



Energieffektive høyhastighetstog

Av Mekonnen Germiso

Det stemmer ikke at høyhastighetstog er "enormt energikrevende"¹. Vi har gått gjennom ulike måledata for energiforbruk på ulike høyhastighetsstrekninger i Europa og Japan, hvor toppfarten kommer opp i 300 km/t, og gjennomsnittshastigheten fra endestasjon til endestasjon er over 200 km/t. Energiforbruket er ikke mye høyere enn for dagens norske togtilbud for noen av togene. For enkelte av togene er energiforbruket til og med lavere enn hos NSB. Konklusjon: Sammenlignet med fly kommer hurtigtog svært godt ut miljømessig.

Kritikken som har vært framført fra Roger Kemp – og viderebragt i norsk presse av blant andre SAS², er basert på urealistiske forutsetninger, og mangler dessuten relevans for norske forhold. Høyhastighetstog har en rekke miljøfordeler sammenlignet med fly. De har lavere energiforbruk og kan i tillegg drives på elektrisitet laget av fornybare kilder. Et togs energiforbruk påvirkes av en rekke faktorer, hvorav de viktigste synes å være togets vekt, hastighet, skinnegang og kjøremønster og teknologiske løsninger for energieffektivitet – som aerodynamikk og motorteknologi for framtid og regenererende bremsing. Selv drevet på kullkraft vil høyhastighetstog gi betydelig lavere CO₂-utslipp enn fly.

Hva denne studien har funnet:

- Moderne høyhastighetstog satt i drift i Frankrike og Japan fra 1995 og utover, bruker mindre energi enn NSBs mest moderne regiontog "Signatur", selv om de bruker ned mot en tredjedel av tiden på samme distanse³.
- Franske høyhastighetstog som ble satt i drift allerede i 1981 bruker 50 % mindre energi enn dagens mest moderne fly⁴,
- Japanske høyhastighetstog som ble satt i drift i 2007 bruker 80 % mindre energi enn dagens mest moderne fly⁵.
- Energiforbruket som SAS og andre tog-kritikere hevder at høyhastighetstog angivelig har, ligger milevidt over energiforbruket hos virkelighetens høyhastighetstog. Tallene de baserer seg på er ikke basert på målinger av energiforbruk, men er rent hypotetiske, og basert på et foreldet tallgrunnlag.

Hva er høyhastighetsjernbane?

Høyhastighetsjernbane er en kombinasjon av skinnegang og tog som til sammen gir grunnlag for langt raskere togreiser enn vi er vant med i Norge. Typisk gir høyhastighetsjernbane en gjennomsnittsfart på omkring 200 km/t (inkludert stopp på mellomstasjoner), og dermed faktisk reisetid fra by til by som er omtrent lik fly på distanser opp til ca 500 km. Høyhastighetstog har vist seg å utkonkurrere store deler av flytrafikken der de har blitt bygd i Europa og Asia. De aktuelle avstandene i Sør-Norge fra endestasjon til endestasjon er fra ca 200 km for strekningen Stavanger – Bergen, 300 km (Oslo – Kristiansand / Göteborg), 400 km (Oslo - Stavanger/Haugesund/Bergen) opp til omkring 500 km for strekningen Oslo – Trondheim (Westermann 2005).

EU Direktiv 96/48/EF av 23.juli 1996 (EU 1996), om samtrafikkvevnen i *Det transeuropeiske jernbanesystem for høyhastighetstog*, er innkorporert i norske forskrifter (Lovdata 2007). Direktivets Vedlegg 1 definerer

¹SAS-sjefen slakter lyntog" www.nettavisen.no/innenriks/politikk/article1376970.ece

² Se for eksempel" – Tog forurenser verre enn fly" www.tu.no/samferdsel/article109734.ece og "Raske tog krever mye energi", Samferdsel 10/2006 <http://samferdsel.tu.no/article19112-985.html>

³ Gjelder direkte energiforbruk pr sete, og er dermed direkte sammenlignbart.

⁴ Gjelder forbruk av primær energi, altså målt helt tilbake til "oljebrønnen" både for jet-parafin og elektrisitet.

⁵ Gjelder forbruk av primær energi, altså målt helt tilbake til "oljebrønnen" både for jet-parafin og elektrisitet.



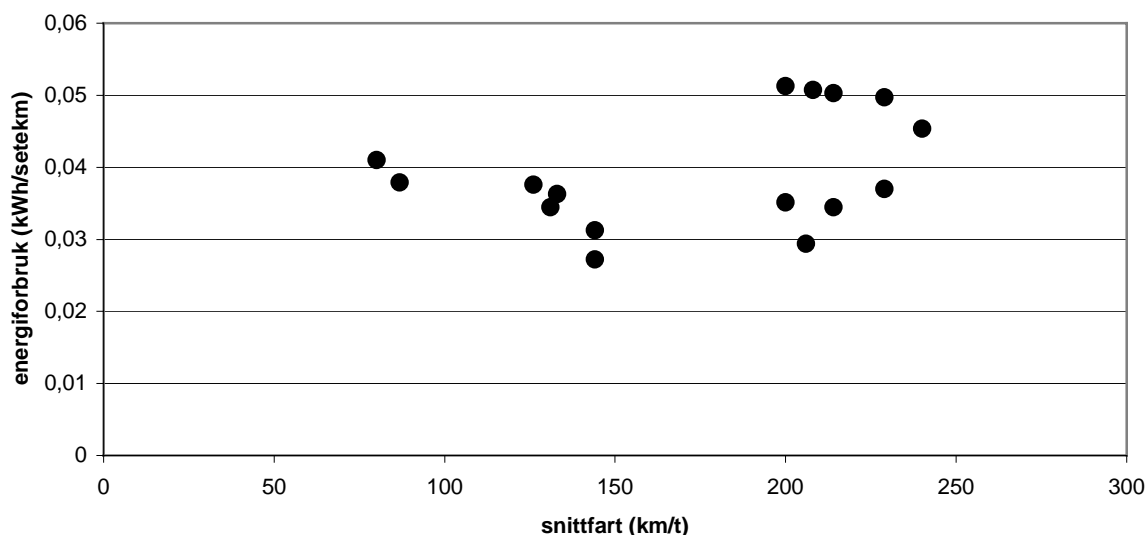
høyhastighetsjernbane som et system med nybygde linjer for hastigheter på minimum 250 km/t, eller oppgraderte linjer for omkring 200 km/t. Togene skal være bygget for minst samme hastighet, og kunne nå 300 km/t under egnede forhold. Unntaket fra de nevnte hastighetskravene er på oppgraderte linjer inn og ut av eksempelvis eksisterende stasjonsområder i bysentra, hvor hastigheten skal være høyest mulig, men hvor man aksepterer at topografiske eller byplanmessige forhold kan begrense hastigheten til under 200 km/t. Infrastruktur og togmateriell skal virke sammen på en måte som sikrer høy yteevne, sikkerhet, service og regularitet. Se Vedlegg 1 for selve lovteksten.

