



Energiforbruk og utslipp ved persontransport

Av Mekonnen Germiso

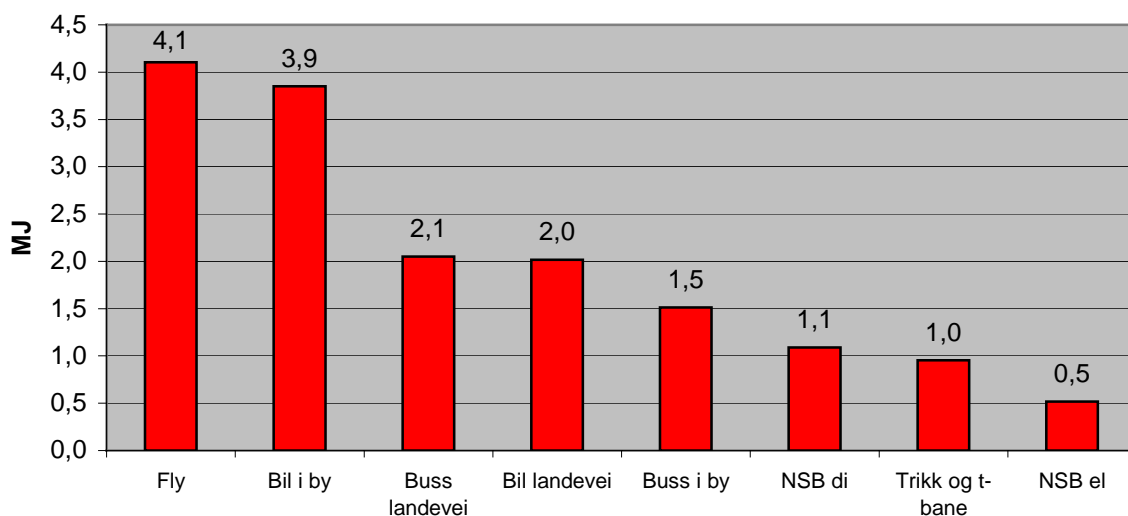
(Revidert layout 12.06.2006: Tall inne i figurer + energiforbruk i kilowattimer i tabell sluttnote ”i”).

Skinnegående transport er den mest energieffektive og miljøvennlige i Norge. Skal energieffektivitet og miljøhensyn gjelde, har privatbilen liten framtid i de store byene. Flyene vil ha tilsvarende liten rolle på strekninger hvor det er rimelig reiseavstand for tog på moderne skinnegang, hvilket vil si mellom de største sørnorske byene. Graden av effektivitet varierer mellom dieseltog, trikk/t-bane og elektriske tog, men alle sammen er de mer effektive enn persontransport på asfalt, i lufta eller til vanns. Elektrisk framdrift gir dessuten mye lavere CO₂-utslipp pr forbrukte energienhet.

Bilen utfører i dag 77% av persontransporten i Norge. I en bærekraftig by har bilen en meget liten rolle. Som konsept, med forbrenningsmotor og individuelt bevegelsesmønster, er den på alle måter bygget for landeveien. Utenfor de store byene har den derfor fortsatt en misjon, inntil mer effektive og miljøvennlige teknologier er på plass. For bussen gjelder miljøargumentet for bussen kun for byene, ikke på landeveien, med et sannsynlig unntak for ekspressbussrutene, som er avhengig av høyt belegg for å klare seg økonomisk.

Energiforbruket pr passasjerkilometer er uttrykk for hvor ressurseffektiv transporten er. Jo lavere forbruk pr passasjerkilometer, jo mer effektiv. Det andre forholdet er hvor mye forurensing som skapes pr forbrukt energienhet. Det siste som avgjør den samlede miljøbelastningen er det totale reiseomfanget – hvor mange personer som reiser, og hvor langt. For mer informasjon om reisevaner, se FIVH-rapport 8/01 ”Førsteklasses reisende – om sammenhengene mellom persontransport, inntektsnivå og miljøbelastninger. Vi vil her konsentrere oss om konsekvensene av ulikt valg av transportmidler.

