftstid.

Følgende målinger og forutsetninger gjelder:

Friksjonstap:	55 kW
Driftstid:	6500 t/år
Tomgangstid:	1/3 av driftstid
Totalt energiforbruk 1992:	507 GWh

Friksjon i tomgang i % av totalt energiforbruk:	0,02
--	------

Energitalp i tomgang som følge av friksjon pr. år:	120 MWh
---	---------



Energitalpet på 120 MWh pr. omformer og år utgjør mer enn det reelle sparepotensialet. Årsaken til det er, som nevnt, at man må beholde et visst antall vifteblader for kjøling av dempeviklingene på generator. Antar man at fordelingen av friksjonstapene mellom hovedvifte og vifteblader for kjøling av dempeviklingen er 70/30, og at hele hovedviften kan fjernes, blir sparepotensialet = 84 MWh/år.

Hvor mye energi som spares på termostatstyrt kjøling er avhengig av hvor mye omformerne går på tomgang. Ved økende belastning og mindre tomgang, som følge av øket trafikk tetthet, vil sparepotensialet reduseres.

I tabell 1 er vist sparepotensial pr. omformer, totalt sparepotensial, dvs. ombygging av samtlige 5,8 MVA omformere og årlig energibesparelse om 10 år. Det er antatt at man om 10 år har bygget om 20 stykk 5,8 MVA omformere.

	Sparepotensial pr. omformer:	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
MWh/år	84	2 688	1 680
% av tot. forbruk	0,016	0,53	0,33

Tabell 1. Sammenstilling av sparepotensialet for friksjonstap i roterende omformere.

#### Konklusjon, avsnitt 4.2:

I 1992 kostet de totale friksjonstapene i tomgang 806 000 kroner. Med kWh-pris i 2002 på 98 øre og 20 ombygde omformere, gjør man en årlig besparelse i energikostnadene på 1,65 mill. kr.

Investeringskostnadene for ombygging av 20 omformere er 1,7 mill. kr. Det betyr at investeringen i omformerne er inntjent i løpet av 3,5 år med kWh-pris på 30 øre. NB, investeringskostnaden i den faste stasjonsutrustningen inngår ikke! Med kraftpriser over 30 øre/kWh forkortes inntjeningstiden.

### 4.3 Avmagnetisere generatoren i lavlastperioder.

#### Bakgrunn:

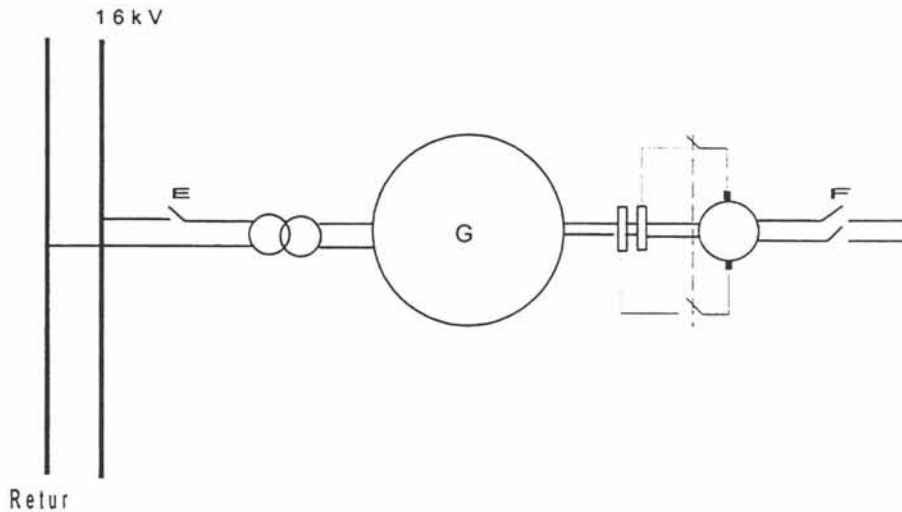
Når omformerer går i tomgang i påvente av en lastøkning, vil man ha tap i generatoren som en følge av at denne er magnetisert. Dette er en hensiktsmessig måte å kjøre omformerer på om lastøkningen forventes i løpet av kort tid. Ved lengre tomgangsperioder kan det være mer hensiktsmessig å avmagnetisere generatoren for å unngå tapene dette gir. Maskinen beholder synkront turtall og er i fase med nettet dersom dette ikke har vært nede og bygget opp på nytt.

Generatoren avmagnetiseres ved å legge ut E-bryter og feltbryter for feltmaskinens felt (F), se fig. 2. Før gjeninnkopling mot nettet må fasen kontrolleres. Innkoplingstid uten innfasing mot nettet er ca 10 sek.

Dersom maskinen må fases inn, gjøres det med redusert spenning, og man får en innkoplingstid på max 50 sek. Til sammenligning er innkoplingstiden fra stillstand ca 2 minutter.

## Tiltak:

F-bryter er i dag ikke direkte fjernkontrollert. F-bryter inngår i sekvensen for automatisk start og stopp av omformer. F-bryter må kunne manøvreres direkte fra elkraftsentralen.



*Fig. 2. Generator og feltmaskin med aktuelle brytere.*

## Kostnader:

Arbeidet med disse konstruksjonsendringene legges til det resterende arbeidet som gjøres i forbindelse med hovedrevisjon av omformere. Dette arbeidet kan derfor sies å inngå i hovedrevisjon og utgjør ingen kostnad i form av et separat arbeid som utføres kun av hensyn til energiøkonomiseringstiltak.

Sparepotensialet:

Generatorens magnetiseringstap består av jerntap, rotortap, børstetap og feltmaskintap. Tapene er som følger:

Jerntap:	28 kW
Rotortap:	18 kW
Feltmaskintap:	3,4 kW
Sum magn. tap:	49,4 kW
Driftstid:	6500 t/år
Tomgangstid:	1/3 av driftstid
Totalt energiforbruk 1992:	507 GWh
Magn. tap i tomgang i % av totalt energiforbruk:	0,021
Energitap i tomgang som følge av magnetiseringstap pr år:	107 MWh

Tomgangstid for omformerne varierer, som sagt, med de lokale forhold. Også her er det antatt at tomgangstiden er 1/3 av driftstid.

Sparepotensialet er lik energitap som følge av magnetiseringstapene pr. år (=107 MWh/år).

I tabell 2 er vist sparepotensial pr. omformer, totalt sparepotensial, dvs. ombygging av samtlige 5,8 MVA omformere og årlig energibesparelse om 10 år. Det er antatt at man om 10 år har bygget om 20 stykk 5,8 omformere.

	Sparepotensial pr. omformer:	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
MWh/år	107	3 425	2 140
% av tot. forbruk	0,021	0,67	0,42

Tabell 2. Sammenstilling av sparepotensialet for magnetiseringstap i roterende omformere.

#### Konklusjon, avsnitt 4.3:

I 1992 kostet de totale tapene som skyldes magnetisering i tomgang 1,03 mill. kr. Med en kWh-pris på 98 øre i 2002 og 20 ombygde omformere, spares årlig 2,1 mill. kr. Investeringskostnaden inngår i det generelle arbeidet som inngår i hovedrevisjoner.

#### 4.4 Utnytte spillvarme fra omformerne til varmegjenvinning.

##### Bakgrunn:

I forbindelse med byggingen av Bergen omformerstasjon utførte eksterne konsulenter en prosjektering av et varmegjenvinningsanlegg, se ref. [26]. Varmegjenvinningsanlegget ble aldri bygget fordi avtakere av energien ikke var villige til å være med på finansieringen. Ventilasjonssystemet som er bygget i Bergen omformerstasjon, er forberedt for å tilkoples et varmegjenvinningsanlegg.

##### Tiltak:

Varmepumper i varmegjenvinningsanlegg er generelt noe underdimensjonerte for å oppnå god totaløkonomi. I Bergen omformerstasjon er varmpumpens varmeopptak dimensjonert til 170 kW fordi dette tilsvarer tomgangstapene for en 5,8 MVA omformer.

Ventilasjons- og varmegjenvinningsanlegget består av tre hoveddeler:

- varmeanlegg, fordeling av varmt vann til forbruker
- varmegjenvinningsanlegg, varmpumpe
- ventilasjonsanlegg

Av dette er det kun ventilasjonsanlegget som er bygget.

##### Kostnader:

Prisen for de tre hoveddelene er som følger (prisenivå 1991):

varmeanlegg, fordeling av varmt vann til forbruker:	600 000 kr
varmegjenvinningsanlegg, varmpumpe:	400 000 "
ventilasjonsanlegg:	800 000 "
<b>SUM:</b>	<b><u>1 800 000 kr</u></b>

Dette er priser som gjelder for ny maskinhall. Ved bygging i omformerstasjoner som er i drift antas prisene å øke med 10%. Dvs. at summen blir ca. 2 000 00 kr pr. anlegg som bygges i eksisterende omformerstasjoner.

##### Sparepotensialet:

Sparepotensialet er det samme som varmpumpens varmeopptak (170 kW). I ref.[26] angis midlere tap for en 5,8 MVA omformer til 190 kW. Av dette vil man da kunne ta ut maksimalt 170 kW i Bergen omformerstasjon.

Ved bygging av varmegjenvinningsanlegg i andre omformerstasjoner er det overveiende sannsynlig at disse dimensjoneres for 170 kW. Grunnen til det er at mobile 5,8 MVA omformere er flest i antall og flyttes mellom de ulike omformerstasjonene. Som sagt underdimensjoneres varmegjenvinningsanleggene noe for å sikre god totaløkonomi. Følgelig vil de maskinhallene som eventuelt utrustes med varmegjenvinningsanlegg dimensjoneres for å ta opp spillvarme fra 5,8 MVA omformere.

I tabell 3 er vist sparepotensial pr. omformer, totalt sparepotensial dvs. ombygging av samtlige maskinhaller som kan ha 5,8 MVA omformere og årlig energibesparelse om 10 år. I løpet av en 10 års periode vil anslagsvis 10 maskinhaller kunne ha installert varmegjenvinningsanlegg. Dette vil si at spillvarme fra 20 omformere skulle kunne tas opp til varmegjenvinning.

	Sparepotensial pr. omformer:	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
MWh/år	1 105	35 360	22 100
% av tot. forbruk	0,22	6,96	4,35

Tabell 3. Sammenstilling av sparepotensialet for varmegjenvinningsanlegg i maskinhaller med roterende omformere.

Konklusjon, avsnitt 4.4:

I 1992 kostet varmetapene i Bergen omformerstasjon 331 500 kr med en pris på 30 øre/kWh. Ved salg av denne varmeenergien for 30 øre/kWh ville anlegget hatt en inntjeningstid på 6,5 år.

Det er viktig at man vurderer alle muligheter for opptak av denne spillvarmen. Fra et samfunnsøkonomisk synspunkt er det viktig at denne type energi gjenvinnes. Energien har samfunnsøkonomisk verdi selv om den skulle "gis" bort. Det foreslås at man kontakter lokale interessenter for å kontrollere hvilke muligheter som finnes til å ta opp denne energien. Rundt i landet finnes ulike avtakere av spillvarme, som eksempler kan nevnes gartnerier (drivhus) og fiskeoppdrettsanlegg.