Hastighetskravene innebærer for eksempel at Gardermobanen, som av og til omtales som en høyhastighetsbane, etter denne definisjonen ikke er det, siden den ble nybygd for maksimalt 210 km/t. Gardermobanen kan imidlertid "oppgraderes for høyhastighetstog (...) utstyrt for hastigheter på omkring 200 km/t" slik EU-direktivet om høyhastighetsjernbane anviser. Det trenger ikke nødvendigvis bety høyere hastighet, men vil bety at høyhastighetstog fra linjer fra for eksempel Telemark eller Trondheim kan bruke denne banen⁶.

Hvor mye energi bruker høyhastighetstog?

I det følgende skal vi se på energiforbruket pr setekilometer⁷ for ulike togtilbud sammenlignet med ulike andre faktorer, som hastighet, vekt og teknologiutvikling.

Figur 1: Gjennomsnittshastighet og energiforbruk pr setekilometer for ulike togtilbud (Kilder: Se note⁸)



I figur 1 er gjennomsnittsfart og målinger av energiforbruk pr togkilometer for ulike togtilbud regnet om til energiforbruk pr setekilometer og sammenlignet i et punktdiagram. Snittfarten inkludert stopp underveis er presentert på x-aksen. Alle togene (unntatt to, som vi kommer tilbake til) har en toppfart på 270 – 300 km/t. Det første vi ser er at det ser ut til at energiforbruket øker med økende hastighet, men at denne økningen ser ut til å være relativt svak – mye svakere enn mediedebatten har gitt inntrykk av. Videre ser vi at det er stor

⁶ Flytoget bruker i dag 19 minutter direkte ruten mellom Gardermoen og Oslo S. Med en distanse på 49 kilometer er det en gjennomsnittshastighet på 155 km/t.

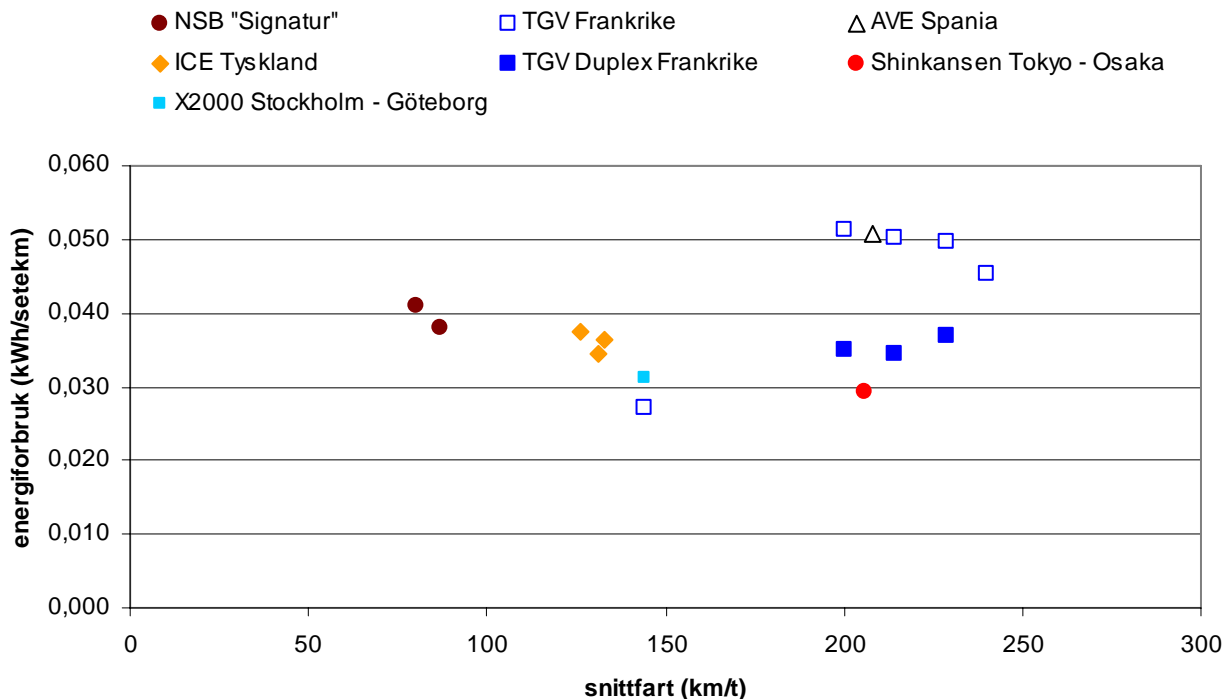
⁷ Alle tallene gjelder direkte energiforbruk (altså målt ved pantograf, altså togets strøminntak fra kjørelørdningen), pr setekilometer. Vi vil også se på utnyttelsesgrad ("kabinfaktor") til slutt i notatet. Sammenlignbare strekninger er brukt, altså "fjerntog" i motsetning til lokaltog, "flytog" eller andre spesielle togtilbud. Strekningene varierer fra en samlet kjørelengde på 226 km (TGV Réseau / Duplex Paris – Lille) til 941 km (ICE Hamburg – München via Frankfurt).

⁸ Kilder for måledata: Jørgensen & Sorenson 1997, Takagi 2005a, Takagi 2005b, Vestby 2000.



variasjon i energiforbruk pr setekilometer for tog med samme gjennomsnittshastighet. Dette tyder på at andre aspekter ved togsystemet, ikke bare hastigheten, har mye å si for energiforbruket.

Figur 2: Identifisering av de ulike togtilbudene



I figur 2 er tallmaterialet fra figur 1 identifisert etter togtilbud. I hovedsak har vi måledata fra ulike høyhastighetstog med toppfart på omkring 270 – 300 km/t, og gjennomsnittshastighet liggende i to hovedgrupper, nemlig omkring 150 km/t og 200 - 250 km/t. For å ha noen mer hjemlige størrelser å sammenligne med, har vi med energiforbruket oppgitt for norske NSB "Signatur" (BM 73) og fra svenske X2000-tog.

Hovedkonklusjonen fra tallene er at energiforbruket pr setekilometer ikke er dramatisk mye høyere for noen av de målte høyhastighetstogene enn for "ikke-høyhastighetstog" i Norge og Sverige⁹. Flere strekninger med snittshastigheter godt over 200 km/t har faktisk lavere energiforbruk enn Signatur-togene.

NSB BM73 "Signatur":

Det gjennomsnittlige energiforbruket for NSB BM73 ("Signatur") i Norge oppgis til 0,041 kWh/setekm, mens det for elektriske tog i Norge generelt er oppgitt energiforbruk på 0,042 og 0,046 kWh/setekm (SSB 1997 og TØI 1998, begge gjengitt i Vestby 2000). At tallet for el-tog generelt er høyere enn Signatur skyldes blant annet at resten av NSBs togmateriell langt på vei er eldre enn BM73, og mangler eller kun i beskjeden grad kan utnytte regenerativ bremsing¹⁰. For å få en rettferdig sammenlign har vi kun tatt med energiforbruket til moderne Signatur-tog i figuren.) Punktet lengst til venstre gjelder altså Signatur generelt og punktet til høyre gjelder et spesifikt sett måledata hentet fra strekningen Oslo – Kristiansand.

⁹ Verken BM73 eller X2000 er høyhastighetstog, i og med at verken togene i seg selv, eller skinnene de kjører på tilfredsstillende de formelle kravene til høyhastighetstog.

