

Rapport 3/2008

Energi- og klimakonsekvenser av moderne transportsystemer

Effekter ved bygging av høyhastighetsbaner i Norge



Av Holger Schlaupitz, Norges Naturvernforbund
September 2008

 **NORGES
NATURVERNFORBUND**
FRIENDS OF THE EARTH NORWAY

Forord

Denne rapporten er skrevet for få et bedre bilde av energi- og klimateffektene av høyhastighetsbaner i Norge. Rapporten har derfor fokus på transport over mellomlange og lange distanser. Transport over kortere avstander, f.eks. buss og tog kontra personbil internt i byregionene, drøftes ikke.

Rapporten opererer tidvis på et høyt detaljeringsnivå. Vi anbefaler dem som vil nøye seg med et overblikk, å studere kapittel 1, 2, 14 og 16.

Rapporten er skrevet med økonomisk bistand fra planavdelingen i NSB Persontog ved Johan Selmer. Norges Naturvernforbund har hatt full faglig frihet i arbeidet.

Arbeidet med rapporten har vist at det mangler mye kunnskap om energi- og klimateffektene av transport i et livsløpsperspektiv, spesielt hva angår bygging, vedlikehold og drift av infrastrukturen. Det har gjort det nødvendig å samle inn store mengder informasjon fra diverse instanser. Rapporten bør være av interesse ikke bare for dem som er opptatt av hvilke transportformer som egner seg best til hvilke formål, men også for dem som er opptatt av hvordan energi- og klimabelastningen fra bygging, drift og vedlikehold av infrastruktur kan reduseres generelt.

Vi vil takke alle som på en eller annen måte har bidratt med informasjon og innspill til denne rapporten. En ekstra takk til:

Evert Andersson (Kungliga Tekniska högskolan), Anders Beitnes (SINTEF), Amund Bruland (NTNU), Mekonnen Germiso (Framtiden i våre hender), Jon Magnar Haugen (Teknologirådet), John Hille (Vestlandsforskning / Stiftelsen Idébanken), Karl Georg Høyer (Høgskolen i Oslo), Jo Inge Kaastad (NSB), Jan Rohde (Sweco), Christian von Rozycki, Morten Skogsfjord (Multiconsult), Jørg Westermann (Norsk Bane), Stefan Uppenberg (Botniabanan) samt Ingeborg Bjørgum Seland, Veronica Valderhaug, Christopher Schive og Knut Jørgensen (alle Jernbaneverket).

Holger Schlaupitz
Oslo, 25. september 2008¹

Forsidebilde: E 6 og Østfoldbanen ved Hølen i Vestby kommune. Takk til fotograf Leif-Harald Ruud for lån av bildet.

ISBN: 978-82-7478-270-9
ISSN: 0807-0946

Norges Naturvernforbund,
Grensen 9 B, 0159 Oslo
Tlf.: 23 10 96 10
E-post/nettadresse: naturvern@naturvern.no / www.naturvern.no

¹ Noen mindre justeringer samt korrigeringer av feil er gjort fram til februar 2013. Infrastrukturbelastningen for høyhastighetstog i tabell 16-2 og 16-3 delt på en lavere trafikkmengde, med påfølgende konsekvenser for tabell 16-4 og figur 2-2. En feil i tabell 3-3 om elbiler er korrigert, med konsekvenser for tabell 3-7. En regnefeil i kapittel 6 om tilleggseffekter for flytrafikken sett i et 20-årsperspektiv gjør at denne faktoren er nedjustert. Dette har konsekvenser for drøfting i kapittel 14.3. En forskyvingsfeil i tabell 8-2 og 8-15 er korrigert. Det samme gjelder en mindre feil i tabell 8-11. I tillegg har en formelfeil bidratt til feil tall for spesielt primærenergiforbruk ved bruk av persontogmateriell i tabell 14-3, noe som er korrigert. Endringer i forutgående tabeller har gjort det nødvendig med små justeringer av tabeller i kapittel 14 og 16. Tekst i kapittel 3.6 og 7.6 om tilbringertransport til flyplass korrigert slik at den samsvarer med forutsetningene i beregningene. Det samme gjelder tall i tabell 3-9, om vogntog.