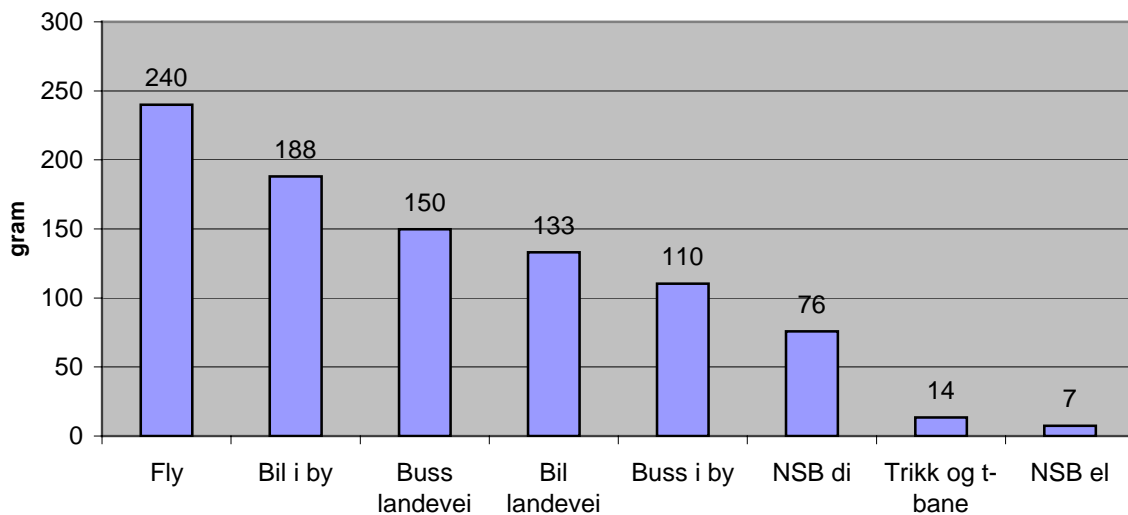
Figur 1: Energiforbruk i MJ pr personkilometer (Tabell m/kWh-tall: se sluttnote¹. Kildeliste side 4)





Fire energibærere er relevante her: Flydrivstoff/diesel, bensin og elektrisitet. Vi har valgt å fokusere på CO₂-utslippene. CO₂ er den viktigste klimagassen, og med visse forbehold kan også CO₂-utslippet brukes som uttrykk for det totale forurensingsnivåetⁱⁱ.

Figur 2: CO₂ utslipp i gram pr personkilometer (Kilder: se liste side 4)



Fly

Fly er den minst energieffektive blant transportformene i tabell 1, med et energiforbruk på 4,1 MJ/passasjerkilometer (pkm)ⁱⁱⁱ. Flymotorer er (som andre forbrenningsmotorer) dessuten ikke særlig energieffektive. Mye av energien i drivstoffet går bort i varme^{iv}. Mye av drivstoffet går dessuten med til klatringen til marsjhøyden på alt fra 3.000 til 10.000 meter. Korte flyturer bruker mer energi pr passasjerkilometer enn lange. Tabell 2 viser at for forurensingsnivået er forholdet ytterligere i flytrafikkens disfavør. Med unntak av norsk hurtigbåttrafikk (som vi kommer tilbake til), er flyreiser den mest forurensende persontransporten i Norge, målt pr passasjerkilometer.

Bil i by

Bilen utfører 80% av alt transportarbeidet i Norge, noe som sammen med den lave energieffektivitet gjør bilen til den suverent største enkeltforbrukeren av energi i transportsektoren. Vi ser at bykjøring med bil bruker 3,9 MJ/pkm, bare 5 % mindre enn flyet gjør^v. I bytrafikken er gjennomsnittshastigheten svært lav, med mye stillestående, start og stopp og sakte kjøring. En bensinmotor bruker en ikke ubetydelig mengde drivstoff til å holde motoren i gang, selv om hastigheten er lav eller bilen står stille i et kryss. Svært mye av energien forbrukt i en bensinmotor blir da til varme, og ikke framdrift. For bil gjelder de samme forhold for utslippene som for energiforbruket. Nivået er uforholdsmessig høyt i forhold til transportarbeidet som gjøres.

Buss på landevei

Høyer et al. sine tall viser at busser som kjører de lengre strekningene (opp til 200 km) nokså nøyaktig like mye energi som landeveiskjørende biler per passasjerkilometer (2,0 MJ/pkm)^{vi}. Det er imidlertid god sjanse for at ekspressbussnettet har bedre miljøeffektivitet enn dette,



fordi det er avhengig av høyere kabinfaktor enn de subsidierte regionrutene og mer landlige lokalrutene. Vestlandsforsknings transportkalkulator (se kildeliste) oppgir at en bussreise med en kabinfaktor på 50% bare har ca halvparten så høyt energiforbruk og CO₂-utslipp som bilen har.