¹⁰ Regenerativ bremsing vil si at man bruker elmotorene som bremse (generator), og mater strømmen tilbake på kjøreledningen / strømmettet. Denne tilbakematingen blir mer effektiv fra et moderne tog med drift på mange hjul, enn fra et tog som kun har motor i et lokomotiv og derfor i større grad må bruke vanlige bremser for å redusere hastigheten / stoppe toget.



Målingene ble gjennomført av NSB og Vestlandsforskning (Vestby 2000). De viste et energiforbruk på 0,038 kWh/setekm, og er oppgitt som typisk for et kjøremønster hvor man ikke var forsinket, og slik kunne bruke de mulighetene ruteplanen gav til bruk av regenererende bremsing. At energiforbruket likevel ikke er lavere forklares med mange og krappe svinger, som krever energi å forsere i seg selv, men også fører til mye nedbremsing og påfølgende akselerasjon. Togstrekningen hadde dessuten mange stopp (8 – 11 alt etter ruteplan, både for stasjonsopphold og for møtende tog på slkiftespor), noe som også øker energiforbruket..

Det bør også legges til at den lange reisetiden gjorde at NSB en togkonfigurasjon med bistrovogn – som øker togvekten uten at man kan ta med flere reisende. I franske og japanske høyhastighetstog er reisetiden så kort at man ikke trenger bistrovogn, og således får plass til langt flere ordinære seter pr tonn togmasse.

Vi ser altså at en del høyhastighetsstrekninger faktisk har lavere energiforbruk pr setekilometer enn dagens norske togtilbud. Dette gjelder også selv om vi kun tar utgangspunkt i "optimalt" kjøremønster for et moderne norsk BM73-togsett på dagens norske skinner.

ICE Tyskland: Den lave gjennomsnittshastigheten skyldes sannsynligvis at tyske ICE-strekninger i alle fall på denne tiden var en miks av nybygde høyhastighetsspor og oppgraderte vanlige spor med til dels relativt lave hastigheter. Sammen med et større antall stopp pr tur (10-11 mot Frankrikes 2-3) kan dette sannsynligvis forklare at ikke ICE fikk større energieffektivitet ut av den lave hastigheten. Et annet moment er at lav gjennomsnittshastighet kan være en mulig forklaring på at flere av ICE-togene i likhet med NSBs Signatur-tog er utstyrt med bistrovogner, noe som altså øker togets vekt pr passasjer.

AVE, Spania: Alta Velocidad Española, som betyr "Spansk høyhastighet". Ave betyr for øvrig "fugl" på spansk. Togsettene er i essens de samme som brukes på TGV-strekningene i Frankrike, med teknologi fra 1980- / tidlig 1990-tall.

X2000: Svenske krengetog satt i drift i 1990. Ikke høyhastighetstog, men oppgradert skinnegang og få mellomstopp gav likevel en snittfart på 144 km/t på strekningen Stockholm – Gøteborg.

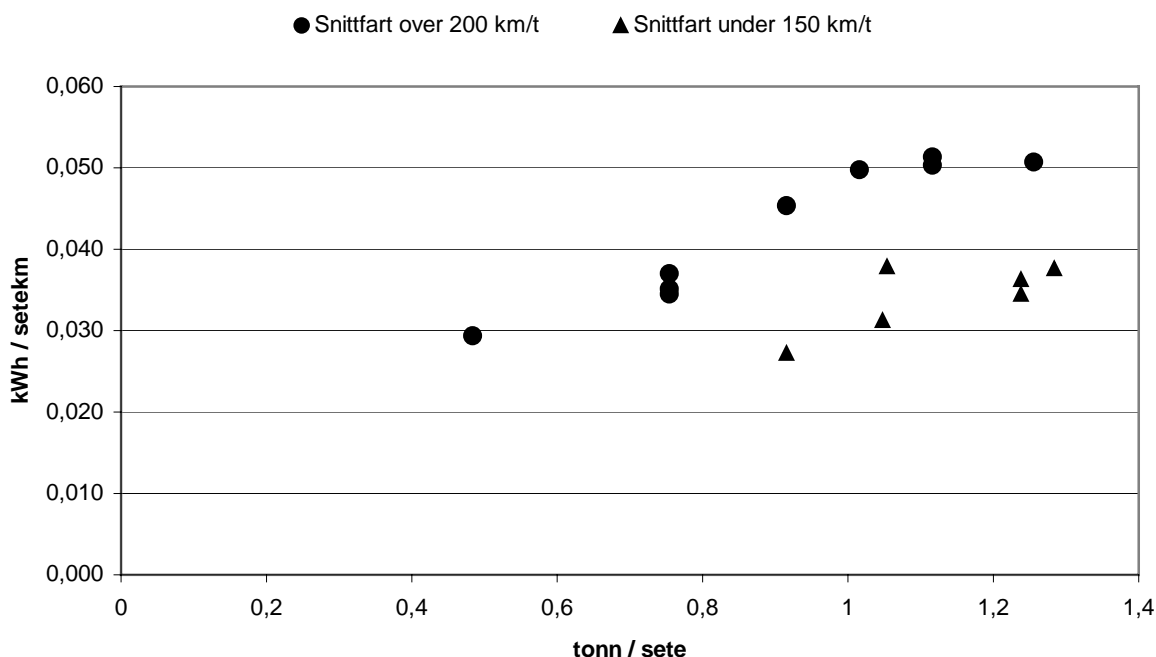
TGV Frankrike & TGV Duplex Frankrike: Train a Grande Vitesse - Høyhastighetstog.

Frankrike introduserte høyhastighetstog til Europa med TGV Paris – Lyon i 1981. I 1995 introduserte man toetasjes Duplex-togsett, som i tillegg til å gi rom for flere passasjerer, også reduserte togvekt og luftmotstand (og dermed energiforbruket) pr sete.

Shinkansen Tokyo – Osaka: Togsett med ekstremt god aerodynamikk og utpreget bruk av lette aluminiumsprofiler i stedet for stål gir meget lavt energiforbruk pr setekm, til tross for at seteplassen pr passasjer omtales som god. Aerodynamikken er primært blitt forbedret for å redusere støy langs toglinjen, som går gjennom tett befolkede områder, med redusert enerforbruk som positiv tilleggseffekt.



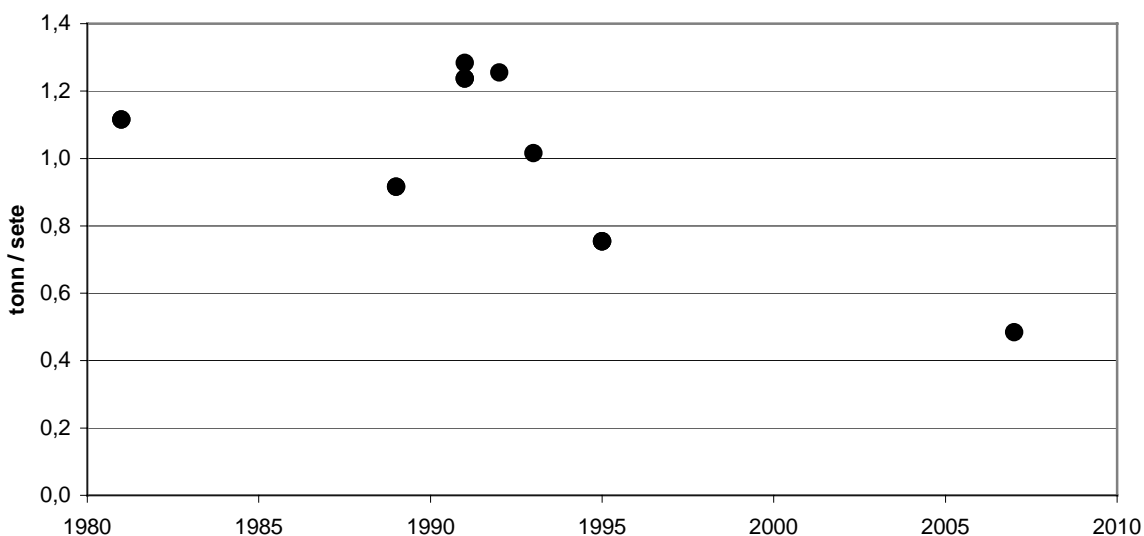
Figur 3: Energiforbruk som funksjon av vekt