#### 4.5 Overgang til statiske omformere.

Bakgrunn:

Roterende omformere har gått ut av produksjon og er erstattet med statiske frekvensomformere. I statiske omformere utføres frekvensomformingen ved hjelp av kraftelektronikkomponenter. Utviklingen av kraftelektronikken gir komponenter med stadig høyere ytelse og mindre tap.

Tiltak:

Ved forsterkning av strømforsyningen bygges nå som sagt kun statiske omformere. Det er først og fremst bedre virkningsgrad i de statiske omformerne samt lavere produksjonskostnader som konkurrerer ut roterende omformere. Statische omformere har, liksom roterende omformere, mulighet for regenerativ mating til 3-fasenettet.

Kostnader:

Kostnad for en komplett omformerstasjon varierer, avhengig av ytelsen og om man bygger i nye eller eksisterende anlegg, mellom 45 og 60 mill. kr. Forbedringene man oppnår ved å bygge en statisk omformer, sett fra et enøk-perspektiv, får man på kjøpet ved nyinvesteringer.

### Sparepotensialet:

Ved sammenligning mellom statiske og roterende omformere er det gjort beregninger som tar utgangspunkt i det gjennomsnittlige energiforbruket over året. For statiske omformere har man antatt klirrfaktor på 0,3 (klirrfaktor er forholdet mellom de overharmoniske strømmenes effektiverdi og den grunnharmoniske strømmens effektivverdi i %).

I Sarpsborg har NSB bygget to statiske omformere. Ved målinger på omformer 1 har den vist seg å ha en virkningsgrad mellom 93-96%, avhengig av lasten. I 1988 hadde hele omformerstasjonen (to roterende omformere) i gjennomsnitt en virkningsgrad på 89,6%. Med samme belastning som i 1988 vil én statisk omformer i Sarpsborg i gjennomsnitt ha virkningsgrad på 93,5%. Det er viktig å merke seg at dette gjelder én omformer. Med to omformere i stasjonen til å dele lasten går virkningsgraden ned. Grunnen til det er at den gjennomsnittlige belastningen pr. omformer blir lavere. Virkningsgradkurven synker ved effektuttak under merkeeffekt. Startautomatikken i stasjonene skal i størst mulig grad sørge for at omformerne går nær merkelast og dermed så nær optimal virkningsgrad som mulig. Med økende trafikk tetthet (jevne belastning) blir det lettere å få omformerne til å gå nær merkelast.

Kapasiteten i tilbakematingen i Sarpsborg omformerstasjon er på 5 MW. I hvilken grad dette kan utnytttes er i sin tur avhengig av om togmateriellet har muligheter for tilbakemating av bremseenergi.

I gjennomsnitt har de roterende omformerne en virkningsgrad på 85%. Her antas gjennomsnittlig virkningsgrad for statiske omformere på 93%. Dette er et forsiktig anslag jf. med ref. [29]. Årsaken er at de statiske omformerne som bygges de neste 10 årene geografisk vil plasseres slik at de får så varierende last at det kan bli vanskelig å nå samme virkningsgrad som i ref. [29].

For hver roterende omformer som byttes ut med én statisk, vil man spare anslagsvis 8% energi. Der statiske omformere bygges i tillegg til eksisterende roterende omformere, oppnås en bedre virkningsgrad på 8% på den delen av energi-produksjonen som overføres fra de omkringliggende roterende til den statiske omformeren.

#### Konklusjon, avsnitt 4.5:

I tabell er vist totalt sparepotensial (kun statiske omformere med gj.snittlig virkningsgrad på 95%) og sparepotensial om 10 år der det er antatt 5 statiske omformerstasjoner som står for 10% av produsert énfaseeffekt.

	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
<b>MWh/år</b>	<b>50 779</b>	<b>3 381</b>
<b>% av tot. forbruk</b>	<b>10</b>	<b>0,67</b>

#### 4.6 Ombygging av kontaktledningssystemet.

Bakgrunn:

De ombygginger som skjer nå, innebærer en overgang til System 20 fra flere ulike systemer. System 20 har kontakttråd og bæreline med samme tverrsnitt som de andre systemene. Overgang til System 20 innebærer ikke en reduksjon av den ohmske motstanden i kontaktledningen. Forskjellen ligger i at strekkraften er økt og at bærelinen er erstattet med bronse i stedet for kobber.

Tiltak:

Hvert år bytter NSB ut trestolper med stålmaster på 50 til 60 km linjestrekning, og da bygger man samtidig med returleder. Én km koster mellom 1,3 og 1,5 mill. kr. Bygger man returleder, vil det ha ubetydelig virkning på impedansen i kontaktledningssystemet. Dette fordi strømmen tvinges over i returlederen i stedet for skinnene. Den elektriske motstanden i returlederen er ikke nevneverdig mindre enn i skinnegangen. Returleder bygges kun for å ha kontroll over returstrømmen og minimalisere forstyrrelser i signal- og teleanlegg.

Forsterkningsledning krever også stålmaster pga. vekten. Forsterkningsledning er bygget på et fåtall strekninger. Forsterkningsledning bygges kun utifra krav til spenningsnivå på kontaktledningen. Impedansen reduseres med i størrelsesorden 25% når man har forsterkningsledning. Enøk-gevinsten er for lav, jamført med km-prisen, til å motivere bygging av forsterkningsledning kun for energibesparelsens skyld.

Sparepotensialet:

Det finnes som sagt ubetydelig enøk-gevinst i den pågående ombygging av dagens kontaktsledningssystem i og med at hverken overføringstap eller forbruk av reaktiv effekt forbedres. Ombyggingen er kun motivert utifra et ønske om å forsterke kontaktledningens mekaniske styrke for dermed å kunne tåle høyere hastigheter. Alle enøk-gevinster i kontaktledningssammenheng er ytterst marginale.

	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
MWh/år	0	0
% av tot. forbruk	0	0

Tabell 5. Sparepotensial ved ombygging av kontaktledningsnettet.

Konklusjon, avsnitt 4.6:

Ombygging av kontaktledningssystemet kun for å spare energi, er ikke aktuelt. Til det er omkostningene for høye. På Gardermobanen vil man bygge kontaktledningssystem med 20% større tverrsnitt på kontakttråden. Dette er en utbygging og ikke en forbedring av det eksisterende systemet.

#### 4.7 Reduserte overføringstap i strømforsyningsystemet ved overgang til asynkronteknikk i traksjonsmateriellet.

For bakgrunn og øvrig informasjon, se kap. 5.3.2.

Sparepotensialet:

Med utgangspunkt i tabellen i kap. 5.3.2 vil effektfaktoren forbedres i traksjonsmateriellet etter hvert som andelen lokomotiver med asynkronteknikk øker. Om 10 år vil den "gjennomsnittlige effektfaktoren" forbedres med ca 3% i forhold til dagens materiellpark (1994). Dette innebærer at samme effekt kan leveres til loket med ca 3,5% reduksjon i strømmen. Man avlaster hele strømforsyningsystemet fra generator til strømvaktar i og med at strømmen kan reduseres.

Totalt sparepotensial (kun togmateriell med effektfaktor 1,0) gir 23% reduksjon av de ohmske tapene (varmetapene). Dette er vist i tabell 5, der det på generatorsiden er regnet med samtlige 5,8 MVA omformere. Sparepotensialet øker om man regner med samtlige omformere.

	Totalt sparepotensial	Sparepotensial i forh. til forbruk om 10 år:
MWh/år	9 060	1 479
% av tot. forbruk	1,78	0,54

Tabell 5. Sparepotensial ved reduserte overføringstap som følge av forbedret effektfaktor på traksjonsmateriellet.

Konklusjon, avsnitt 4.7:

En virkning av forbedret effektfaktor i traksjonsmateriellet er reduserte spenningsfall i kontaktledningen. Dette vil bedre spenningsforholdet for lokomotivene og gi færre utkoplinger på grunn av lav spenning i kontaktledningen, noe som i sin tur bidrar til bedre punktlighet. De ohmske tapene er proporsjonale med kvadratet av strømmen. Beregninger gir da en reduksjon av de ohmske tapene i strømforsyningsystemet på nær 7% om 10 år.

#### 4.8 Nytt mateledningsystem.

Som et ledd i forsterkning av strømforsyningen har man vurdert et mateledningsystem. Et slikt system består av en overføringslinje på 55 eller 132 kV, 16 2/3 Hz som knytter sammen et antall transformator- og omformerstasjoner som går med jevnere belastning og høyere virkningsgrad. Slike system har man benyttet i Tyskland i en årrekke.

I Sverige har Banverket et mateledningsystem med 132 kV spenning. De problemer man har støtt på der, er samkjøringsproblemer og effektpendlinger. Den sentrale overvåkingen og styringen av dette systemet er ennå ikke ferdig, og man våger ikke anslå hvor mye energi man har mulighet til å spare.



Baneregionene Nord og Øst har i samarbeid gjort en utredning på forsterkning av banestrømforsyningen på Dovrebanen, se ref.[27]. I denne utredningen har man vurdert flere alternativer, deriblant mateledninger på 55 og 132 kV. Nytte-kostnadsberegningene viste at mateledningsalternativet sammen med nye statiske omformere, hadde høy nytte-/kostnadsverdi på visse delstrekninger. Men man vurderer i rapporten at uforutsigbare kostnader, i form av grunneier-problematikk og miljøforringelse, tilknyttet kraftledninger kan bli så store at man foretrekker å satse på bygging av flere omformerstasjoner.

For ytterligere detaljer vises til ref. [27].

#### **4.9 Energihusholdningsprogrammer.**

En mulighet som moderne EDB-baserte fjernkontrollsystemer tilbyr, er EMS(Energy Management System) eller energihusholdningssystemer for optimal effektproduksjon i nettet. Disse systemene kan lage prognoser over effektbehovet over alt i nettet. Prognosene kan f.eks. bygge på kraftpriser, forsinkelser, ekstratog, overføringskapasiteter, tilgjengelig effekt, start- og stoppkostnader for omformere, statistikk og minste tillatte spenning på kontaktledningen. Det må presiseres at en slik løsning passer best for et mateledningssystem med høy overføringskapasitet over et stort geografisk område, slik Banverket i Sverige har. I en forstudie (se ref. [28]) er det anslått at Banverket vil kunne spare 1 mill. kr (prisnivå: 1989) pr. år ved 1% reduksjon i forbruket. Rapporten sier dessverre ingenting om sparepotensialet for dette systemet.

Overføringskapasiteten i NSBs kontaktledningsnett er for lav til at man effektivt kan optimalisere den samlede effektproduksjonen over et større område. En grundigere analyse vil likevel kunne sette opp krav til rammebetingelse og gi svar på hvilket energisparepotensiale som måtte foreligge.

#### **4.10 Overgang til 25 kV og 50 Hz strømforsyning.**

Ved overgang til systemspenning på 25 kV, 50 Hz er det i en rapport utarbeidet av Banedivisjonsstaben, se ref. [29], konkludert med at man kan gjøre en energibesparelse på 15% i forhold til dagens system. 15% er, som sagt, det gjennomsnittlige tapet i omformerne. I besparelsen på 15% er det tatt hensyn til at man ikke lenger kan ha samkjøring på kontaktledningssiden, men at man må ha seksjonert mating som medfører mindre effektiv utnyttelse av energien.