Innhold

1	Innledning og avgrensning	5
1.1	Innledning	5
1.2	Systemavgrensning og definisjoner	6
1.3	Mer om systemgrenser og beregningsmetode for infrastruktur	7
2	Oppsummering av hovedfunn	9
2.1	Framdrift av transportmidler	9
2.2	Produksjon og vedlikehold av transportmidler	9
2.3	Bygging og vedlikehold av infrastruktur	9
2.4	Oppsummering av transportmidlenes energi- og klimaegenskaper	10
2.5	Effekter av trafikkoverføring	11
2.6	Konklusjoner	14
3	Sluttenergiforbruk til framdrift av transportmidler	15
3.1	Jernbane	15
3.2	Personbil med forbrenningsmotor	16
3.3	Personbil med elektrisk drift	17
3.4	Buss	18
3.5	Fly	19
3.6	Tilbringertransport	21
3.7	Godstog	21
3.8	Vogntog	22
3.9	Postfly	22
4	Transportmidlenes kapasitetsutnyttelse	23
5	Miljøbelastning fra energiforbruk	25
5.1	Hvilken kraftmiks skal vi bruke?	25
5.2	Drivstoff	27
5.3	Varme	27
5.4	Energi- og klimafaktorer for energibærerne	28
6	Klimaeffekter av flytrafikken utover CO ₂ -utslipp	29
7	Transportmidler	30
7.1	Høyhastighetstog	30
7.2	Personbil med forbrenningsmotor, gjennomsnitt	31
7.3	Personbil med elektrisk drift	32
7.4	Ekspressbuss	32
7.5	Fly	33
7.6	Tilbringertransport	34
7.7	Godstog og vogntog	34
8	Jernbanens infrastruktur	35
8.1	Forutsetninger om infrastrukturen	35
8.2	Energiforbruk på byggeplassen	36
8.3	Tapt karbonlagring i skog og jordbunn	38
8.4	Energiforbruk i driftsfasen (drift, vedlikehold og reinvestering)	39
8.5	Materialbehov	40
8.6	Total energi- og miljøbelastning: Oppsummeringstabeller og -figurer	42
8.7	Referanseinfrastruktur	51
8.8	Elektrisk banedrift	51
9	Veg	54
9.1	Energiforbruk på byggeplassen	55
9.2	Tapt karbonlagring i skog og jordbunn	55
9.3	Energiforbruk i driftsfasen	56
9.4	Materialbehov	56
9.5	Total energi- og miljøbelastning: Oppsummeringstabeller og -figurer	58
9.6	Referanseinfrastruktur	67
10	Flyplass	68
10.1	Bygging og vedlikehold	68
10.2	Tapt karbonlagring i skog og jordbunn	69

10.3	Flyplassdrift.....	69
10.4	Total energi- og miljøbelastning: Oppsummering	70
11	Sammenlikning av infrastrukturen	72
11.1	Energi- og klimabelastning fordelt på transportarbeid	72
11.2	Faktorer for marginalbetraktninger av trafikkoverføring	73
12	Overføringspotensial i persontransporten	75
12.1	Hva kan påvirke?	75
12.2	To scenarier	76
12.3	Tre enkle regnestykker	76
12.4	Etter 2030	81
13	Overføringspotensial i godstransporten	82
14	Korridorregnskap og drøfting av funn	84
14.1	Korridorregnskap	84
14.2	Drøfting av funn.....	88
14.3	Usikkerhet om framtidig utvikling.....	89
15	Usikkerhetsdrøfting	91
16	Oppsummeringstabeller	92
	Vedlegg 1: Valg av prinsipp for energimiks	94
	Vedlegg 2: Energi- og klimabelastningen fra energiproduksjon	98
	Vedlegg 3: Energieffektivisering, kapitalslit og materialforbruk.....	102
	Vedlegg 4: Tunneler – dimensjoner og materialforbruk	107
	Vedlegg 5: Nyskapt trafikk som følge av et bedre togtilbud.....	110
	Litteraturliste	113