Vi har tidligere sett at energiforbruket øker med økende hastighet, men at det er store individuelle forskjeller i energiforbruk innen samme fartsområde. Av figur 3 ser vi at forskjeller i togenes vekt (pr sete), er en viktig forklaring. Figuren viser at målingene gir en relativt god støtte for den teoretiske antakelsen at jo lavere ned i vekt man får togene, jo lavere blir energiforbruket pr setekilometer. Det ser ut som denne effekten er betydelig, selv for disse togene hvor gjennomsnittshastigheten er opp mot 250 km/t. Den tydelige grupperingen i grunnlagsmaterialet, hvor togene enten har en snitthastighet på over 200 km/t eller under 150 km/t, gjør det mulig for oss å vise to serier (> 200 / < 150) som illustrerer hvordan både vekt og hastighet har innvirkning på energiforbruket (jmfør de to forrige figurene).

Figur 4: Utvikling i vekt over tid

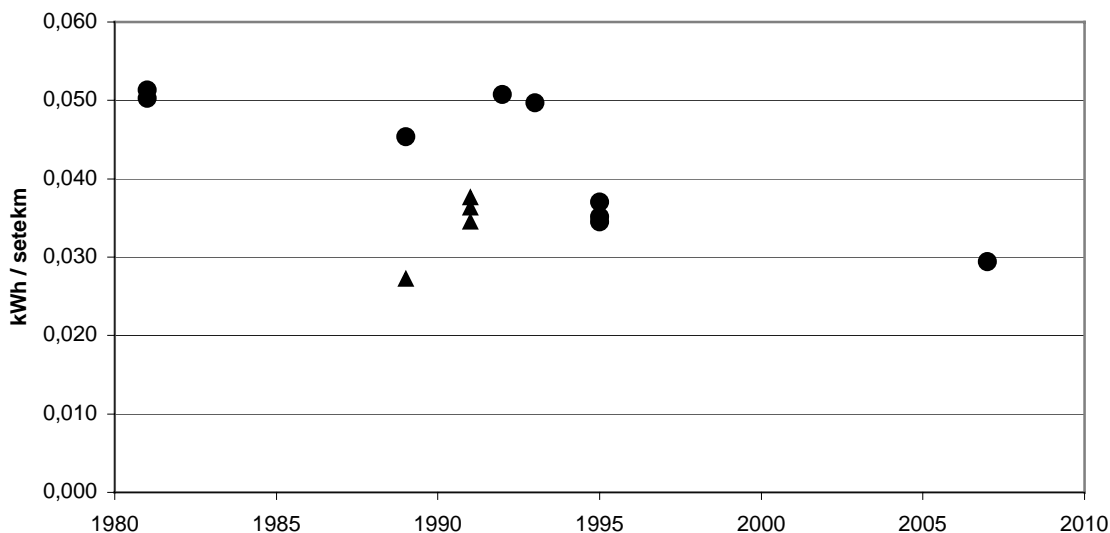
Figur 4 gir et inntrykk av teknologiutviklingen for høyhastighetstog (X2000 og Signatur er altså utelatt), gjennom å se





hvordan utviklingen i vekt pr sete har vært fra de første TGV Sud-Est togene ble satt i drift på strekningen Paris – Lyon i 1981, til den nye N700-serien ble satt i drift på Shinkansen mellom Tokyo og Shin-Osaka 1.juni 2007.

Figur 5: Utvikling i energiforbruk pr setekilometer over tid



Figur 5 gir et inntrykk av teknologiutviklingen for høyhastighetstog (X2000 og Signatur er altså utelatt), gjennom å se hvordan utviklingen i energiforbruk pr setekilometer har vært fra de første TGV Sud-Est togene ble satt i drift på strekningen Paris – Lyon i 1981, til den nye N700-serien ble satt i drift på Shinkansen mellom Tokyo og Shin-Osaka 1.juni 2007. Strekninger med snitthastighet under 150 km/t gjengitt med trekantede punkter, strekninger med snitthastighet over 200 km/t gjengitt med runde punkter.

Effekt av energiøkonomisk kjøring

AVE – Spania: Eco driving-program		NSB Signatur: Oslo - Kristiansand	
1993	0,056 kWh / setekm	”Optimalt” kjøremønster	0,038 kWh / setekm
1994	0,052 kWh / setekm	Ved forsinkelse	0,048 kWh / setekm
1995	0,051 kWh / setekm		

For AVE viser de tre tallene nedgangen i energiforbruk i løpet av perioden 1993-95, der AVE gjennomkjørte et program for energiøkonomisk kjøring av togene (mer optimalisert bruk av regenerative motorbrems, riktig akselerasjon etc.)

For NSB har vi tatt med energiforbruk ved optimalt kjøremønster på strekningen på 0,038 kWh/setekm (som vi har brukt i figurene ovenfor), og energiforbruket når toget er forsinket og sliter med å holde ruten (0,048 kWh / setekm). Det høye energiforbruket oppstod når toget hadde problemer med å holde ruten pga forsinkelser og stram tidstabell, og det lavere energiforbruk under mer optimale forhold hvor føreren kunne holde ruten med energiøkonomisk kjøring, inkludert omfattende bruk av regenerativ bremsing.



Roger Kemp og spørsmålet om 350 km/t

I lys av det vi har sett ovenfor, kan man spørre seg hvorfor det likevel i norske media flere ganger har vært hevdet at høyhastighetstog bruker så mye energi at det nærmest er like greit for miljøet å bruke fly¹¹. Vi mener at den norske debatten er en skinndebatt, som dels skyldes en enkeltforskers bruk av urealistiske forutsetninger, og dels en overføring av problemstillinger omkring toppfart som ikke er relevante for den norske debatten.

Det siste kommer av at man nå er i ferd med å øke toppfarten på høyhastighetstog i Europa fra omkring 300 til 350 km/t. Et av spørsmålene i den britiske og franske debatten har derfor blitt: Hva er egentlig miljøgevinsten av å lokke flere flypassasjerer over på tog hvis middelet er å øke togenes toppfart fra 300 til 350 km/t og mer? Problemstillingen er gjentatte ganger løftet fram av Professor Roger Kemp ved Lancaster University (se for eksempel Kemp 2004a, b).