I ref. [29] er det også angitt en besparelse på 5% ved overgang fra et tenkt system med kun statiske omformere, til et system med 25 kV, 50 Hz. For ytterligere informasjon, se ref.[29].

Til orientering er det i figur 3 vist en sammenligning av ulike matespenninger. Figuren er hentet fra referanse [6].

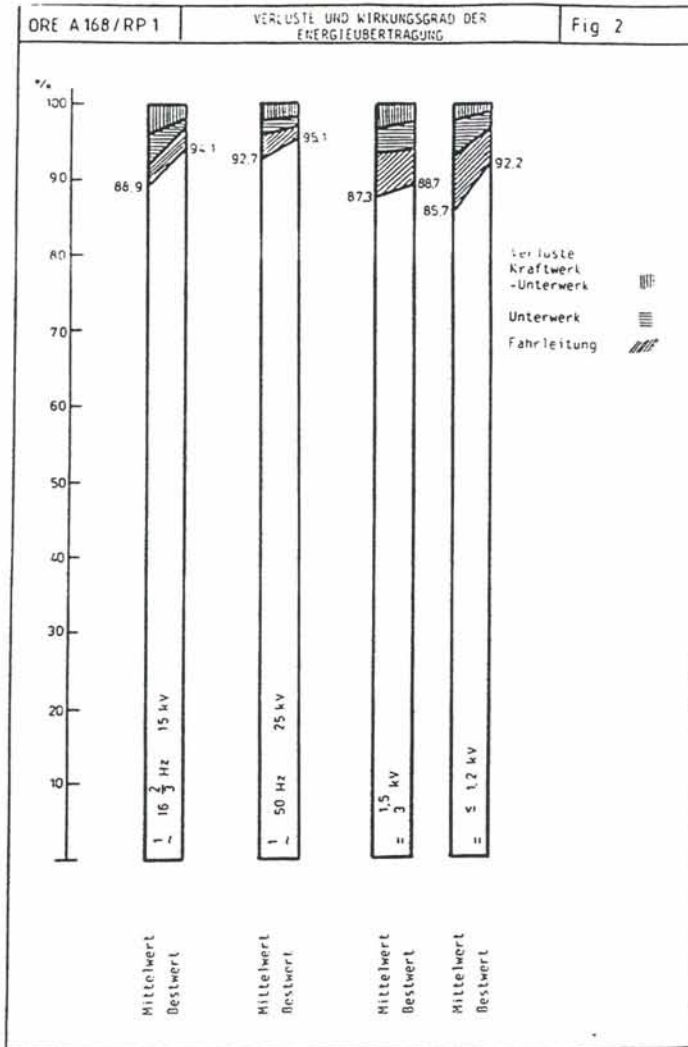


Fig. 3 Beste- og middelveidier for ulike matesystemer til jernbanedrift.

Resultatene i figur 3 er basert på verdier fra flere jernbaneforvaltninger i Europa, og kan betraktes som et slags gjennomsnittresultat. Kolonnen for 25 kV, 50 Hz er ikke direkte sammenlignbar med resultatene vi vil få her i landet ved et tilsvarende system. Årsaken til dette er at man i Europa har større grad av sentralisert kraftproduksjon samt større innslag av elektrisk kraft generert direkte fra primære energikilder internt innen jernbanen. Figur 3 er likevel interessant for sammenligningens skyld mellom ulike matesystemer.

#### 4.11 Stasjonære togvarmeanlegg.

Det finnes ingen total oversikt over energiforbruket ved NSB, men ut fra opplysninger [17][25] og målinger i Lodalen 21.3.-6.4.94 anslås totalforbruket pr. år på landsbasis til 2% av totalforbruket, dvs 8 GWh.

Anlegget i Lodalen er forberedt for å programmere oppvarmingsforløpet for vogner ved hjelp av microprosessorstyringer. Erfaringer fra andre jernbaneforvaltninger har gitt energibesparelser på 25%.

En viktig forutsetning for å oppnå et best mulig resultat, er at anleggene på rullende materiell samstemmes med de faste togvarmeanlegg. På nytt persontogmateriell må dette være et krav.

#### Hensetting av lokomotiver.

Endel eldre lokomotiver kan bare ta energien til førerromsoppvarming bare over egen hovedtransformator. Når lokomotivet er hensatt, betyr dette at når det i vintertiden er behov for å varme opp førerrommene, må hovedtransformatoren være innkoplet, noe som gir tomgangstap på omkring 10kW. Anleggene kan relativt enkelt suppleres, slik at strømforsyningen til oppvarming tas fra stasjonært 220 V - 50 Hz nett.

#### Konklusjon, avsnitt 4.11:

Det antas det kan spares omkring 0,5% av det totale energiforbruk ved å ta i bruk programmerte oppvarmingssystemer. Det bør skaffes bedre oversikt over det totale energiforbruk for stasjonære togvarmeanlegg både på 16 2/3 Hz- og 50 Hz-anleggene.

#### **4.12 Elektrisk sporvekseloppvarming.**

Energi til elektrisk sporvekseloppvarming tas delvis fra det vanlige 50 Hz-nettet og fra 16 2/3 Hz-nettet. Vedlegg 3 viser en samlet oversikt (1985) over fordelingen mellom de to systemer der den samlede installerte effekt er 8600 kW. Den samlede installerte ytelse idag er ukjent. Til Gardermobanen er det planlagt en samlet effekt på 1000 kW.

Da tapene i overføringssystem med 16 2/3 Hz er ca. 20% høyere enn fra 50 Hz-nettet, vil oppvarming fra banestrømforsyningen heretter normalt ikke bli brukt. Varmeforbruket til sporvekselvarme vil kunne bli betydelig, og en rapport FoU-SPORVEKSEL-VARME [18] gir en statusrapport over arbeidet med å bedre virkningsgraden for anleggene. I dag fjernstyres anleggene fra togleder. Dette kan lett føre til at anleggene i noen tilfeller står for mye på "for å være på den sikre siden". Det undersøkes nå også mulighetene for å bruke snødetektor for å styre anleggene mere individuelt. Rapporten antyder at det kan spares 50% energi sammenlignet med dagens anlegg og at meromkostningene til et mere moderne reguleringsystem inntjenes på 2-3 år.

#### Konklusjon, avsnitt 4.12:

Effekten til sporvekselvarme vil i avtagende grad tas fra banestrømforsyningen med 16 2/3 Hz.

Mulighetene til å spare energi i 50 Hz-anleggene er store, men det finnes i dag for lite underlag til å vurdere besparelsene.

## 5. RULLENDE MATERIELL

### 5.1. Generelt

Ut fra geografiske forhold vil det spesifikke energiforbruket være forskjellig fra land til land. Forbruket må også ses i sammenheng med togvekter, høyeste tillatte hastighet, stoppmønster og driftsforhold. Det er derfor av begrenset verdi å sammenligne spesifikt energiforbruk mellom de ulike forvaltninger. I tillegg til det rene traksjonsmessige forbruket, kommer energiforbruk for togvarme og eventuelt klimaanlegg.

For å betrakte det samlede forbruk ved en jernbanen - i tillegg til forbruket ved selve togfremføringen - må også følgende forbruk tas med:

- Energiforbruk for skiftetjeneste på skiftestasjoner (vil ikke bli vurdert her).
- Overføringstap mellom 3-faseanlegg og til strømvaktaker (behandlet under avsnitt 4).
- Energiforbruk i stasjonære togvarmeanlegg i driftsbanegårder, se avsnitt 4.11.

Faktorer som påvirker energiforbruket ved togfremføringen er mange, f.eks.

- Høydeforskjell
- Forskjellig kjøremotstand
- Antall igangsettinger og endringer av hastigheten
- Virkningsgrad fra kontaktledning til skinne
- Kjøremåte (disponibel kjøretid - lokførers dyktighet)
- Energiforbruket til togvarme

### 5.2. Spesifikt energiforbruk ved elektrisk banedrift.

Det spesifikke energiforbruk ved transportarbeide oppgis ved NSB i :

*Wh/tkm eller kWh/1000 tkm*

Det må bemerkes at de enkelte forvaltninger kan oppgi energiforbruk på forskjellige måter. Nettotonn, bruttotonn, ytelsestonn ( Leistungstonn BD)

Som togvekt regnes ved NSB med samlet masse for toget inkludert lok/motorvogn (bruttotonnkm).

Ved NSB regnes for tiden :

Ekspresstog	35	Wh/tkm
Hurtigtog	32	Wh/tkm
Persontog type 70	50	Wh/tkm
Persontog (type 69)	60	Wh/tkm
Forstadstog	50	Wh/tkm
Forstadstog (type 69)	90	Wh/tkm
Fjerngodstog	26	Wh/tkm
Arbeidende godstog	36	Wh/tkm

For persontrafikk er det inkludert 10% tillegg for oppvarming som et gjennomsnitt for året.

**I disse tall er også 5% tap i kontaktledninger tatt med. I omformerer kan regnes med 15%, altså omkring 20% samlet tap fra 3-fase siden til strømvaktaker på lokomotivet.**

Til sammenligning oppgis noen tall for SBB-Sveits, der topografien og infrastrukturen er omtrent den samme som NSBs:

Lavlandsbaner	20 - 30	Wh/tkm
Fjellbaner	30 - 65	Wh/tkm
Forstadsbaner	50 - 75	Wh/tkm

Ved SBB er det gjennomsnittlige spesifikke energiforbruk 43 Wh/tkm (bruttotonn). SBB har utstrakt bruk av nettbremse.

Det tilsvarende tall for NSB er 41 Wh/tkm (se avsnitt 3.1.4).

Noen tall fra SJ:

- X2000 på strekningen Stockholm - Gøteborg: 30 Wh/tkm inkl. togvarme og med 8% tilbakemating med nettbremse.
- Togsett X1 i nærtrafikk 100 Wh/tkm.
- Rc-lok med 8 vogner i IC-trafikk 36 Wh/tkm.

## 5.3 Trekkraftaggregater

### 5.3.1 Tilbakemating av bremseenergi. Nettbremse.

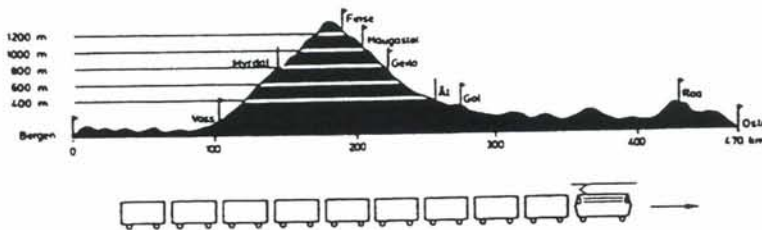
Innføring av ny traksjonsteknikk og asynkronmotorer - EI17 og BM70 - åpnet muligheten for på en enkel og praktisk måte å mate bremseenergi tilbake på strømforsyningsnettet. Dette kan gjøres uten nevneverdig tilleggsutstyr på trekkaggregatet. Denne teknikk har fått sitt gjennombrudd, og det antas at all elektrisk traksjonsmateriell som anskaffes heretter vil ha nettbremse.