1 Innledning og avgrensning

1.1 Innledning

Høyhastighetsbaner i Norge har vært et kontroversielt tema i flere år. Interessen for denne type transport har økt, og det er et betydelig engasjement i organisasjoner, politiske miljøer og i opinionen generelt for å få realisert ulike konsepter for togtrafikk i høye hastigheter. Ideene støter på ulike motforestillinger, og vi opplever at det generelt er stor usikkerhet om miljøeffektene av høyhastighetsbaner. Vi opplever også at det er mye usikkerhet og manglende kunnskap om hvor jernbanen har sine største energi- og klimamessige fortrinn.

Studiens utgangspunkt gjør at vi i denne rapporten ikke drøfter energi- og klimakonsekvensene av transporter internt i byregioner eller over korte distanser. Godstransport over lengre avstander er inkludert, men detaljeringsnivået er noe lavere enn for persontransport. Dette kan delvis forsvares med at det er lite uenighet om at det er fornuftig å satse på jernbanen som godstransportør.

Rapporten ser på høyhastighetstog og personbiler i mellomdistanse- og i langdistanse-trafikk, der førstnevnte er definert som trafikk i det såkalte IC-trianglet² på Østlandet eksklusiv lokaltrafikk i Stor-Oslo-regionen (f.eks. Oslo–Gardermoen og Oslo–Drammen), mens sistnevnte gjelder trafikk mellom landsdelene. Vi ser på ekspressbuss, men skiller ikke på mellomdistanse- eller langdistansetrafikk her. Flytrafikken deler vi i to distanse-kategorier, der den første gjelder strekninger på ca. 280 km, mens sistnevnte gjelder de tungt trafikkerte destinasjonene i Sør-Norge samt Oslo–Stockholm (ca. 350 km). For transport til og fra flyplassene har vi studert en miks av ulike transportformer, mens vi for godstransporter over lengre avstander betrakter både godstog, vogntog og postfly.

For å kunne få et godt overblikk over energi- og klimaeffektene av bygging av høyhastighetsbaner i Norge er det nødvendig å kartlegge alle aktuelle transportmidlers energi- og klimabelastning i et livsløpsperspektiv, inkludert bruken av infrastruktur. Det er også nødvendig å vurdere trafikkoverføringspotensialet og konsekvensene av trafikkoverføring. I denne studien beregninger vi energi- og klimaeffektene av to scenarier for trafikkoverføring. Rapporten drøfter spørsmålet om nyskapt trafikk som følge av etablering av nye jernbanetilbud for persontransport. Et tema som ikke drøftes inngående, er hva som kan oppstå av negativ nyskapt trafikk dersom jernbane bygges som erstatning for nye vegger og flyplasser.

Et transportmiddel med tilhørende infrastruktur utgjør et transportsystem. Vi har brukt betydelige ressurser på å kartlegge energi- og klimakonsekvensene av bygging, drift og vedlikehold av infrastruktur. Bygging av infrastruktur gir en betydelig belastning i anleggsfasen. Til gjengjeld er levetida lang, noe som tilsier at byggebelastningen må nedskrives over mange år. Vi har derfor valgt å studere transportsystemenes energi-forbruk og klimagassutslipp i et 100-årsperspektiv.

For energiforbruk og klimagassutslipp som oppstår i løpet av 100-årsperioden – fra både bruk av transportmidler og vedlikehold av og reinvesteringer i infrastrukturen – opererer vi med to tidsperspektiv, nemlig 2020 og 2030. Vi forutsetter at 2020-situasjonen gjelder for første 10-årsperiode av infrastrukturens levetid, mens 2030-situasjonen gjelder resten av 100-årsperioden. Vi gjør ingen antakelser om verken teknologi- eller trafikkutvikling etter 2030, noe som naturligvis er en stor kilde til usikkerhet.