Bakgrunnen er enkel nok: Den fysiske lovmessighet at luftmotstanden (og dermed energimengden som må til for å overvinne den) øker med kvadratet av hastigheten. Derfor vil energiforbruket pr km/t ekstra fart øke stadig mer jo høyere opp i fart man presser et kjøretøy – enten dette er en bil, et fly eller et tog. Kemp har i sitt eksempel beregnet at togets energiforbruk øker med 19 % når man øker topphastigheten fra 300 til 350 km/t og snitthastigheten fra 225 til 240 km/t.

Med bakgrunn i at ingen av de foreslåtte norske høyhastighetsjernbanene er planlagt bygd for mer enn maks 270 - 300 km/t, sier det seg selv at den franske problemstillingen om 300 versus 350 km/t ikke er relevant for Norge. Å debattere energiforbruket hos høyhastighetstog basert på Kemps forutsetning om 350 km/t, blir derfor ikke så interessant. Men siden spørsmålet er reist av aktører i den norske debatten, og er interessant rent faglig, vil vi likevel se litt på det.

Kemps eksempel er altså en hypotetisk toglinje London – Edinburgh (600 km), med toppfart 350 km/t og reisetid like i overkant av 2,5 timer. Det vil si en snitthastighet på omkring 240 km/t. Med strøm produsert fra fossile kilder hevder Kemp at toget vil ha et primært energiforbruk pr sete som er 10 % høyere enn om man brukte fly på samme strekningen.

I tabellen nedenfor viser vi energiforbruket, fra venstre mot høyre, for følgende fire alternativer:

1. Kemps beregning for et hypotetisk tog med toppfart 350 km/t
2. Kemps beregning for et hypotetisk tog med "norsk" toppfart 300 km/t.
3. Vår beregning ut fra de høyeste energiforbrukstallene vi har funnet i empiriske undersøkelser om høyhastighetstogs energiforbruk, kombinert med et elsystem med store overføringstap. Overføringstapene tilsvarer hva vi har i
4. Vår beregning ut fra de data vi har funnet i empiriske undersøkelser om høyhastighetstogs energiforbruk med beste teknologi som er i bruk i dag¹².

De fire alternativene sammenlignes så med hva Kemp oppgir som primært energiforbruk for flytypen Airbus A321 - en av de mest energieffektive flytypene i verden.

¹¹ Se for eksempel Wormnes 2006.

¹² Scenarioene er basert på dagens teknologi, og tar således ikke hensyn til potensialet for teknologisk forbedring i fht. energieffektivitet.

Tabell 1: Kemps tall for energiforbruk sammenlignet med maks- og min-beregninger basert på målt energiforbruk¹³

	Kemps beregning 350		Kemps beregning 300		Høyeste energiforbruk m/måledata	Laveste energiforbruk m/måledata
Toppfart	350 km/t		300 km/t		300 km/t	270 km/t
Snitthastighet	240 km/t		226 km/t		208 km/t	206 km/t
Direkte energiforbruk (kWh pr setekm) ¹⁴	0,095	0,117	0,080	0,094	0,051	0,029
Effektivitet i kraftoverføring ¹⁵	65 %	80 %	65 %	80 %	82 %	91 %
Generert kraft i kraftstasjon (kWh/setekm)	0,146		0,123		0,063	0,032
Effektivitet i kraftverk	40 %		40 %		35 %	47 %
Primært energiforbruk (kWh pr setekm)	0,365		0,308		0,179	0,068
Primært energiforbruk (liter pr setekm ¹⁶)	0,037		0,031		0,018	0,007
Differanse til Kemps oppgitte fly (0,033 l/setekm) ¹⁷	10 %		-7 %		-46 %	-80 %

For å oppsummere tabellen:

- Energiforbruket synker (fortsatt i følge Kemp) fra 10 % over fly, til å bli 7 % under fly hvis man i stedet for å legge til grunn et tog med tenkt " europeisk " toppfart på 350 km/t, legger til grunn et tog med tenkt " norsk " toppfart på 300 km/t.
- Energiforbruket synker til 54 % av et energieffektivt fly hvis man legger til grunn energimålingene foretatt om bord i de minst energieffektive togene (TGV fra 1981) og tilgjengelige data om overføringstap i et gammeldags og ineffektivt overføringssystem for kjørestrøm¹⁸.
- Energiforbruket synker til 20 % av et energieffektivt fly hvis man legger til grunn energimålingene foretatt om bord i de mest energieffektive togene og tilgjengelige data om overføringstap i et moderne, effektivt elektrisk togsystem.

¹³ Tog med toppfart 300 km/t. Måledata i fet skrift. Tall fra Kemp 2004a (side 12 m.m.) Jørgensen og Sorenson 1997, Andersson og Lukaszewicz 2006. De to kolonnene til høyre er sammenstillinger av de hhv dårligste og beste parametrene vi har funnet i det tilgjengelige datagrunnlaget, med tillegg av forutsetninger om kraftverkeffektivitet, og kan således se på som tenkte ekstremisitasjoner i begge retninger for dagens togtillbud. Framtidig teknologipotensial i fht energieffektivisering er ikke regnet inn.

¹⁴ Kemp forutsetter energiforbruk ved hjulene (0,095 kWh/setekm i venstre kolonne), mens måledataene er målt ved pantograf. For direkte sammenlignbarhet kan man eksempelvis justere for en togeffektivitet på 85 %, noe som ville gitt et forbruk ved pantograf på 0,117 kWh/setekm, og utjevne differansen gjennom tilsvarende justering av tall for effektivitet i kraftoverføring (der Kemps %-tall (venstre) er fra kraftverksvegg til toghjul, mens de andre kun er fra kraftverksvegg til pantograf).

¹⁵ Se fotnote over.

¹⁶ Energikilden som Kemp bruker som referanse er oljeekvivalenter (råolje), med energiinnhold på 10 kWh / liter. For energiinnhold i ulike energivarer, se SSB 2005.

¹⁷ Airbus A321. Oppgitt direkte drivstofforbruk for Airbus A321-200 hos SAS-gruppen (2007a) = 0,024 - 0,031 l/setekm, alt etter setekonfigurasjon. Justert opp 20 % for oljeutvinning, -raffinering og transport (som Kemp gjør), gir det et primært energiforbruk på 0,029 - 0,037 l/setekm. Primært energiforbruk i hele SAS-gruppens flyflåte varierer fra 0,029 l/setekm (Airbus A321-200 200 seter) til 0,058 l/setekm (MD 87 120 seter).

¹⁸ 5 % tap i høyspentnett og 12 % tap i Andersson og Lukaszewicz 2006.



Kemp overdriver i sitt teoretiske regnestykke i så godt som alle ledd: Spesielt er tallet for sluttforbruk av energi i toget svært overdrevet sammenlignet med empirien. Overføringstapene i nettet er også en god del høyere hos Kemp enn for moderne jernbanestandarder på 25 kV / 50 Hz¹⁹.

Summen blir at man med høyhastighetstog i realiteten vil ligge langt under fly i primært energiforbruk, selv om kraften er produsert med fossil energi. Dette vil gjelde selv om vi følger Kemps premisser om 1: Å legge varmekraft basert på olje/kull til grunn, ikke gass som har høyere energieffektivitet, og 2: Ikke å ta hensyn til at man ved elektrisitetsproduksjon kan utnytte spillvarmen fra kraftverket til andre formål, og slik få en samlet energieffektivitet i i kraftverket som er langt høyere enn lagt til grunn her, mens man ikke har en slik mulighet til utnyttelse av spillvarme når det gjelder fly.