Hvor mange % av den opptatte energi som kan tilbakemates, vil avhenge av kjøre- og stoppmønster, topografi, togsammensetning etc. Dette kan vises med noen eksempler:

#### Eksempel 1. EI17 i godstog

Figuren nedenfor viser en simulasjonsberegning for et godstog med EI17 på strekningen Bergen - Oslo [19].

Tilkoplet togvekt er den maksimale for strekningen Voss - Finse.



Togvekt 680 tonn

Opptatt energi 10852 kWh - spesifikt forbruk 34 Wh/tkm

Tilbakematet 2638 kWh - spesifikt forbruk 8,3 Wh/tkm

Energisparing 24%

#### Eksempel 2. EI17 i ekspresstog på Dovrebanen

NSB har foretatt målinger i ca. 100 ekspresstog og nattog på strekningen Oslo - Trondheim [21].

EI17 kan kjøres på 2 måter - "manuelt", dvs den tradisjonelle der føreren betjener togbremsen, og ved hastighetsautomatikk der føreren bare innstiller ønsket hastighet.

Trekraft og bremsekraft reguleres automatisk slik at toget holder den ønskede (innstilte) hastighet. De to kjøremåter gir forskjellig grad av tilbakemating.

### Noen måleresultater:

De gjennomsnittlige opptatte spesifikke energiforbruk - inkludert togvarme, med og uten tilbakemating, ble:

Wht/km	Uten tilbakemating	Med tilbakemating
Ekspresstog "Manuell" kjøring	40,4	39,7 (2%)
Automatisk kjøring	39,8	33,6 (18%)
Nattog "manuell" kjøring	30,5 <sup>1)</sup>	38,1 (1%)

1) At energioptaket i nattog er ca. 25% mindre enn i ekspresstog skyldes at nattogene har slakkere rute, noe som gir ca. 25% mindre energiforbruk.

Målingene viste at den tilbakematede energi var:

Manuell kjøring 1,8% I tillegg ca. 2% tilbakemating  
 Automatisk kjøring 15,5% til togvarme Se bem.

Bemerkninger:

- Endel av bremseenergien som lokomotivet produserer vil brukes i togets eget togvarmeanlegg. Anslagsvis vil dette bety at tilbakematingsprosenten vil være ca. 2% høyere.
- Resultatet viser at det er svært viktig at EI17 kjøres med hastighetsautomatikk i ekspresstog og B7-materiell. Et anslag viser en sparemulighet på 2-3 mill. kr pr. år for EI17-parken.

### Eksempel 3, BM70

I forbindelse med anskaffelse av togsett BM70 ble det foretatt beregninger for å få fram forskjeller mellom de to systemer tyristorstyring representert ved 69D og asynkronteknikken representert ved BM70. Her tas med strekningen Oslo-Ski(27km) - med intens kjøring i nærtrafikk med 12 stopp og strekningen Skøyen-Eidsvoll(74 km) - i mellomdistansetrafikk. Alt med togsett med vekt 108 tonn [22].

Spesifikt energiforbruk Wh/tkm	BM69D	BM70	Tilbakemat.	Kjøretid ≈
Oslo - Ski	94	61	35%	26'48"
Skøyen - Eidsvoll	60	40	33%	62' 0"

Bemerk:

- Eksemplet viser at spesifikt energiforbruk er ca. 55% høyere i den intense kjøringen Oslo-Ski.
- Energiforbruket er 30 - 35% mindre ved asynkronteknikken.
- Beregningene viser også at med primærstrømbegrensning på 69D fra 220A til 160A, spares 5,1% energi Oslo-Ski med 19 sek.(1,2%) lengre kjøretid. Togsettene

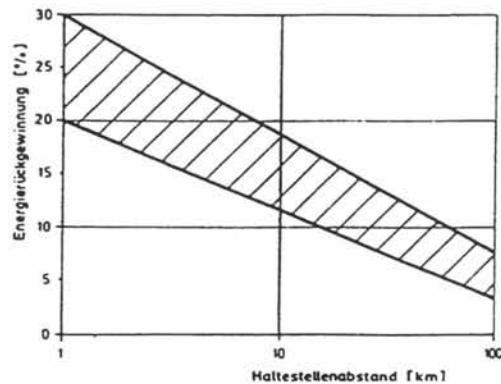
type BM69 går alle i dag med primærstrømbegrensning av hensyn til strømforsyningen.

#### Eksempel 4. Svensk togsett X2000

X2000 har på strekningen Stockholm - Gøteborg en tilbakemating på 8%, og et spesifikt energiforbruk på 30 Wh/tkm inkludert togvarme. At forbruket her er lavere enn på E117 (Eks. 3), skyldes flatere terreng, færre kurver og derved færre hastighetsendringer.

#### Eksempel 5. Tilbakemating som funksjon av stoppmønster

En sammenstilling av de muligheter for energisparing ved asynkronlok. som funksjon av stoppmønster er vist i fig. nedenfor.



Figuren viser de store muligheter for sparing av energi, spesielt i nærtrafikken ved korte stasjons-/holdeplassavstander.

Bemerkning: For trekraftaggregater med nettbremse vil energiforbruket bare i liten grad være avhengig av kjøremåten.

#### **Konklusjon avsnitt 5.3.1:**

Nettbremse vil gi det største enkeltbidraget for energisparing i banestrømforsyningen etter hvert som asynkronteknikken tas i bruk ved nyanskaffelser osv. Hadde all transport ved NSB i dag blitt utført med trekkaggregater med muligheter for tilbakemating, ville en anslagsvis spart 20% av energi. Om 8 år anslås energisparing til omkring 15% av totalforbruket.



### 5.3.2. Forbedring av trekkaggregatets effektfaktor (se også pkt. 4.7)

Elektriske trekkaggregater vil ha forskjellig effektfaktor avhengig av traksjonssystem, vekselstrømløse, tyristorløse eller asynkronmotorløse. Da 3 traksjonssystemer belaster strømforsyningsanleggene forskjellig ved samme driftsyttelse, f.eks. samme togvekt i samme rute. Asynkronmotorløset har best effektfaktor, og tog trukket med slike aggregater gir mindre strømmer i kontaktledningen og omformer, og derved mindre varmetap i disse.

Ut fra dagens materiellpark og en forventet park om 8 år, er det gjort en prognose over reduserte tap i strømforsyningssystemet, se avsnitt 4.7.

Det tas utgangspunkt i følgende tabell:

1994				2002		
	Ant.	Yttelse kW	Sum MW	Ant.	Yttelse Sum MW	System
EI 11	38	1680	64	0	0	1. vekselst.lok
EI 13	36	2720	98	0	0	1. vekselst.lok
EI 14	31	5100	158	31	158	1. vekselst.lok
EI 16	17	4400	75	17	75	2. tyrstormotor
EI 17	12	3400	41	12	41	3. asynkronmotor
EI 18	0	6200	-	20	124	3. asynkronmotor
BM 69	83	1200	100	83	100	2. tyrstormotor
BM 70	12	1500	18	20	30	3. asynkronmotor
BM 71	0	1500	-	20	30	3. asynkronmotor
Sum	229		553MW	203	557MW	
1. Med effektor 0,9 ~319 MW(57%)				0,9	158MW (28%)	
2. Med effektor 0,8 ~175MW(32%)				0,8	175MW (31%)	
3. Med effektor 1,0 ~ 59MW(11%)				1,0	225MW (40%)	

Vurderingen av de reduserte tap i kontaktledningen og omformer ut fra tabellen er gjort under avsnitt 4.7.

Konklusjon avsnitt 5.3.2:  
Se konklusjon under avsnitt 4.7.

### 5.3.3 Reduksjon av forbruk på hjelpeutstyr

De vesentligste forbrukere av hjelpeutstyr er kjøle- og ventilasjonsanlegg og luftkompressoranlegg. Den installerte ytelsen for hjelpemaskiner etc. ligger på 2-3% av trekraftaggregatets maksimale ytelse. Da hjelpeutstyret på årsbasis utnyttes forholdsvis mere enn hovedmotorene, betyr dette at energiandelen fra hjelpeutstyret utgjør 8-12% [1] av det samlede energiforbruk.

Kjøleanleggene er utlagt for en utetemperatur på maks. +30°C, og er således overdimensjonert for vinterbruk. Ved å bygge om anleggene til en form for behovsventilasjon, dvs. kjøleluftmengden reduseres i store deler av driftstiden, vil det samlede energiforbruk kunne reduseres med omkring 3-5%[1].

Ved anskaffelser av nytt trekraftmateriell må det stilles krav til en bedre tilpasset behovsventilasjon. Behovet må ut fra termiske forhold i traksjonsmotorene fastlegges ved prøver/beregninger og verifiseres ved prøvekjøringer. På noen aggregater EI13, -14 og EI16 kjøres det prøver med redusert ventilasjon når temperaturforholdene tillater det, dvs. i størst grad om vinteren. En bieffekt av redusert ventilasjon er at det trekkes inn mindre snø og smuss i banemotorene, noe som er spesielt gunstig for kommutatormotorer.

Konklusjon avsnitt 5.3.3:

Ved å bygge om og tilpasse til behovsventilasjon, vil det samlede energiforbruk kunne reduseres med 3-5%.

Amortiseringstid 2-3 år.

### 5.3.4. Vektreduksjon

Det normale er at det på trekraftaggregater bygges inn den maksimale ytelse ut fra tillatt akseltrykk. Høyt akseltrykk letter også en praktisk adhesjonsutnyttelse av trekraftoverføringen mellom hjul og skinne.

### 5.3.5. Aerodynamisk front lok/vogner.

En utpreget strømlinjeform anses bare nødvendig når det kjøres lange strekninger med hastigheter >120 km/h [5].

Omhyggelig utforming av frontparti og optimal tilpassing til vogntog, gir ved hastigheter omkring 160 km/h en reduksjon av trekraftbehovet på 5-10% [1].

### 5.3.6. Virkningsgrad på trekkaggregater

Virkningsgraden kan ikke forbedres nevneverdig [5]. Noe vil oppnås ved at antall halvledere reduseres pga. mindre behov for parallell- og seriekoplede elementer og bruk av GTO-tyristorer.