Vårt valg av 100 år som tidsperspektiv for denne studien kan i hovedsak begrunnes med infrastrukturens lange levetid. Utslipp og utslippsreduksjoner som oppstår i denne tidsperioden, summeres opp – uten at vi vekter dem i forhold til når de oppstår. Dette er en

² Med IC-trianglet (eller intercity-trianglet) menes banene mellom Oslo og hhv. Halden, Skien og Lillehammer.

klar svakhet, i og med at utslipp av ett tonn CO₂ i dag med stor sannsynlighet vil ha større negativ effekt enn et tilsvarende utslipp i framtida. Vi kjenner derimot ingen akseptert metode å vekte enkeltutslipp på i forhold til når de oppstår. Også Kyoto-protokollen opererer med et 100-årsperspektiv når klimaeffektene av ulike gasser beregnes. Effekter ved ulike tidsperspektiv drøftes kort i kapittel 14.3.

Vi forutsetter generelt at samfunnet tar klimautfordringene på alvor, og at det tas i bruk langt kraftigere virkemidler enn hva vi er vitne til i dag, for å møte utfordringene. Dette gjør at vi forutsetter forholdsvis store forbedringer i energieffektivitet i f.eks. bilparken, flytrafikken og kraftproduksjonen i 2020 og 2030.

1.2 Systemavgrensning og definisjoner

Studien tar for seg fire hovedprosesser:

1. Energiforbruk i transportmidlene, også kalt sluttenergiforbruk eller direkte energiforbruk
2. Energiforbruk og klimagassutslipp fra produksjon og distribusjon av energien som transportmidlene bruker. Energien som et transportmiddel bruker samt det som går med til å produsere og distribuere energien, er i tidligere studier kalt brutto direkte energiforbruk (Høyer og Heiberg 1993)
3. Energiforbruk og klimagassutslipp fra produksjon og vedlikehold av transportmidlene
4. Energiforbruk og klimagassutslipp fra bygging, drift og vedlikehold av infrastrukturen som transportmidlene bruker

Kapittel 3 drøfter den første prosessen. Summen av første og andre prosess kan vi også kalle for energi- og klimabelastningen fra framdrift av transportmidlene, omtalt i kapittel 3, 4, 5 og 6. Sistnevnte kapittel drøfter klimakonsekvensene av utslipp fra fly i høyere luftlag utover CO₂-utslipp.

Skillet mellom første og andre prosess er for jernbane definert som det punktet der elektrisiteten mates inn i jernbanens strømsystem. For transportmidler som går på flytende drivstoff, går skillet ved fylling av drivstoffet på transportmidlene. Den andre prosessen omhandler alt fra utvinning av råstoff, omvandling av dette til energien transportmidlene kan bruke, til distribusjon av energien gjennom kraftlinjer, rørledninger, skip, tog eller lastebiler.

Alle betraktninger er gjort i et livsløpsperspektiv, men systemgrensene for de ulike kildene som er brukt, kan variere på dette feltet. Slitasje på realkapital for anleggsmaskiner, bygninger, fabrikker etc. er forsøkt lagt til der dette mangler. Produktutvikling og markedsføring av f.eks. transportmidler kan utgjøre en betydelig energi- og klimabelastning, uten at dette systematisk er med i studien. Ansattes reisevirksomhet som ledd i å utvikle, bygge og drifte infrastruktur og transportmidler er heller ikke inkludert.

Energibelastningen måles i primærennergiforbruk, som her er definert som den totale energimengden som trengs for å framskaffe en gitt energimengde som kan brukes til f.eks. framdrift av transportmidler. Med sluttenergiforbruk menes energiforbruket i sluttledet, f.eks. energien som brukes direkte av transportmidlet, også kalt direkte energiforbruk. Forholdet mellom primærenergi- og sluttenergiforbruket gir et bilde av hvor mye ekstra energi som trengs for å utvinne, raffinere/produsere og transportere energien fram til sluttbrukerledet.