Kritikk mot Kemp i fagmiljøet

Roger Kemps regneeksempel – omtalt av ham selv som "The controversial London-Edinburgh case"²⁰, har vært nettopp det – kontroversielt. Regneeksemplet har vært mye omtalt, og diskutert og kritisert på transportkonferanser (se Palacin & Kemp 2005 og Takagi 2005a)

En av Roger Kemps fremste kritikere har vært Dr Ryo Takagi, forsker ved School of Engineering, University of Birmingham. Mens Kemp stiller spørsmålet om tog er i ferd med å miste sine miljøfordeler sammenlignet med fly, mener Takagi at dette ikke er tilfellet. Mens Kemp hevder at tog generelt har blitt stadig tyngre – og slik fører til økt energiforbruk – viser Takagi til Japan – hvor Shinkansen-togene tvert imot har blitt lettere og mindre energikrevende, selv om hastigheten har økt (Takagi 2005b og u.å). Han beskriver også hvordan neste generasjon franske høyhastighetstog (AGV – *automotrice à grande vitesse*) nå tar i bruk flere av de energibesparende elementene fra Shinkansen, så som lettere boggier (som gir lettere tog) og trekk-kraft fordelt under alle vognene i stedet for bruk av lokomotiver, slik at man får plass til 20 % flere seter på samme tog lengde, og dessuten kan gjenvinne mer av strømmen når man bremser.

Takagi viser til at enkelte av høyhastighetsstrekningene nå bygges for 350 km/t (TGV Est og AVE Madrid – Barcelona), og at en gradvis økning i gjennomsnittshastigheten kan ventes framover. Samtidig beskriver han det som nå er i ferd med å skje som "speed saturation" (fartsmetning). Gevinsten minker for hver ekstra km/t toppfart man oppnår. For eksempel oppnår man mindre og mindre gevinst i fht reisetid, fordi togene uansett må stoppe ved stasjonene, bremse ned ved enkelte svinger og i byområder, og derfor ikke kan kjøre med maks hastighet hele veien. Banene blir dyrere å bygge, og togsettene blir dyrere. I tillegg øker også vedlikeholdskostnadene - spesielt for banelegeme og kjøreløsning - kraftig om hastigheten økes mye. I tillegg øker energiforbruket som tidligere diskutert – selv om resultatet i følge Takagi nok vil være mer fordelaktig enn Kemp hevder. Energi utgjør imidlertid en så liten andel av driftskostnadene i utgangspunktet at man kan spørre seg om dette like mye vil være et omdømmespørsmål som et spørsmål om direkte driftsøkonomi. SNCF (2007) oppgir at energiforbruket kun utgjør 4 % av driftskostnadene for TGV og 3 % for Eurostar-togene.

Kemp argumenterer ikke mot høyhastighetstog generelt, men primært mot heving av makshastigheten fra 270/300 km/t til 350 km/t +. Takagi sier seg enig i at hastighetsøkninger utover 300 km/t vil øke energiforbruket merkbart. Men diskusjonen blir da ikke for eller mot høyhastighetstog som sådan, men om hvor ambisjonsnivået for utskifting av fly med høyhastighetstog skal legges: Over hvor lange strekninger skal man bygge tog som konkurrerer med fly på reisetid? Jo lengre avstandene blir, jo raskere må toget kjøre, og jo mer energi må toget bruke, for å utkonkurrere flyet på tid. Togets tidsmessige konkurransefortrinn ligger først og fremst i at det bringer passasjerene fra sentrum til sentrum uten omstigning og venting. Jo lenger avstand, jo mindre fordel i dette, og jo mer må farten settes opp for å konkurrere.

Vi mener å ha vist i dette notatet, at denne problemstillingen ikke er relevant på så korte distanser som man har i Sør-Norge og sentrale deler av Skandinavia (200 – 500 km). Her vil det kun kreves relativt beskjedne energimengder for å konkurrere ut flyet på tid.

¹⁹ Kemps oppgitte overføringstap er også større enn for oppgraderte versjoner av 1900-talls teknologi med 15 kV og 16 2/3 Hz, jfr Andersson & Lukszevicz 2006.

²⁰ Palacin & Kemp 2005



I følge Kemp er det ikke miljøriktig å ha slike ambisjoner på strekninger på 600 km og over. Vår gjennomgang av Kems regnestykke, og Dr. Takagis gjennomgang av den teknologiske utviklingen på området, tyder på at Kemp er for pessimistisk på togets vegne. Hvor langt over 600 km grensen går, skal vi imidlertid ikke konkludere med her. Den konklusjonen vil dessuten endres framover, i takt med teknologiske miljøforbedringer i tog, fly, strømforsyning og drivstoff.

Flytrafikken har fått mye oppmerksomhet som raskt voksende miljøtrussel. Vi mener dette er med rette. Stadig flere land, også utenfor EU og Japan, ser nå til høyhastighetsjernbaner som middel for en mer bærekraftig mobilitet. Våre undersøkelser ser ut til mer enn antyde at de er på rett spor.

Kapasitetsutnyttelse

Til nå har vi sett på energiforbruk og klimagassutslipp pr sete (setekilometer). Hvor stor miljøbelastningen blir pr reisende (passasjerkilometer) blir da avhengig av hvor mange av setene som er fylt opp under kjøringen. Nedenfor presenterer vi noen ulike tall for kapasitetsutnyttelse for ulike høyhastighetstog, sammenlignet med tall fra norsk / internasjonal luftfart. For ordens skyld tar vi også med NSBs regiontog (hvor blant annet BM73 "Signatur" inngår). Som vi ser er tallene for kapasitetsutnyttelse for høyhastighetstog og fly relativt like, om vi ser bort fra tyske ICE, som ikke benytter etterspørselsstyring vha. pris.

Høyhastighetstog	Snitthastighet	Kapasitetsutnyttelse	Kilde
TGV Paris - Lyon	~210	80 %	EEA 2002
TGV gjennomsnitt	> 200	71 %	SNCF 2007
ICE Tyskland	~ 130	50 %	EEA 2002
AVE Spania	208	85 %	Jørgensen & Sorenson1997
Tokaido Shinkansen ²¹	206	68 %	Hatoko & Nakagawa 2003

Fly	Kapasitetsutnyttelse	Kilde
SAS Braathens 2006 (samlet)	69 %	SAS 2007c
Norwegian Air Shuttle 2006 (samlet)	79 %	Norwegian 2007a

Norske tog	Snitthastighet	Kapasitetsutnyttelse	Kilde
Regiontog (snitt dag/natt)	70 - 90	55 %	Andersen 2006

Forskjellen mellom kapasitetsutnyttelsen i Tyskland og Frankrike er blitt forklart med at mens Frankrike opererer med plassbestilling og prising etter etterspørsel –for å fylle opp togene best mulig, drives ICE-togene i Tyskland fortsatt med et mer gammeldags system med flat prisstruktur og uten krav om plassreservasjon. Dette gir typisk enkelte overfylte avganger mens andre er relativt tomme. Det stimulerer i tillegg til et overdimensjonert togtilbud for å kunne ta unna trafikktoppene.