## 5.4 Vognmateriell

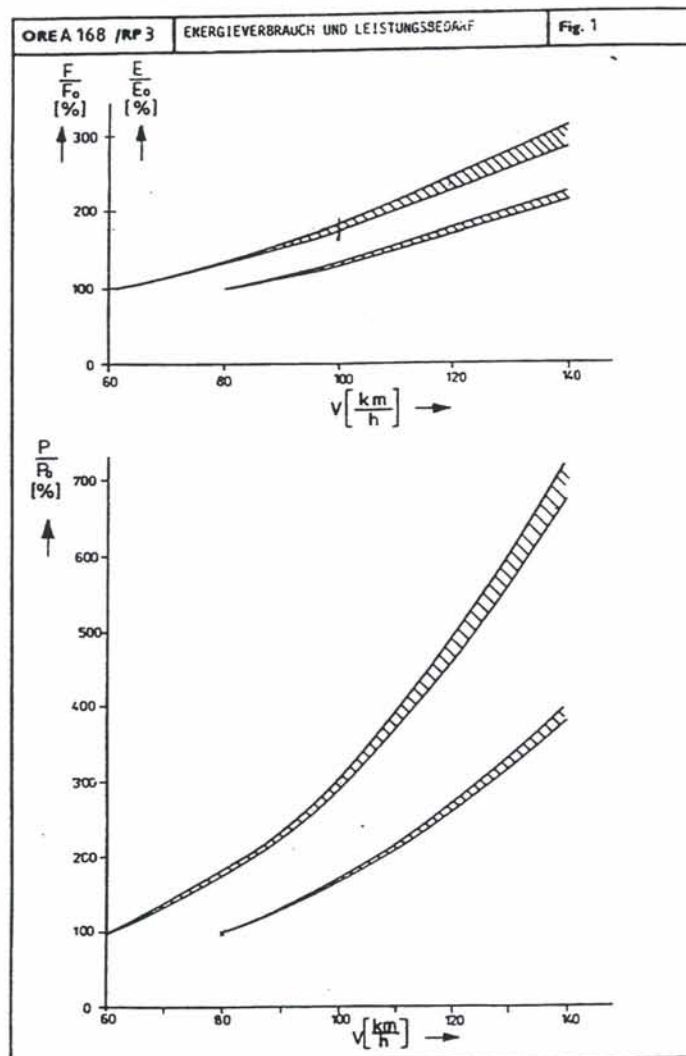
### 5.4.1 Kjøre motstand. Generelt

Et togs samlede kjøre motstand setter seg sammen av en rekke faktorer, som:

- Rulle- og friksjonsmotstand, kurve- og stigningmotstand som er tilnærmet proporsjonal med togets vekt.
- Aksellerasjonsmotstand av togets vekt.
- Luftmotstand som bare er avhengig av formen på toget.
- Luftmotstanden øker tilnærmet med kvadratet av hastigheten, i tunneler vesentlig mer.

### 5.4.2 Godsvogner, kjøre motstand, energibehov.

Inntil for få år siden var kjørehastigheten 60-70 km/h og luftmotstanden spilte ingen betydelig rolle. Etter beslutning i UIC skal godsvogner i internasjonal trafikk - fra 1990 - være egnet for en hastighet på 90 km/h. På bestemte relasjoner må også vognene gå med 100 til 120 km/h. På grunn av den kvadratiske økning av luftmotstand, vil en økning av kjørehastigheten føre til betydelig økning av energiforbruket og behov for øket ytelse på trekraftaggregatet [8], se fig. nedenfor.



Med utgangspunkt i 60 km/h vil det nødvendige energibehov øke med:

- 180 % ved 100 km/h
- 240 " ved 120 km/h
- 300 " ved 140 km/h

Dette vil øke energiandelen av de samlede omkostningene for godstransport betydelig.

Behovet for økt traksjonsytelse for å overvinne kjøremotstanden stiger i forhold til kjørehastigheten på 60 km/h med:

- 300% ved 100 km/h
- 480% ved 120 km/h
- 700% ved 140 km/h

Større transportvolum med hurtiggående godstog vil derfor også lett kunne føre til at strømforsyningsanleggene må forsterkes.

Økning av kjørehastigheten for godstog vil således kunne få betydelige økonomiske følger for framføringskostnadene [8] [23].

For å undersøke i hvilken grad det er mulig å redusere luftmotstanden ved konstruktive endringer på vognene, er det i regi av UIC/ERRI gjort en rekke undersøkelser og modellforsøk i vindtunnel med verifisering på strekninger etc. [8][9][12].

Fra disse rapporter refereres summarisk noen konklusjoner:

- Å modifiserere dagens vogner for å få ned energiforbruket, vil bare i sjeldne tilfeller være økonomisk riktig.
- Ved nyanskaffelser av vogner som skal gå med hastigheter på 100 km/h og mere, må det stilles krav til utforming og vognene for få ned luftmotstanden.
- På grunn av den lave fornyelsesraten av godsvognparken er det nødvendig å komme igang så tidlig som mulig med å tilpass nye vogner, slik at en ved generell overgang til høyere toghastigheter - f.eks. 100 km/h - har et tilstrekkelig antall vogner til disposisjon.
- En gunstig aerodynamisk utformet vogn for 120 km/h kan gi energibesparelser på 25-40%, avhengig av vogntype.

#### Eksempel 1, Godstog på Sørlandbanen

For å se på de økonomiske konsekvenser ved å øke kjørehastigheten i godstog fra 80 til 90 km/h, ble det i tiden 25.-29.11.86 foretatt 11 måleturer mellom Nelaug og Dalane (82 km) med fast togstamme, EI14 og tilkoplede togvekt på 612 tonn, samlet togvekt 717 tonn (9 tømmervogner) [23].

Hastighetsprofilen på strekningen tillot at toget kunne kjøre konstant med 80 km/h, mens 90 km/h bare er tillatt på ca. 55% av strekningen.

Resultat: Effektuttaket i matestasjonene øket med nærmere 30%, og energiforbruket med 12-13%. Ved økning av hastigheten fra 80 til 90 km/h (13%) over hele strekningen, ville energiforbruket blitt 22% høyere.

Spesifikt forbruk: 21,4 wh/tkm ved 80 km/h  
23,6 wh/tkm ved 90 km/h (55% av strekningen, tillatt med 90 km/h)

Eksempel 2. Her refereres noen "utsagn" fra litteraturen:

- Ved tomme, åpne godsvogner ligger det spesifikke energiforbruk 2,5 ganger høyere enn lastede vogner [5].
- Opplastede containertog har spesielt stor luftmotstand pga luker mellom vognene.
- En økning av aksellasten fra 16 til 21 tonn gav ved samme togvekt en reduksjon i spesifikt energiforbruk på 11% [1].
- En undersøkelse ved DR viser at en generell økning av maks.hastigheten fra 65 til 80 km/h førte til en reduksjon av vognanløpstiden på 4,5%, men en økning i energi-forbruket på 25%[1].

**Konklusjon avsnitt 5.4.2:**

Antas en generell økning av gjennomsnittshastigheten for alle godstog om 10 år på 10%, så anslås en tilsvarende økning i energiforbruket for godstrafikken på 10-15% eller omkring 5-7% av det totale forbruk. Det forutsettes en omtrentlig fordeling av gods- og persontrafikk som i dag.

**5.4.3 Personvogner, kjøremotstand, energibehov.**

(se også avsnitt 5.4.1)

Ved en jevn hastighet på 120 - 140 km/h, vil 75% av trekraften nyttes til å overvinne luftmotstanden. (For godstog ved 80 - 100 km/h.) I dette hastighetsområdet kan luftmotstanden reduseres med 10-15% uten grunnleggende endringer i vognkonstruksjon og/eller utvendig arrangement. Dette gir en traksjonsenergibesparelse på ca. 5% [5]. Ved NSB har kjøring i dette hastighetsområdet begrenset omfang, men ved nyanskaffelser av materiell for høyere hastigheter, f.eks. til Gardermobanen, må det

stilles vesentlig skjerpede krav til utforming av vognene for å redusere luftmotstanden. Summarisk nevnes noen punkter:

- Redusere vogntverrsnitt, spesielt i høyden, ved at f.eks. komponenter i takrom bygges inn under gulv.
- Økning av vogntverrsnitt under forutsetning av at dette fører til at toglengde og vognantall kan reduseres vesentlig, f.eks. ved 2-etasjes vogn.
- Aerodynamisk riktig utformet front gir ved 160 km/h 5-10% reduksjon i trekraften.
- Mest mulig glatt overflate - dører og vinduer som flukter med vognside.
- Luftluker mellom vogner gjøres kortere.
- Forskaling av utstyr under vogn og i front.
- Forskaling av boggier (kan senke luftmotstanden med 15-50% avhengig av vindretning).

I bilag 4 er vist eksempler på fordeling av luftmotstand på de enkelte komponenter.

#### Eksempel 1. Gardermobanen.

Prosjektgruppen for GMB har beregnet energiforbruket Oslo-Gardermoen-Oslo (100 km), 229 tonns togvekt til 1 137 kWh med netto kjøretid 19 min én vei. Dette gir et spesifikt energiforbruk inkludert 10% togvarme, på 55 Wh/tkm. Reduseres maks kjørehastighet fra 200 km/h til 160 km/h, øker kjøretiden med ca. 2 min (fra 19 til 21 min) dvs. ca. 10%, mens energiforbruket reduseres med 30%.

#### Eksempel 2.

SJ's togsett X2000 har, som også nevnt i avsnitt 5.3.1, på strekningen Stockholm-Gøteborg et spesifikt forbruk på 30 Wh/tkm inkludert togvarme. Uten tilbakemating ville forbruket vært ca. 33 Wh/tkm.

#### Eksempel 3.

En beregning ved DB [15] med et IC-tog med 12 vogner viser at ved å øke hastigheten fra 160 til 200 km/h (25%) øker forbruket fra 26,5 til 37,3 Wh/tkm (42%).

I 12% stigning øker forbruket fra 64,8 til 75,7 Wh/tkm (17%).

#### Konklusjon, avsnitt 5.4.3:

På 10 års sikt antas at den gjennomsnittlige fremføringshastigheten for persontog bare vil øke moderat. Når det til nytt materiell stilles krav til akseptable verdier for kjøremotstand, antas at det spesifikke energiforbruk vil holde seg på omtrent samme nivå som i dag.

## Kurvemotstand

Ved å anvende boggier med radielt innstillbare aksler, vil kurvemotstanden minske.

Eksempel 1: Ved SAR ble det på en strekning med 30% kurveandel oppnådd en senking av energiforbruket på 4% [5].

## Kjøremotstand i tunnel

I en typisk dobbelsporet tunnel på 1 km lengde stiger kjøremotstanden for et persontog fra 100 - 200%. Under slike forhold utgjør luftmotstanden mer enn 90% av den samlede togmotstand [1].

Ved SBB: Tunnelkjøring av hurtigtog/ekspresstog i luftmotstand øker energiforbruket med 20%.

### 5.4.4 Enøk i personvogner.

Generelt

De elektriske anlegg i vogner har utviklet seg fra relativt enkle varme- og belysningsanlegg til å være kravfulle anlegg for å gi god varmekomfort for passasjerer. Klimaanlegg vurderes innført. Videre har en lysanlegg matet fra batteri og etter hvert en rekke forbrukere for div. serviceformål.