I rapporten bruker vi ord som *setekilometer*, *personkilometer*, *nettotonnkilometer* og *bruttotonnkilometer*. Med setekilometer mener vi antall seter i transportmidlene ganger antall kilometer transportmidlene kjører. Personkilometer og tonnkilometer uttrykk for såkalt transportarbeid: antall personer eller antall tonn gods multiplisert med antall

kilometer de transporteres. Nettotonn beskriver godsmengden som fraktes (som oftest inkludert emballasje), mens bruttotonn inkluderer transportmidler, lastbærere etc. Vi understreker at det ikke alltid er riktig å sammenlikne transportmidlenes miljøegenskaper på bakgrunn av setekilometer, personkilometer og tonnkilometer, i og med at det ikke nødvendigvis er lik avstand fra A til B for alle transportmidlene. For jernbane- og vegtransport er avstandene mellom to steder ofte i samme størrelsesorden. Fly har derimot ofte en kortere distanse, også når vi legger til transport til og fra flyplassene.

1.3 Mer om systemgrenser og beregningsmetode for infrastruktur

Energi- og klimabelastningen fra bygging, vedlikehold og drift av infrastruktur er utfordrende å beregne. Det foreligger relativt få studier av temaet, og det er vanskelig å gjøre generelle forutsetninger da det er stor variasjon fra anlegg til anlegg pga. ulike dimensjoner, ulikt terreng, varierende klimatiske forhold etc. Hvilke systemavgrensninger som gjøres, har også en betydelig innvirkning på resultatene.

I dette kapitlet forsøker vi å synliggjøre energi- og klimabelastningen ved bygging av ny infrastruktur over lengre strekninger i korridorer som er aktuelle for utbygging. Jernbaneberegningene gjelder følgelig som et grovt gjennomsnitt for baner mellom landsdelene (f.eks. Gardermoen–Trondheim og Drammen–Kristiansand), som inkluderer de ytre delene av IC-trianglet. Beregningene for firefeltsveg vil typisk gjelde for strekninger som Gardermoen–Lillehammer, Drammen–Kristiansand etc. Tofeltsvegen vil typisk gjelde for f.eks. Lillehammer–Trondheim. Sterkt trafikkert infrastruktur inn og ut av de store byene er ikke analysert.

I denne studien ser vi kun på den direkte transportrelaterte delen av infrastrukturen. Det betyr at butikker, kiosker, restauranter osv. på stasjoner og flyplasser er forsøkt holdt utenom beregningene. Transportetatenes administrasjonsvirksomhet samt sentral trafikkstyring, som togleder-, vegtrafikk- og flygeledersentraler, er heller ikke inkludert i studien – uten at vi er helt konsekvente på dette. Når det gjelder anlegg for vedlikehold av transportmidler, f.eks. vedlikeholdshaller for tog og hangarer på flyplasser, regnes disse som en del av realkapitalen for transportmidler og er dermed ikke inkludert i studien av infrastruktur.

Siden vi i denne rapporten ikke drøfter godstransport like detaljert som persontransport, har vi valgt å ikke inkludere godsterminaler og annen infrastruktur for kun godstransport i denne studien.

Vi deler energi- og klimabelastningen fra infrastruktur i tre hovedkategorier:

- Engangsbelastning som følge av at infrastrukturen bygges
- Øvrig belastning som er tidsavhengig, dvs. som ikke varierer avhengig av bruken
- Øvrig belastning som er bruksavhengig, dvs. som varierer avhengig av bruken

Vi gjør et poeng i å skille mellom bruksavhengig og ikke-bruksavhengig energi- og klimabelastning.³ Dette skillet er interessant og nødvendig for å kunne si noe om energi- og klimaegenskapene for ulike transportsystemer ved varierende utnyttelse av infrastrukturen.