NSBs fjerntog drives litt mer etter det franske systemet for etterspørselsstyring, som kan bidra til at kapasitetsutnyttelsen ikke er enda lavere. Bortsett fra den lave hastigheten og derav følgende få reisende på strekningene er det nok også en utfordring at andelen passasjerer som reiser fra endestasjon til endestasjon er relativt lav (i motsetning til på høyhastighetstog). Så lenge det er mange stopp underveis, og flesteparten av passasjerene går enten på eller av på en mellomstasjon, er det vanskeligere å få kabalen til å gå opp slik at en stor andel av setene er fylt opp hele tiden.

Lokaltog, og til dels intercity- / regiontog har typisk relativt lav kapasitetsutnyttelse, selv om det ikke virker slik for pendlere som sitter eller står i overfylte vogner. Det skyldes at trafikken er meget ubalansert. Nesten all trafikken går inn mot sentrum om morgenen, og så ut igjen på ettermiddagen. Motsatt vei kjører togene nesten tomme. I tillegg er det få passasjerer om bord midt på dagen og utover kvelden. Det siste skyldes delvis at togtilbudet ikke styres etter markedsmessige prinsipper, som ville innebåret at man lot være å kjøre

21 Snitt av de ulike delstrekningene. Data for 1995.



glisne tog. I stedet overdimensjoneres togtilbudet ved hjelp av offentlig støtte, dels av velferdsgrunner og dels for å lokke flest mulig passasjerer til å bruke tog i stedet for bil. Selv om dette isolert sett øker energiforbruket pr passasjerkilometer, kan det altså totalt sett være miljømessig og samfunnsøkonomisk lønnsomt.

I kontrast til dette er ofte trafikken på fjerntog og høyhastighetstog mer balansert. Det er derfor lettere å oppnå høy kapasitetsutnyttelse. Høyhastighetsstrekninger har som regel også høye totale passasjertall og en solid andel fritidsreisende med en viss fleksibilitet – slik som flyselskapene har. Dette gjør det lettere å fordele passasjerene utover og slik fylle opp togene. I motsatt retning virker det dersom man får en veldig høy andel av passasjerene som bruker høyhastighetstoget til arbeidspendling, eksempelvis fordi det så store prisforskjeller på boliger i sentrale strøk og ute i distriktet at det lønner seg å bosette seg langt fra arbeidsplassen, og i stedet betale det toget koster.

Vedlegg 1: Forskrift om samtrafikkvevnen i det transeuropeiske jernbanesystem for høyhastighetstog (høyhastighetsforskriften). (Lovdata 2007)²²

Vedlegg I. Det transeuropeiske jernbanesystemet for høyhastighetstog

1. Infrastrukturen

Infrastrukturen for det transeuropeiske jernbanesystem for høyhastighetstog skal være infrastrukturen for de jernbanelinjer i det transeuropeiske transportnett som er angitt i vedtak nr. 1692/96/EF av 23. juli 1996 om fellesskapsretningslinjer for utviklingen av et transeuropeisk transportnett, eller oppført i eventuelle ajourføringer av nevnte vedtak som følge av revisjonen omhandlet i vedtakets artikkel 21.

Høyhastighetslinjene skal omfatte

- jernbanelinjer som er særskilt bygd for høyhastighetstog og utstyrt for hastigheter som i alminnelighet er på minst 250 km/t,
- jernbanelinjer som er særskilt opprustet for høyhastighetstog, og som er utstyrt for hastigheter på omkring 200 km/t,
- jernbanelinjer som er særskilt opprustet for høyhastighetstog, og som har særegne trekk på grunn av topografiske eller overflatemessige begrensninger eller beliggenhet i byområdet der hastigheten må tilpasses i hvert enkelt tilfelle.

Denne infrastrukturen omfatter trafikkstyrings-, posisjonerings- og navigeringssystemer: tekniske anlegg for databehandling og telekommunikasjon beregnet på persontrafikk på disse jernbanelinjene for å sikre sikker og enhetlig drift av jernbanenettet og effektiv trafikkstyring.

2. Rullende materiell

Det rullende materiellet nevnt i denne forskrift skal omfatte tog konstruert for å brukes

- enten i hastigheter på minst 250 km/t på jernbanelinjer bygd særskilt for høye hastigheter, samtidig som de muliggjør drift i hastigheter over 300 km/t når omstendighetene tillater det,
- eller i hastigheter omkring 200 km/t på jernbanelinjer i seksjon 1, der de er forenlige med disse jernbanelinjenes ytelsesnivå.

3. Forenlighet med det transeuropeiske jernbanesystemet for høyhastighetstog

Kvaliteten på jernbanetjenestene i Europa avhenger blant annet av en svært høy grad av forenlighet mellom infrastrukturens egenskaper (i vid forstand, dvs. alle berørte delsystemers faste anlegg) og det rullende materiellets egenskaper (herunder de berørte delsystemenes komponenter som befinner seg ombord). Yteevnenivåer, sikkerhet, driftskvalitet og kostnader avhenger av denne forenligheten..

²² Implementering av EU Direktiv 96/48/EF av 23.juli 1996 (EU 1996)



Vedlegg 2: Oppstilling av data

Land	Togtype	Strekning	Satt i drift	Distanse (km)	Mellomstasjoner	Toppfart	Snitt-hastighet	Vekt/sete (tonn)	Energiforbruk (kWh/setekm)
Tyskland	ICE 1	Hamburg - Basel	1991	844	10	-	126	1,3	0,038
	ICE 1	Hamburg - Wurtzburg - Munchen	1991	807	10	-	133	1,2	0,036
	ICE 1	Hamburg - Frankfurt - Munchen	1991	941	11	-	131	1,2	0,034
Frankrike	TGV Sud-Est	Paris - Lyon	1981	427	2	270	214	1,1	0,050
	TGV Sud-Est	Paris - Lyon	1981	427	3	270	200	1,1	0,051
	TGV Atlantique	Paris - St. Pierre des Corps	1989	221	2	300	240	0,9	0,045
	TGV Atlantique	St. Pierre des Corps - Bourdeaux	1989	348	4	220	144	0,9	0,027
	TGV Reseau	Paris - Lille	1993	226	2	300	229	1,0	0,050
	TGV Duplex	Paris - Lyon	1995	427	2	270	214	0,8	0,034
	TGV Duplex	Paris - Lyon	1995	427	3	270	200	0,8	0,035
	TGV Duplex	Paris - Lille	1995	226	2	300	229	0,8	0,037
Spania	AVE	Madrid - Sevilla	1992	471	0	300	208	1,3	0,051
Japan	Shinkansen 700	Tokyo - Shin-Osaka	2007	515	0	285	206	0,5	0,029
Sverige	X2000	Stockholm - Göteborg	1990	456	2	200	144	1,0	0,031
Norge	Signatur	Gjennomsnitt	1997	-	-	160	~ 80	1,1	0,038
	Signatur	Oslo - Kristiansand	1997	353	8 - 11*	-	87	1,1	0,041

* Inkludert stopp på kryssingsspor.