Som nevnt i avsnitt 5.2 om spesifikt energiforbruk regnes basert på tidligere målinger og anslag - at 10% av forbruket på årsbasis brukes til togvarme mv. Til sammenligning nevnes at SBB (Sveits) oppgir som årsmiddel [5]:

Hurtigtog, ikke klimatisert:	10%
IC-tog, klimatisert:	16 - 18%

Den **installerte ytelse** for en vogn kan eksempelvis være:

Varme i passasjerrom	40	kW
Varme plattform og WC	3	kW
Varmtvann	1,5	kW
Varme avløpsvann	2,0	kW
Ventilatorer	1,5	kW
Kjøleaggregat	16	kW

Batterilading med forbruker:

- Hovedlys	1,0	kW
- Leselys	0,8	kW
- Styring	0,7	kW
- Batteriladning	1,0	kW

## Energisparemuligheter

Det finnes en rekke muligheter til å spare energi. Summarisk listes opp noen konstruktive og driftsmessige forhold som behandles i fagkretser og litteratur[14].

Det er svært viktig at vognenes tekniske anlegg også prosjekteres for energioptimering når vognene står hensatt og til varmpost.

- Forbedre varmeisoleringskoeffisienten av vognkasse til en K-verdi på minst 1,4 W/m<sup>2</sup>K. Til sammenligning har B7 og de nye NSB sovevogner en K-verdi på 2,1 W/m<sup>2</sup>K ved 130 km/h. Hver K-verdiforbedring på ca. 0,1 W/m<sup>2</sup>K gir ved -20°C en innsparing på 1,2 kW. Det må også understrekes at bedre isolasjon gir bedre varmekomfort, idet kuldestrålingen mot passasjerer blir mindre.
- Bruk av ovner eller konsekvent bruk av omluft ved forvarming. Opp til 12 kW kan spares pr. vogn ved en utetemperatur på -20°C.
- Bruk av avluft (returluft) til oppvarming av f.eks. inngangspartier. Endret arrangement for avsugskanaler. Kan gi et redusert effektbehov på inntil 6 kW pr. vogn.
- Reduserer friskluftmengden i forhold til passasjerbelegget i vogn. Dette er utført på en S-bahnwagen Rhein-Ruhr med en energisparing på 25% av varmemengden.
- Minimere varmetapene ved energiomformingen på vognen. Følgende muligheter kan vurderes:
  - Omforme minst mulig energi og med god virkningsgrad også ved dellast.
  - Utkopling av forbrukere i tomgang og beredskapsdrift. Gjelder i første rekke kuldeaggregater (klimaanlegg) med stor ytelse 15-20 kW, og som har kort driftstid pr. år. (Ved DB 600 timer. Ved NSB eventuelt sannsynligvis langt lavere.)
  - Energitilbakevinning av tapsvarmen for omformer. Anslag ved DB viser en besparelse inntil 7 kW i varmedrift og tidvis inntil 4 kW for kjøleanlegg.
- Tilpasse vognanlegg for stasjonært togvarmeanlegg med hensikt på energisparing under hensetting (f.eks. med dellast) og/eller anlegg innkoplet for å hindre frysing av f.eks. lukkede WC-anlegg, vanntanker o.l. Anleggene må kunne fjernbetjenes fra toget og/eller stasjonære anlegg. Anlegg i drift har vist at 30% energisparing kan oppnås under oppvarming fra varmpost. Se også avsnitt stasjonære togvarmeanlegg, 4.11.
- Nytte blendfri belysning med lysrør og lys med god virkningsgrad. Samlet ytelse for belysning bør være opptil 1 200 W pr. vogn. Det kan nevnes at for BM70 er



ytelsen over 3 000 W pr. vogn. Den vesentligste årsak til dette er at det er valgt indirekte belysning, noe som igjen fører til omtrent det dobbelte antall armaturer. Generelt kan bemerkes at et lysrør på 36 W trenger 50 W "tilførsel" til vogn på grunn av alle omformingene gjennom lok/tog. (Virkningsgrad 0,75. Regnes tilbake til 3. fase siden i omformerne, fås en virkningsgrad på 0,5.)

- Prøver med varmeveksler bør vurderes prøvet på eldre vogner som skal moderniseres.
- Nye typer lyskilder, f.eks. halogen, vurderes.

#### Konklusjon, avsnitt 5.4.4:

Det samlede energisparepotensiale for en vogn er omkring 30%, som vil utgjøre 1,5% av totalforbruket. (Det samlede energiforbruket til vogner utgjør ca. 5% av det samlede energiforbruk.)

#### 5.4.5 Krengetog

Kurverike strekninger med stadige endringer av hastigheten gir store tillegg til energiforbruket. Materiell bygd for krengeing gir besparelser i energiforbruk pga. mindre bremsing og aksellerasjoner.

Eksempel: Prøvekjøringer ved det engelske APT-toget ved BR gav som resultat:

- kjøretidsforkortelser på 2,3 - 9,2%
- reduksjon av energiforbruk med 2,9 - 7,3% [5]

For norske forhold anslås en reduksjon på 10%.

#### 5.4.6 Vektreduksjon

Vektreduksjon gir mindre energiforbruk, spesielt i nærtrafikk med korte holdeplassavstander.

Eksempel 1. Ved prosjektering av BM69 var vektbesparelsen 10 tonn (ca. 10%) for et 2-vognsett ved å bygge i aluminium i stedet for stål. Dette gir et redusert energiforbruk på 8% på strekningen Oslo-Eidsvoll ved samme kjøretid.

Eksempel 2: Ved samme kjøretid gav en vektreduksjon på 9% en energibesparelse på 8% [5].

Eksempel 3: Berliner S-bane med bruk av aluminium førte til 12% vektreduksjon pr. sitteplass og til en besparelse på 140 MWh pr. tog og år. [5]

## 5.5 Drift

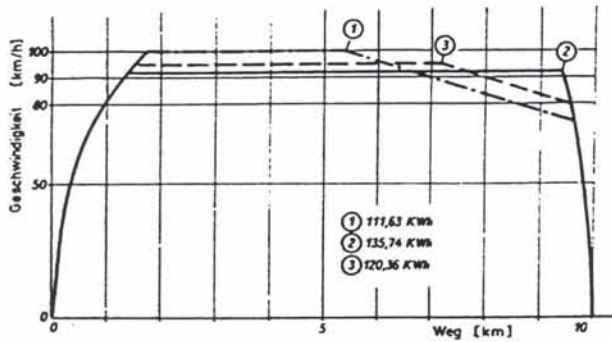
### 5.5.1 Energiøkonomisk kjøring. Utløpsmetoden

For å fastlegge en praktisk og energiøkonomisk riktig kjøretid, gjøres et påslag på netto kjøretid på ca. 3%. I tillegg kan det for elektrisk drift også gis et tidspåslag på 2 min pr. 100 km kjørelengde for utligning av midlertidige saktekjøringer. Denne korteste kjøretid inkl. disse påslag gir da kjøretider som inngår i ruteplanen.

Mulighet for energioptimal kjøremåte for ekspressstog fås når dette påslaget er tilsammen 4-5%, og under forutsetning av en bestemt kjøremåte.

For ruteplan 94 - R94 - er det nyttet omtrent disse påslag.

Eksempel 1.



#### *Bruk av kjøretidsoverskudd*

Figuren viser 3 forskjellige måter å kjøre samme strekning med praktisk talt samme kjøretid. Energiforbruket er imidlertid 18% høyere ved kjøremåte 2 enn ved kjøremåte 1.

Kjøremåte a: Rask kjøring til 100 km/h, utløp til 73km/h, bremsing.

Kjøremåte b: Rask kjøring til 92 km/h, intet utløp, bremsing.

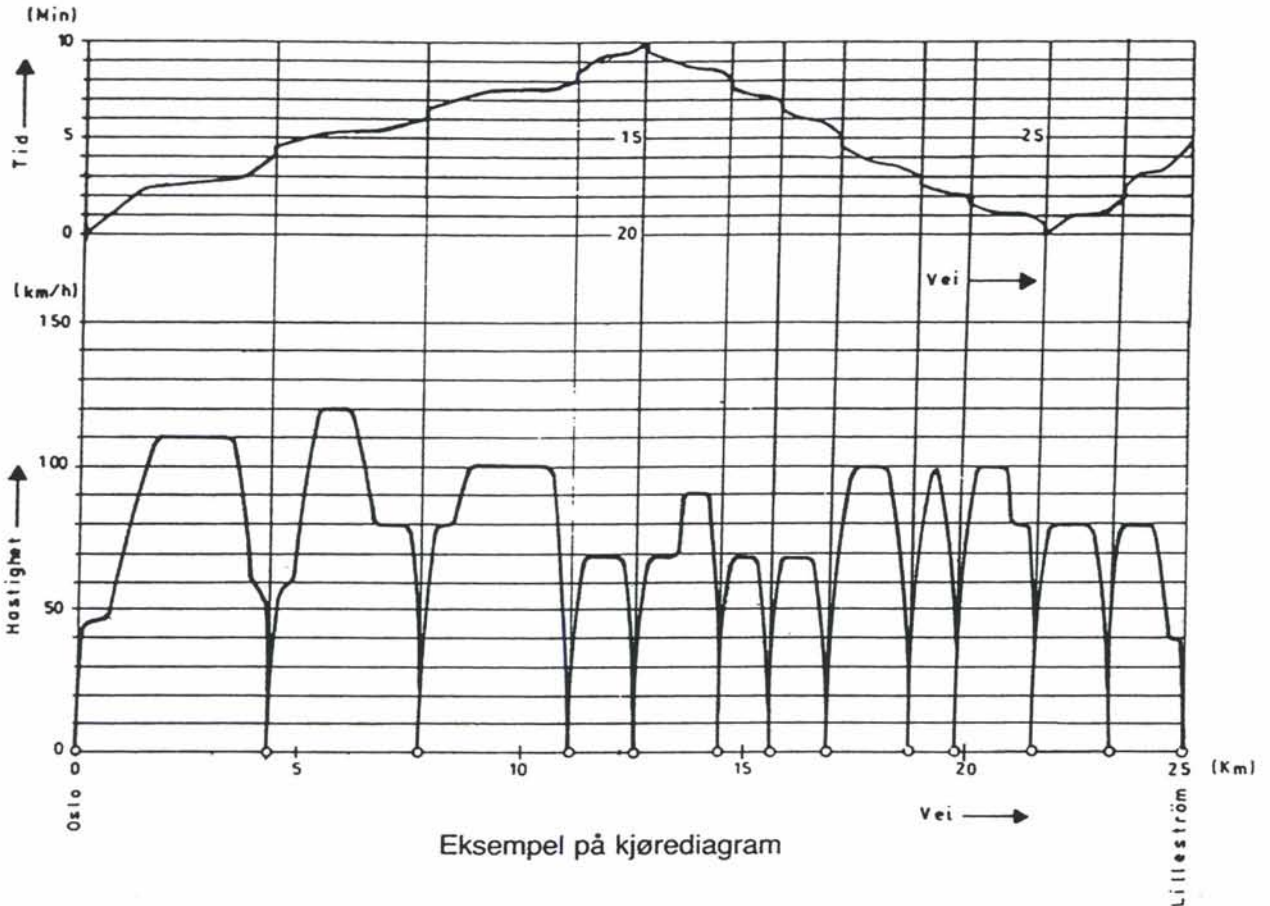
Kjøremåte c: Rask kjøring til 95 km/h, utløp til 80 km/h, bremsing.