Den bruksavhengige belastningen forutsetter vi varierer proporsjonalt med trafikkbelastningen målt i bruttovekt. Med andre ord: En trailer på 45 tonn sliter 30 ganger mer på vegen enn en personbil på 1,5 tonn. Og et godstog på 1000 tonn gir 10 ganger større slitasje på skinnegangen enn et persontog på 100 tonn. Vi har ingen dokumentasjon på at det faktisk er slik; den såkalte AASHO-undersøkelsen viser at tunge kjøretøy sliter mye mer på vegnettet enn lette kjøretøy, sett i forhold til kjøretøyets vekt, men denne

³ Det er kun for jernbaner og veger at vi synliggjør bruksavhengig belastning. Andelen belastning som er bruksavhengig, er sannsynligvis systematisk undervurdert, av mangel på sikker kunnskap.

regnemåten er i ettertid blitt kritisert, bl.a. av Hjelle (2004).⁴ For jernbane er det vanlig å bruke bruttovekt som utgangspunkt for fordeling av baneslitasje, bl.a. i Sandberg Eriksen, Markussen og Pütz (1999) samt Daljord (2003). Også de svenske baneavgiftene for marginal sporslitasje fordeler kostnader på bakgrunn av bruttovekt (Fahlgren, Hellsvik, Nilsson og Wieweg 2006).⁵

Den ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastningen fastlegges når anleggets dimensjoner bestemmes – og belastningen per transportenhet finner vi ved å dele belastningen for anlegget på transportmengden, uttrykt i bruttovekt eller på andre måter. Den årlige gjennomsnittlige ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastningen består av engangsbelastningen fra bygging av infrastrukturen fordelt på anleggets levetid (100 år), tillegg den årlige, gjennomsnittlige øvrige tidsavhengige belastningen, som omfatter drift, vedlikehold og rehabilitering av infrastrukturen.

Til å beregne energi- og klimabelastningen for infrastrukturen i et 100-årig livsløpsperspektiv har vi tatt utgangspunkt i kilder som bl.a. oppgir total belastning for kortere tidsperioder. Dersom en kilde oppgir et visst materialforbruk for en 50-årsperiode, regner vi med at forbruket er det dobbelte i løpet av 100 år.

I studiene har vi i liten grad tatt med behovet for omlegging av lokalt vegnett osv. som oppstår når nye jernbaner eller veger bygges. Kryssende bruer over jernbane og veg er derimot tatt med. Det samme gjelder kryss og tilkjøringsramper på hovedvegene.

Denne studien ser primært på energi- og klimakonsekvensene av ny infrastruktur. Skal vi være i stand til å gjøre relevante sammenlikner, er det nødvendig å vite noe også om konsekvensene av å opprettholde dagens infrastruktur. Derfor har vi gjort noen enkle vurderinger av såkalt referanseinfrastruktur, som gjør det mulig å sammenlikne energi- og klimakonsekvensene av f.eks. å bygge en ny høyhastighetsbane kontra å opprettholde dagens bane i én og samme korridor. I tillegg blir det lettere å gjøre mer relevante sammenlikninger mellom jernbane og veg.

⁴ Den såkalte AASHO-undersøkelsen fant sted i USA på 50-tallet og er utført av *American Association of State Highway and Transportation Officials*. Også Sandberg Eriksen, Markussen og Pütz (1999) har lagt til grunn at tyngre kjøretøy gir en betydelig større slitasje på vegnettet enn hva kjøretøyets vekt skulle tilsi.

⁵ Sandberg Eriksen mfl. (1999) viser imidlertid til andre studier om jernbane som opererer med faktorer som gir en overproporsjonal slitasje for tog med høy aksellast og for tog med høy hastighet. Vi ser bort fra dette i denne studien, men registrerer at dette er relevante momenter, særlig i diskusjonen om skinneslitasje på høyhastighetsbaner.

2 Oppsummering av hovedfunn

Ikke overraskende er det framdrift av transportmidlene som gir den største energi- og klimabelastningen fra et transportsystem. Det er imidlertid mange nyanser som fortjener oppmerksomhet. Vi tar først en gjennomgang av hovedfunn, før vi trekker noen slutt-satser.