Bil på landevei

Landeveiskjøring med bil har bare litt over halvparten av energiforbruket som bykjøring har; 2,0 MJ/pkm på landevei mot 3,9 MJ/pkm i byen. Dagens biler basert på forbrenningsmotor er kort og godt bedre egnet på landevegen enn i byen. Men selv om bilen er mer energieffektiv på landeveien enn i byen, er det likevel ikke fritt fram for å kjøre bil der. Energieffektiviteten er fortsatt så lav at det samlede energiforbruket blir svært høyt om folk kjører ofte og langt.

Buss i by

Her begynner vi å se effekten av *kollektiv* transport. Selv om en del ruter i mindre norske byer går med lite passasjerer, viser Vestlandsforsknings tall at buss i by har bare 40 % av energiforbruket og CO₂-utslippene pr passasjerkilometer, sammenlignet med biler (1,5 MJ og 110 g CO₂/pkm for buss mot 3,9 MJ og 188 g CO₂/pkm for bil).

NSBs dieseltog

Ikke alle banestrekninger i Norge er elektrifisert, til tross for at strømmen i Norge er billig sammenlignet med diesel. I denne omgang overlater vi til norske samferdselspolitikere å svare på hvorfor det har blitt slik. Dieseltogene er dobbelt så energi- og utslippseffektive som busstrafikken/privatbilene på landeveien (1,1 MJ og 76 g CO₂/pkm mot 2,0 MJ og 150/133 g CO₂/pkm). Denne miljøeffektiviteten har de altså selv om de går på trafikksvake strekninger, med få og lav kabinutnyttelse^{vii}. Muligheter for teknologiutvikling på området ser man også: NSBs nye Agenda dieseldrevne togsett har for eksempel bare 1/3 av dieselforbruket til de gamle Di3-lokomotivene (NSB 2002).

Trikk og t-bane

Tallene for trikk og t-bane viser at driften av disse er 50% mer energieffektiv enn bussdriften i byene (0,95 MJ/pkm). Dette skyldes en kombinasjon av energieffektiv teknologi (elektrisk drift) og at trikk og t-bane ofte har høyere kabinfaktor enn busser. Når det gjelder utslippene ser vi enda bedre hvilket miljøsprang vi får i det vi går over til en ny energibærer. Selv med innberegnet 5% kullkraftimport (eller 10% gasskraft) er trikk og t-bane nesten nede på en tiendedel av utslippene i forhold til buss.

NSBs elektriske tog

Vi ser at dagens norske elektriske togtrafikk er flyene totalt overlegen når det gjelder energieffektivitet. NSBs elektriske tog bruker 0,52 MJ/pkm, mens flyene bruker 4,10 MJ/pkm. Elektriske tog har overlegen teknologi – de bruker langt mindre energi på støy og varm luft enn hva flyene gjør. Dessuten slipper NSB å løfte toget 3000 meter opp i lufta for å frakte det fra Oslo til Bergen. Men Jernbaneverkets gamle spor er svingete, med nedbremsinger, stopp og oppstartinger og til dels betydelige høydeforskjeller. Alt dette krever ekstra energi^{viii}. For utslippenes del er det ingen under, ingen på siden i dagens Norge. Selv med betydelig kullkraftimport gir en togtur bare 1/35 av CO₂-utslippet pr passasjerkilometer i forhold til en flytur^{ix}.



Hurtigbåter

Diagrammene inneholder ikke tall for energieffektivitet og utslipp fra hurtigbåter av to grunner. For det første utgjør hurtigbåttrafikken under én promille av den totale persontrafikken (SSB 2004). For det andre ville resten av søylene i diagrammene våre sett relativt meningsløse ut om hurtigbåttrafikken var med. Hurtigbåtene forbruker 10 MJ/pkm, altså mer enn dobbelt så mye energi pr passasjerkilometer som flytrafikken. Forklaringen er en kombinasjon av at vann er svært uøkonomisk å reise fort på, og lav kabinfaktor på flere av hurtigbåstrekningene.

Kilder og kommentarer til tallene

Tallgrunnlaget for bil-, buss, t-bane, trikk og hurtigbåt er hentet fra Høyer et al (1993), gjengitt i Transportøkonomisk institutts "Miljøhåndboken". Tallene for fly, er hentet fra SAS' miljøkalkulator på Internett, og tall for jernbane er hentet fra NSBs miljøregnskap. Se kildelisten^x.