Kilder

- Andersen, Otto 2006: *Transport, miljø og kostnader*. VF-notat 15/2006. Vestlandsforskning, Sogndal
www.vestforsk.no/www/download.do?id=630
- Andersson, P. & Lukszevicz 2006: *Energy consumption and related air pollution for Scandinavian electric passenger trains*. Report KTH/AVE 2006:46. Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm
www.kth.se/fakulteter/centra/jarnvag/publications/Energy_060925.pdf
- Hjort Bek, B. & Sorenson, S. 1998: *Future emissions from railway traffic*. Report for the project MEET: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport.. Technical University of Denmark, Lyngby
www.inrets.fr/infos/cost319/MEETdel25-rail.pdf
- China Post 2007: *THSRC April revenue exceeds NT\$1 bil.*
www.chinapost.com.tw/archive/detail.asp?cat=1&id=109339&d=2007511
- DE Consult 2000: *Vurdering av planmaterialet for Haukelibanen*. Deutsche Eisenbahn Consulting GmbH. Germany
www.norskbane.no/hk/kvalsikr.doc
- EEA 2002: TERM 2002 29: *EU — Occupancy rates of passenger vehicles*. Indicator fact sheet. European Environmental Agency.
http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/transport/indicators/technology/TERM29.2002/TERM_2002_29_EU_Occupancy_rates_of_passenger_vehicles.pdf
- EU 1996: *EU Direktiv 96/48/EF av 23.juli 1996 (EU 1996) om samtrafikkevnen i det transeuropeiske jernbanesystem for høyhastighetstog* <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0048:DA:HTML>
- Flytoget 2007: *Rutetider og Om Flytoget*. www.flytoget.no Besøkt 25.juli 2007
- FIVH 2005: *Høyere fart ødelegger miljøet*. Framtiden i våre hender.
www.framtiden.no/index.php?artikkelid=1562&back=1
- Hatoko M. & Nakagawa, D. 2003: *The recent progress of Hokuriku Shinkansen and its way to completion*. www.osaka-sandai.ac.jp/ce/rt/19xx/02/02ICIT.pdf
- Jørgensen, M.W. & Sorenson, S. 1997: *Estimating emissions from railway traffic*. Report for the project MEET: Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport.. Technical University of Denmark, Lyngby.
www.inrets.fr/infos/cost319/MEETDeliverable17.PDF
- Kemp, Roger 2004a: *Environmental impact of high-speed rail*. Presentasjon. Lancaster University
www.engineering.lancs.ac.uk/research/download/Environmental%20impact.pdf
- Kemp, Roger 2004b: *Transport energy consumption*. Discussion paper. Lancaster University.
www.engineering.lancs.ac.uk/research/download/Transport%20Energy%20Consumption%20Discussion%20Paper.pdf
- Kim C.-H. 2005: *Transportation Revolution: The Korean High-Speed Railway*. Japan Railway & Transport Review 40, Mars 2005 www.jrtr.net/jrtr40/pdf/f08_kim.pdf
- Lovdata 2007: *Forskrift om samtrafikkevnen i det transeuropeiske jernbanesystem for høyhastighetstog (høyhastighetsforskriften)*. <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20060410-0410.html> Besøkt 30.nov 2007.
- Norwegian 2007a: *Annual Report 2006*.
<http://norwegian.no/graphics/Investorrelations/Financialreports/Annualreports/NASAnnualreport2006.pdf>
- NVE 2007: *Nasjonal varedeklarasjon av elektrisitet*.
www.nve.no/modules/module_109/publisher_view_product.asp?iEntityId=10393
- Palacin, R. og Kemp, R. 2005: *The Sustainability Challenge of Rail*, NewRail & University of Lancaster. Presentert på konferansen Excellence in Railway Systems Engineering and Integration, nov 2005
www.railway.bham.ac.uk/courses/conference_1105/session_4b-p/4b_4_kemp_palacin_text_pdf.pdf og
www.railway.bham.ac.uk/courses/conference_1105/session_4b-p/4b_4_kemp_palacin_slides_pdf.pdf



Railfaneurope 2007: Artikler med tekniske data om ulike togsetts vekt og seteantall

- ICE www.railfaneurope.net/ice/ice1.html
- AVE: www.railfaneurope.net/ave/en-locos.htm

SAS 2007a: *The SAS Group's aircraft fleet*. www.sasgroup.net/SASGroup/default.asp -> SAS Group Facts -> Fleet and destinations -> Fleet. Besøkt oktober 2007

SAS 2007b: *Emission Calculator - Passenger*. <http://sasems.port.se/> Besøkt juli 2007

SAS 2007c: *SAS Group Annual Report & Sustainability Report 2006*
www.sasgroup.net/SASGROUP_IR/CMSForeignContent/2006eng.pdf

SNCF 2007: *Europe at high speed*. Sir Robert Reid Railway Lecture 2007, holdt av Guillaume Pepy CEO SNCF/Chairman Eurostar, Februar 2007. The Chartered Institute of Logistics and Transport, UK
http://ciltuk.org.uk/download_files/robertreidtranscript.pdf

SSB 2005: *Energiinnhold, tetthet og virkningsgrad*. www.ssb.no/magasinet/miljo/tabell.html

Takagi, R. 2005a: *Development of Low-Energy-Consumption Trains in Japan*. School of engineering, University of Birmingham. Presentert på konferansen Excellence in Railway Systems Engineering and Integration, nov 2005
www.railway.bham.ac.uk/courses/conference_1105/session_4c-p/4c_1_takagi_text_pdf.pdf og
www.railway.bham.ac.uk/courses/conference_1105/session_4c-p/4c_1_takagi_slides_pdf.pdf

Takagi R. 2005b: *High-speed railways: The last 10 years*. Japan Railway & Transport Review 40, Mars 2005
www.jrtr.net/jrtr40/pdf/f04_tak.pdf

Takagi R. u.å.: *Development of Low-Energy-Consumption Trains in Japan: a Literature Survey*.
www.railway.bham.ac.uk/courses/conference_1105/session_4c-p/4c_1_takagi_text_pdf.pdf

UIC 2006: *General definitions of highspeed*. International Union of Railways. Nov 2006.
www.uic.asso.fr/gv/article.php?id_article=14 Besøkt 25.juli 2007.

Vestby, Svein Erik 2000: *På tur med Signatur. Energibehov ved bruk av kreggende togsett på Sørlandsbanen*. VF-notat 5/2000. Vestlandsforskning. Sogndal. <http://vfp1.vestforsk.no/nsb/download/signatur.pdf>

Vestlandsforskning 2007: *Transportkalkulator*. www.vestforsk.no/www/show.do?page=6&articleid=1796 Besøkt 25.juli 2007

Viebahn, Peter, m.fl. 2006: *Comparison of carbon capture and storage with renewable energy technologies. regarding structural, economical, and ecological aspects*. Wuppertal institute. www.lavutslipp.no/artman/uploads/co2-avoided-ghgt-8.pdf

Westermann, Jørg 2005: *Bedriftsøkonomisk lønsemd*. Norsk Bane AS, www.norskbane.no/hk/lonsemd.doc

Wikipedia 2007: Artikler med tekniske data om ulike togsetts vekt og seteantall:

- TGV <http://en.wikipedia.org/wiki/TGV>
- NSB Signatur: http://en.wikipedia.org/wiki/NSB_BM73

Wormnes, Are 2006: *Raske tog krever mye energi*, Samferdsel 10/2006 <http://samferdsel.toi.no/article19112-985.html>