Beregninger/forsøk ved DB viser at det i nærtrafikk - uten investeringer - kan spares 10-15% energi ved å forlenge kjøretiden 1-2% [19] og ved konsekvent bruk av utløpsmetoden.

Energiøkonomisk kjøremåte er:

- Igangkjøring med tillatt starttrekkraft til nødvendig hastighet.
- Gjøre utløpsvei så lang som mulig.

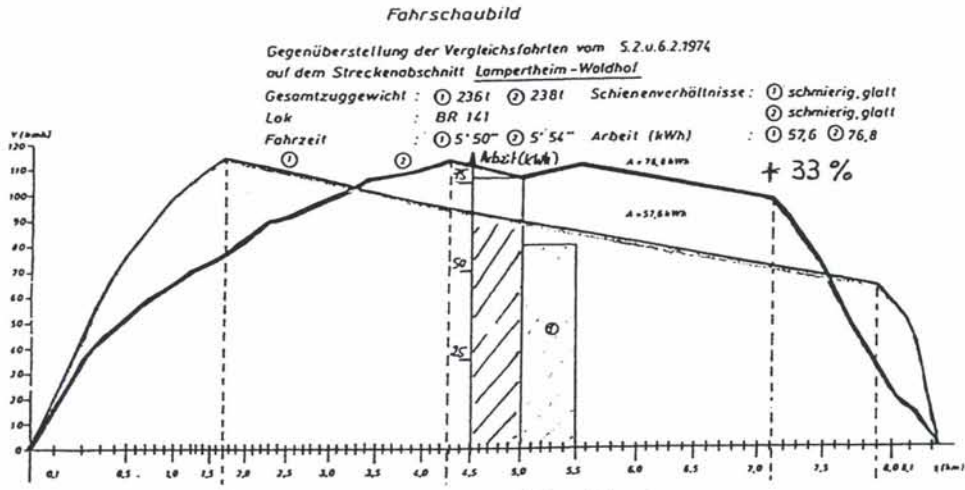
Eksempel 2.



Figuren viser et kjøredigram for et to-vognsett BM69 på strekningen Oslo S - Lillestrøm ved idriftssettelse i 1970. Reisetid 25 min, inkludert 11 stopp av 20 sek. Reisetiden var meget anstrengt - utløpsmetoden kunne ikke nyttes fullt ut. Det var imidlertid økonomisk meget viktig å oppnå en reisetid på 25 min av hensyn til en god utnyttelse av materiellparken ved bruk av timekjøring. Energiøkonomisk var kjøringen uheldig med et spesifikt energiforbruk på ca. 105 Wh/tkm. Etter at Oslo-tunnelen ble åpnet og togene gikk Skøyen - Lillestrøm, ble rutene endret til 26 min (4% økning). Dette gir mulighet for å kjøre mere etter utløpsmetoden, noe som har gitt en reduksjon i spesifikt forbruk på 15% (fra 105 til 90 Wh/tkm). Utløpsmetoden kan sannsynligvis utnyttes ytterligere.

## Eksempel 3.

Eksemplet viser prøvekjøringer ved DB med forskjellig kjøremåte på en 8,2 km lang strekning. Togvekt 236 tonn.



*Sammenlignende kjøringer for å undersøke energiforbruket ved forskjellig kjøremåte.*

Det er to karakteristiske måter å kjøre på, den praktiserte og den energiøkonomiske. Eksemplet viser at med en økning i kjøretiden på 1,1%, er det teoretisk mulig å minske energiforbruket med 33% [15].

NB Dersom trekkaggregatet har nettbremse for tilbakemating av energi, er det ikke mulig i tillegg å oppnå den reduksjon i energiforbruk som eksemplene 1-3 viser. Den energioptimale kjøremåte kan derfor i praksis bare utnyttes med aggregater uten nettbremse, se også pkt. 5.3.1.

Eksempel 4. Spesifikt energiforbruk for tog med mange stopp [1]

Et tog med togvekt 550 t stopper 34 ganger på en 225 km lang strekning i flatt terreng. En økning av kjøretiden fra 185 min til 192 min (3,6% gir en reduksjon i spesifikt energiforbruk på 22%.

**Konklusjon, avsnitt 5.5.1:**

Ved å forlenge kjøretiden med 1-2% og konsekvent bruk av utløpsmetoden, er det mulig uten investeringer i teknisk utstyr, men i opplæring - å spare 10-15% av det totale energiforbruk. (Dette gjelder for trekkaggregater uten nettbremse.)

### 5.5.2. Bruk av hjelpemidler for energiøkonomisk kjøring.

Eksempelene på kjøremåter i avsnitt 5.5.1 viser hvilke muligheter det finnes til å spare energi ved "riktig" kjøremåte. Å kjøre energiøkonomisk optimalt er imidlertid ofte i praksis vanskelig, fordi det må tas hensyn til:

- disponibel kjøretid
- strekningsdata
- tillatt hastighet
- togdata som:
  - togvekt
  - toglengde
  - kjøremotstand
  - bremseprosent

Da mulighetene for å spare energi er store, utvikles og prøves det ved mange forvaltninger hjelpemidler av forskjellig art for å hjelpe lokførere til å kjøre mest mulig energiøkonomisk. Det må her nevnes at slik kjøring også vil gi mindre mekanisk bremsing, som igjen gir mindre slitasje på bremsestell, bremseklosser og hjul. Her skal bare kort refereres noen hjelpemidler [10]:

- Opplæring av lokførere.  
Her gjennomgås generelle regler for energioptimal kjøring, igangsetting, utnyttelse av den kinetiske energi med lengst mulig utløpsstrekning og utnyttelse av den potensielle energi i fall.
- Faste kjennetegn/merker på banen.  
Kan f.eks. nyttes til å angi der trekraften koples ut og utløpsperioden begynner. Merkepunktene må fastlegges ved optimeringsberegninger på stasjonære anlegg. Metoden er vel i praksis brukbar på begrensede strekninger med togslag av samme type. f.eks. BM69 i nærtrafikk i Oslo-området.
- Grafiske hjelpemidler.  
Med hjelp av stasjonære regnearbeid kan en for bestemte tog, strekninger og kjøretider oppgi betingelsene for riktig kjøremåte. Dette kan gjøres i form av:
  - forenklet, grafisk fremstilling av kjøreforløpet
  - i tabellform, eller
  - som tilleggsopplysninger i rutebok.
- Microregner på trekkaggregat.  
Ved å installere en microregner på trekkaggregatet, kan nødvendige data for banestrekningen, ruteplan og togdata gi føreren informasjonene som hjelper han til å kjøre mest mulig energioptimalt. Et praktisk problem vil her oppstå, f.eks. ved ruteplanskifte hvert år dersom programmet må endres.

På nytt trekkraftmateriell med asynkronmotorteknikk. f.eks. BM70, nyttes allerede microregner for andre formål. Der vil forholdene ligge til rette for å supplere med tilleggsutstyr til hjelpemiddel for å kjøre økonomisk.

Pris for microregner oppgis å være så lav at en ved de høye innsparingsmulighetene i nærtrafikk kan oppnå amortiseringstider på ett år (Berlin S-Bahn). For nærtrafikk i Oslo-området med BM69 anslås 2 år og i fjerntrafikk 3-4 år. For tilpassing til BM70 bør omkostningene bli vesentlig lavere. Det nevnes også her at BM70 har nettbremse som vil gi større energibesparelser selv ved "normal" kjøremåte. Besparelse ut over dette ved hjelp av utløpsmetoden, blir liten.

- Driftsledesystem med stasjonære regnemaskiner.  
Dersom det finnes et sentralt driftsledesystem for å gi fleksibel driftsavvikling, øket sikkerhet og for å redusere personellbruken, kan en med tilleggsutstyr også nytte anlegget for å optimalisere kjøringen. Ved radiooverføringer eller linjeleder kommuniserer regnemaskinen kontinuerlig med toget og får infomrasjon om togposisjon, hastighet og togdata, og gir tilbake anvisninger for fremføringen av toget.

I ref. [1] angis:

Med hjelp av microregner kan spares 20%, og på enkelte strekninger 28% ved svak og midlere trafikk. I praktisk drift kan spares 10-25%. Utstyret amortiseres på 1-1,5 år.

Konklusjon, avsnitt 5.5.2:

I tillegg til sparepotensialet på 10-15% under avsnitt 5.5.1 kan det spares ytterligere inntil 10% ved å ta i bruk tekniske hjelpemidler (gjelder for trekkaggregater uten nettbremse, dvs. BM69, EI14 og EI16).

### 5.5.3 Innføring/forbedring av stasjonære tekniske anlegg

En rekke tiltak vil minske energiforbruket.

Summarisk nevnes:

- Kurveutretting
- Utbygging av enkeltspor til dobbeltspor
- Forbedring av sikringsanlegg og kryssingsspor
- Forbedret anlegg for togledelse
- Togradio med forbindelse til togledelsen

### 5.5.4 INFO-kampanje

Det bør i langt sterkere grad bevisstgjøres hvilken betydning enøk har for NSBs miljøprofil og økonomi.

Konklusjon, avsnitt 5.5.3 og 5.5.4:

Energisparingen er her vanskelig å kvantifisere, men anslås en besparelse på 2% av totalforbruket.

## Litteraturliste

1. ORE Kolloquium "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie" AZ43 - 1981 Beiträge.
2. ORE Kolloquium "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie" AZ43 - 1981 Allgemeine Anmerkungen
3. Bericht über des ORE-Kolloquium DT 139 (AZ43) 1982 "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie".
4. Bericht über das ORE-Kolloquium DT139 (AZ43) A II "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie". Anlage II
5. ORE. Frage S1028 "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie" DT 162 - 1984.
6. ORE Frage A168. Derzeitiger und künftiger Energieverbrauch der Eisenbahn. Bericht Nr. 1. Auswertung der Antworten der Bahnen auf die Umfrage hinsichtlich des Energieverbrauches. 1987
7. ORE Frage A168.2. "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie." Bericht Nr. 2. Untersuchung zur Effektivität technischer Hilfsmittel zur Durchsetzung einer möglichst energieoptimale Fahrweise. 1987.
8. ORE Frage A168.2. "Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie." Bericht Nr. 3. Modellversuche im Windkanal zur Verringerung des aerodynamischen Widerstandes von Güterwagen. 1988.
9. ORE Frage A168. Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie. Bericht Nr. 4. Entwurf Direktionskomitee. Streckenversuche zur Verringerung des aerodynamischen Widerstandes von Güterwagen. 1989.
10. ORE Frage 168. Energieprobleme der Eisenbahn. Bericht Nr. 5. Entwurf Direktionskomitee. Auswertung der Antworten der Bahnen auf die Umfrage hinsichtlich der Anwendung technischer Hilfsmittel zur energieoptimalen Fahrweise. 1989.
11. ORE Frage A 168. Energieprobleme der Eisenbahn. Bericht Nr. 6. Entwurf Direktionskomitee. Gesamtwirtschaftliche Aspekte der Energiepolitik der Eisenbahn. 1990.
12. ERRI A 168.2/RP 8. Rationelle Nutzung der elektrischen Traktionsenergie. Streckenversuche zur Verringerung des aerodynamischen Widerstandes von Güterwagen. 1992.
13. NSB Statistikk. Trykk 911.1. pr. 31.12.1992.
14. Knau U.: Konstruktive und betriebliche Massnahmen zum Energiesparen bei Fahrzeugen des Schienenpersonverkehrs. ETR-Eisenbahntechnische Rundschau 42 (1993) H4 S-255-260