Litteratur og dokumenter

Høyer, K. G. og Heiberg, E. 1993: *Tabell 8.1: Energibruk for persontransport med ulike transportmidler i Norge 1990* i Høyer, K 1993: *Persontransport — Konsekvenser for energi og miljø*. Sogndal, Vestlandsforskning. Rapport 1/93 Gjengitt i *Miljøhåndboka*. TØI

NSB 2002: *Miljøregnskap 2001*, Oslo, NSB BA

SSB 2004: Innenlandsk persontransport, etter transportmåte <http://www.ssb.no/emner/10/12/transpinn/tab-2004-07-21-01.html>

Våge, M: Tekniske data og sammenlikningstabeller for hydrogen. Høgskolen i Agder. http://www.hydrogen.no/data_1.html

SAS Emissions Calculator: <http://sasems.port.se/EmissionCalc.cfm?sid=Calculate>

Vestlandsforsknings transportkalkulator <http://prosjekt.vestforsk.no/nsb/default.htm>

ⁱ Felles måleenhet for energi er Joule. I diagrammet oppgis energiforbruket i MegaJoule (MJ), som er millioner joule. I Norge, med sitt sterke fokus på elektrisitet, er vi kanskje mest kjent med betegnelsen watt / kilowatt. Én MJ tilsvarer 0,28 kWh.

| | Fly | Bil i by | Buss landevei | Bil landevei | Buss i by | NSB di | Trikk og t-bane | NSB el | Norsk bane as |
|------------|-----|----------|---------------|--------------|-----------|--------|-----------------|--------|---------------|
| MJ | 4,1 | 3,9 | 2,1 | 2,0 | 1,5 | 1,1 | 1,0 | 0,5 | 0,4 |
| kWh | 1,1 | 1,1 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 |

ⁱⁱ Utslipp oppstår ved framstilling, transport og bruk av drivstoff. Oljeutvinning og raffinering til flydrivstoff, bensin og diesel medfører til dels store utslipp til luft. Likevel tas disse utslippene sjelden med når transportsektorens miljøbelastning skal beregnes. På grunn av beskaffenheten til de tilgjengelige data har vi valgt å gjøre det samme. Derimot tar vi høyde for utslipp ved produksjon av elektrisitet, ved at en del kullkraft er tatt inn i utslippsregnskapet ved elektrisk drift. Om (og i tilfelle hvordan) dette bør gjøres er det stor uenighet om. Noen mener at all strømbruk i det nordiske el-nettet bør regnes som kullkraft, siden kullkraft er det som stenges ned først når forbruket synker. Andre vil argumentere med at ingenting av det norske el-forbruket de siste tiårene bør regnes som kullkraft, siden Norge i snitt har produsert mer vannkraft enn vi har brukt selv. I notatet er det valgt å bruke et scenario som tilsvarer at 95% av elektrisitetsbalansen i Norge utgjøres av vannkraft, og 5% er



importert kullkraft. Man ville fått samme resultat om man brukte et eksempel der 90% var vannkraft og 10% var gasskraft. Sammen med den bevisste (men gjengse) underrapporteringen av utslippene knyttet til fossile energibærere som nevnes over, bør notatet kvalifisere til å unngå beskyldninger om at man i beregningen har latt el-drift komme uforholdsmessig godt ut miljømessig.

ⁱⁱⁱ Beregningen er basert hentet fra SAS' utslippskalkulator. Norges mest trafikkerte flystrekning Oslo-Bergen er valgt som eksempel, med en moderne og "miljøvennlig" Boeing 737-600 maskin, med en kabinfaktor på 59%. SAS oppgir i sin utslippskalkulator kabinfaktoren til 59% som gjennomsnitt for SAS sine flyginger. Det vil si at det er passasjerer i 59 av 100 seter. Det er dårlig økonomi og dårlig økologi å fly med tomme seter, siden det er liten forskjell i energiforbruket mellom et fullt og et halvfullt fly. Jo høyere kabinfaktor, jo lavere energiforbruk pr passasjerkilometer.

^{iv} Det er verdt å bemerke at beregningen som er brukt her gir en energieffektivitet som er 30% bedre enn den man finner i Høyen et al (1993) sine beregninger på tallmateriale fra 1990. Man kan argumentere med at flyene har blitt mer energieffektive siden 1990. Men med en forskjell på 30% i SAS' favør på 13 år, går det kanskje også an å si at vi har valgt å være litt snille med flytrafikken i vårt valg av tallmateriale.