15. Harprecht Wolfgang: Auswirkung des Züggewichte auf den Energieverbrauch. Glas. Ann. 113(1993) Nr. 9 s 276-386.
16. Pedall Günter. Entwicklung des Energieverbrauches eüropäischer Eisenbahnen. Elektrische Bahnen 87 (1989) 5 - s123-128.
17. Energiøkonomisering ved NSB. Problemnotat mars 1981.
18. FoU - Sporvarme. NSB. Ingeniørtjenesten. Rapport 30.12.93.
19. Hübert Hochbrück: Die energiewirtschaftliche Bedeutung des Auslaufs insbesondere für den Nahverkehr. ZEV - Glas. Ann 107(1983) Nr. 12.
20. Energiforsyning og energiforbruk i Norge. Uttalelsene fra NVE til Olje- og Energi-departementet. av 20.3.1987.
21. Energiforbruk på ekspressstog og EI17 - B7. NSB-notat 16.12.85. W. Unger.
22. BBC-Aktennotiz HBVW 85/133.
23. Energimålinger på Sørlandsbanen 29. - 29.11.86. Notat 28.7.87, Sak 584/13.
24. Z. Filipvic: Elektrische Bahnen.
25. Irsigler Manfred und Gruber Alfred: Elektrische Betrieb bei ØBB in 1991 und 1992.
26. NSB Banedivisjonen Region Vest: Hovedplan for Bergen omformer.
27. NSB BrN/BrØ: Hovedplan for forsterkning av banestrømforsyning på Dovrebanen - Hovedplan.
28. Konsulentrapport utført av UNICON, Stockholm for Banverket: Överordnad fjärrstyring och datorstöd för ekonomisk styrning av matarledningsnät. En förstudie.
29. 25 kV - 50 Hz Matesystem ved NSB av 15 mars 1994.

## BRUTTOTONNKILOMETER 1992 (1000).

BANE	NR.	ANT. KM.	TOTALT BR.TONNKM.	PERSONTRAFIKK												
				LOK. OG TRAKTORER		ELEKTRISK TREKKRAFT				MOTORVOGNMATERIELL DIESELTREKKRAFT		PERSONVG./M LOK/TRAKTOR		REISENDE I PERS.VG.		I ALT
				HOVED	ASS	HOVED	ASS	HOVED	ASS	I ALT	HOVED	ASS	I ALT	PERS.VG. I ALT	REISENDE I ALT	I ALT
I alt ekskl. Olotbanen			12182918	1014357	12514	530228	113309	380448	110856	9083	75130	3177129	171631	5594685		
Olotbanen			967582	5388	0	2781	0	0	0	0	0	22887	136	31192		
STATSBANENE I ALT			13150500	1019745	12514	533009	113309	380448	110856	9083	75130	3200016	171767	5625877		
Herav:																
Elektrisk drevne baner:			10529897	787825	9983	533009	113309	380448	22738	2350	16066	2614574	149906	4630208		
Dieseldrevne baner:			2620603	231920	2531	0	0	0	88118	6733	59064	585442	21861	995669		

## BRUTTOTONNKILOMETER 1992 (1000).

BANE	NR.	ANT. KM.	GODSTRAFIKK										
			TREKKRAFT		GODSVOGNER RAP.FRA GTI				RANA GR. KALK BRE.		I ALT	ARBEIDSTOG	ANDRE TOG
			HOVED.	ASS.	LØSLOK	SKIFTING	TONNKILOMETER LAST	LAST + VOGNVEKT	VOGNVEKT	TREKK-KRAFT	VOGN-LAST	TREKK-KRAFT	
I alt ekskl. Olotbanen			824051	128418	84079	83772	2465336	2866407	94644	6546707	24868	9309	7349
Olotbanen			61168	8448	0	0	566778	299204	0	935598	132	0	660
STATSBANENE I ALT			885219	136866	84079	83772	3032114	3165611	94644	7482305	25000	9309	8009
Herav:													
Elektrisk drevne baner:			686328	63067	72657	78222	2473640	2488208	9461	5871583	16884	9309	8009
Dieseldrevne baner:			198891	73799	11422	5550	558474	677403	85183	1610722	8116	311	5785

Vedlegg 1.

Utdrag av bruttotonkilometertabellene.

**BRUTTOTONKILOMETER (1000).**

*Vedlegg 2.*

Bane	Nr.	Ant. Km.	Totalt antall bruttotonkilometer			
			1990	1991	1992	1993
<b>OFOTBANEN</b>	240	42	22412	39614	40522	27874
Malmtog Ofotbanen Lok.			76788	78080	68836	75288
Vogner			329997	305122	298172	306306
Malm			582360	546948	560052	544320
<b>STATSBANENE I ALT *****</b>	*****		<b>13206751</b>	<b>13144303</b>	<b>13150500</b>	<b>13301046</b>
Elektrisk drevne baner:			10538555	10514051	10529897	10621787
Dieseldrevne baner:			2668196	2630252	2620603	2679259

Kpa/Stat. AMS

# ELEKTRISK SPORVEKSELOPPVARMING

Samlet oversikt for alle distrikter.

ANTALL TUNGER (stk)

INSTALLERT EFFEKT (kW)

Distrikt	ANTALL TUNGER (stk)			INSTALLERT EFFEKT (kW)		
	50 Hz	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz	Sum	50 Hz	16 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> Hz	Sum
Oslo	1824	116	1940	2900	200	3100
Drammen	958	52	1010	1970,4	115	2085,4
Hamar	408		408	900,8		900,8
Trondheim	565	20	585	1069,4	30	1099,4
Stavanger	50		50	118,2		118,2
Bergen	156	102	258	406,7	181,4	588,1
Kr.sand	100	178	278	228	325	553
Narvik	8	70	78	21	138	159
Sum	4069	538	4607	7614,5	989,4	8603,9

Med tunge forstås varmeelementer plassert på stokkskinne, og i noen tilfeller i tillegg på tunge.

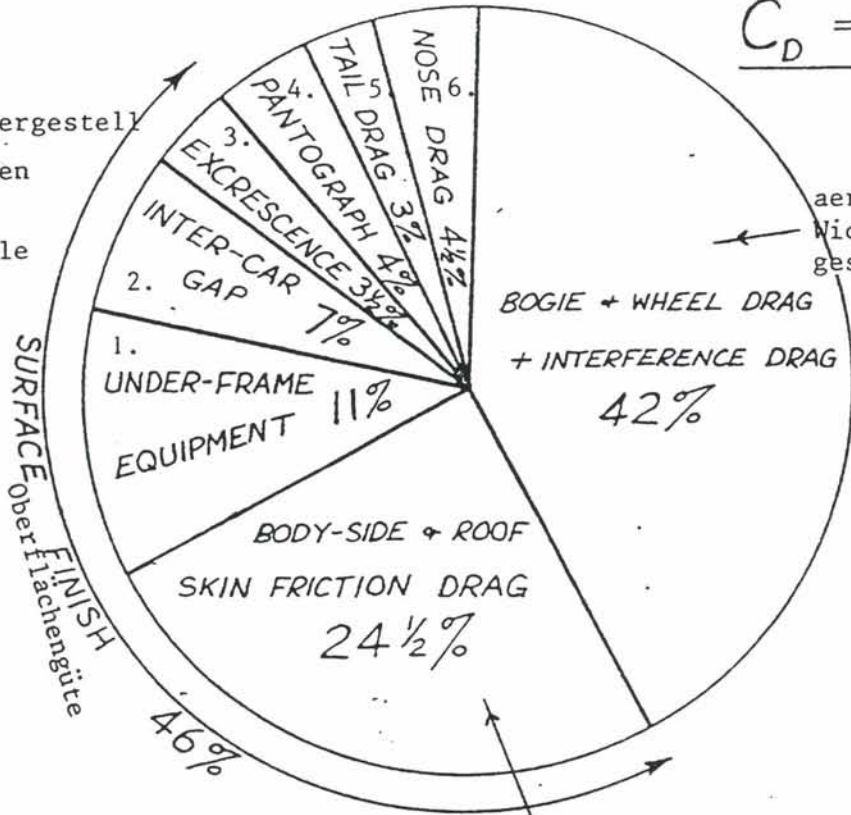
*Vedlegg 3.*

# 1965 STANDARD PASSENGER TRAIN

Lokomotive + 13 Wagen  
 LOCO + 13 COACHES

$C_D = 3.5$

1. Ausrüstung im Untergestell
2. Lücken zwischen den Wagen
3. Herausragende Teile
4. Stromabnehmer
5. aerodynamischer Widerstand des Zugendes
6. aerodynamischer Widerstand des Zugkopfes



aerodynamischer Widerstand von Drehgestell + Rad + Störungen

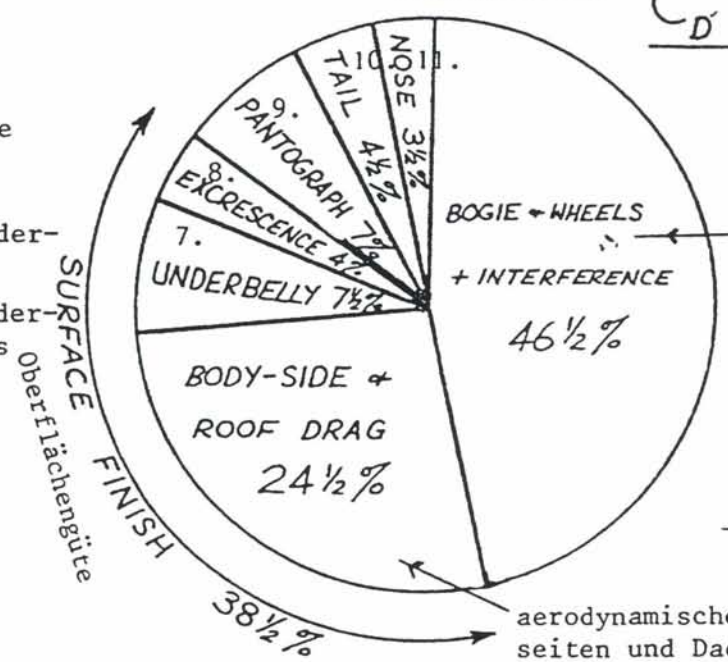
aerodynamischer Widerstand von Kastenseiten und Dach durch Oberflächenreibung

# 1980 APT-P

2 + 12 LAYOUT  
 Konfiguration

$C_D = 2.05$

7. Unterseite
8. Herausragende Teile
9. Stromabnehmer
10. aerodynamischer Widerstand des Zugendes
11. aerodynamischer Widerstand des Zugkopfes



aerodynamischer Widerstand von Drehgestell + Rad + Störungen

aerodynamischer Widerstand von Kastenseiten und Dach

Vedlegg 4.