^v Beregningen er gjort med utgangspunkt i gjennomsnittlig bensinforbruk i norske biler i 1990, med i snitt 1,5 personer om bord. Norske biler har blitt mer energieffektive pr hk siden 1990, men samtidig større og tyngre, slik at bensinforbruket pr kjørte kilometer ikke har endret seg særlig. En "kabinfaktor" på 1,5 personer er normalt å beregne, og sannsynligvis rimelig, tatt i betraktning hvor mange som kjører alene. Utrykket 'matpakkekjører' baserer seg nettopp på at sjåførene i morgenrushet ofte ikke frakter annet enn seg selv og matpakken til jobb.

^{vi} Buss på landevei kommer litt dårligere ut på utslippsiden en den gjør på energiforbrukssiden. Det er usikkert hva dette skyldes, men bortsett fra feilkilder i grunnlagsmaterialet vi har valgt, er ett moment at alle bussene er dieseldrevne, mens flertallet av bilene er bensindrevne. Diesel inneholder mer karbon enn bensin, slik at samme energiforbruk gir større CO₂-utslipp. Dette resonnementet tar utgangspunkt i en gitt energimengde båret av henholdsvis diesel og bensin, og må ikke blandes sammen med forhold som for eksempel effektivitet i motorer og drivstoff. For to ellers like biler med henholdsvis diesel og bensindrift, vil dieselbilen som oftest ha lavere CO₂ utslipp pr kilometer enn bensinbilen, men den kan til gjengjeld ha et noe høyere NO_x og partikkelutslipp.

^{vii} Årsaken er blant annet at lokomotivene i motsetning til bussene er diesel-elektriske – en mer effektiv motorteknologi. Dieselmotoren driver en generator som igjen gir strøm til den elektriske motoren som driver hjulene. Av samme effektivitetshensyn er også dieselelektrisk drift i bruk på mange større båter. Toget må likevel dra på sitt eget lille dieseldrevne kraftverk, og blir dermed mindre energieffektive enn ren elektrisk drift.

^{viii} Høyeste punkt på Bergensbanen er Fagernut 1237 m o.h.

^{ix} Forbruket pr passasjerkilometer med fly regnes i rett linje fra flyplass til flyplass. For tog regnes avstanden langs sporet. Jo mer svingete og bratt sporet er, jo flere kilometer er det fra A til B. Energiforbruket for en gjennomsnittspassasjer fra Oslo til Bergen er:

Tabell 1: Energiforbruk pr passasjer på strekningen Oslo – Bergen

| | |
|-------------------------|---------------------------------|
| Med fly | 4,10 MJ/km * 324 km = 1328,4 MJ |
| Med NSBs elektriske tog | 0,52 MJ/km * 485 km = 252,2 MJ |

Justert for avstanden langs dagens jernbanespor krever det mer enn fem ganger så mye energi å frakte en passasjer fra Oslo til Bergen med et SAS-fly som toget på Bergensbanen. Da er ikke energien som går med til å frakte passasjerene ut til - og inn fra flyplassene regnet med. Til tross for gammel, svingete og bratt kjørevei og sviktende passasjertall er kort og godt toget totalt overlegen flyet når det gjelder energieffektivitet. Hadde energiforbruket vært en viktigere faktor i prissettingen i persontransporten, hadde flybilletter vært langt dyrere sammenlignet med togbilletter enn de er i dag.

Tabell 2: CO₂-utslipp pr passasjer på strekningen Bergen – Oslo

| | |
|---------|-----------------------------------------------|
| Med fly | 240 g CO ₂ / km * 324 km = 77,8 kg |
|---------|-----------------------------------------------|



| | |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Med NSBs elektriske tog | $7 \text{ g CO}_2 / \text{km} * 485 \text{ km} = 3,4 \text{ kg}$ |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------|

Etter at utslippene er justert for lenger reiselengde med tog, viser tabellen at det blir 23 ganger mer CO₂ fra en flytur Oslo – Bergen enn fra en togtur.

^x Tallene for flytrafikken er basert på en flyreise Oslo-Bergen, med en moderne flymaskin i SAS-flåten. Høyer et al. (1993) fant at det gjennomsnittlige energiforbruket pr passasjerkilometer med fly i Norge var 30% høyere enn dette. Elekrisitetsforbruket for NSBs elektriske tog er målt ved inntak til Jernbaneverkets omformerstasjoner.