2.1 Framdrift av transportmidler

Energi- og klimabelastningen fra framdrift av transportmidler består av belastningen som oppstår ved bruk av transportmidlet og ved produksjon og distribusjon av energien, samt andre effekter som påvirker klimaet, i praksis utslipp fra fly i høyere luftlag. For å beregne energi- og klimabelastningen fra produksjon og distribusjon av energi legger vi til grunn antatt framtidig energimiks i de markedene energien omsettes.

Når vi ser på energi- og klimabelastningen fra transportmidlenes framdrift, justert for normal kapasitetsutnyttelse av transportmidlene, finner vi at høyhastighetstog i lang-distansetrafikk kommer best ut med tanke på både primærenergiforbruk og utslipp av klimagasser. Forspranget på fly er stort, til tross for at vi har tatt høyde for betydelig energieffektivisering i luftfarten. Kortere flyturer – som lettere kan overføres til alternative transportformer – har et større energiforbruk per kilometer enn lengre flyturer.

Også i forhold til personbil med forbrenningsmotor har høyhastighetstog i mellom-distanse- og langdistansetrafikk et betydelig energi- og klimafortrinn. Bruk av biler med elektrisk framdrift (el- eller plug-in-hybrid-bil) – som er mest aktuelt over kortere distanser – reduserer togets fortrinn tydelig.

Ekspressbuss har noe lavere primærenergiforbruk enn høyhastighetstog i mellom-distansetrafikk, men utslippet av klimagasser er høyere enn for toget. Ekspressbuss kommer klart bedre ut enn privatbil på både primærenergiforbruk og utslipp av klimagasser.

Transporten til og fra flyplasser har i gjennomsnitt en energi- og klimabelastning som ligger et sted mellom personbil med forbrenningsmotor og ekspressbuss.

I godstrafikken ligger togets primærenergiforbruk vesentlig lavere enn vogntogets. Kjøring av godstog i høyere hastigheter enn hva som er praksis i dag, gir økt luftmotstand som kan spise opp deler av effektiviseringsgevinsten som ventes i framtida.

2.2 Produksjon og vedlikehold av transportmidler

Det går et markert skille mellom transportmidler for individuell transport og de andre transportmidlene. Høyhastighetstog, ekspressbuss og fly ligger i samme størrelsesorden, mens personbil har en energi- og klimabelastning fra produksjon og vedlikehold som er mange ganger høyere. For personbil med forbrenningsmotor utgjør tillegget for produksjon og vedlikehold i størrelsesorden 10–12 prosent, sett i forhold til energi- og klimabelastningen fra framdrift.

For godstog og vogntog har vi ikke gjort spesifikke beregninger på energi- og klimabelastningen fra produksjon og vedlikehold av transportmidler.

2.3 Bygging og vedlikehold av infrastruktur

Bygging av høyhastighetsbaner med dobbeltspor fører til en klimabelastning på om lag 4100 tonn CO₂-ekv. per kilometer bane. Deler vi dette på 100 år og legger til årlig belastning som følge av drift og vedlikehold, blir det den årlige klimabelastningen på ca. 50 tonn per kilometer bane. I tillegg kommer den bruksavhengige slitasjen.

Utslipp i byggefasen ved etablering av f.eks. en 460 km lang ny høyhastighetsbane fra Gardermoen til Trondheim med dobbeltspor blir på i underkant av 1,9 mill. tonn CO₂-ekv. Dersom banen isteden hadde vært bygd som enkeltspor med kryssingsbelter og kryssingsspor, hadde klimabelastningen i byggefasen blitt redusert med bare en firedel, til tross for at kapasiteten for dobbeltspor kan være flere ganger større enn for enkeltspor. I driftsfasen er forskjellen i klimabelastning mellom enkeltspor og dobbeltspor enda mindre.

For vegnettet er situasjonen en annen. Her er det stor forskjell mellom en tofeltsveg og en firefeltsveg. En firefeltsveg gir tre ganger så høye klimagassutslipp som en tofeltsveg. Dette skyldes bl.a. at firefeltsvegene har store og ressurskrevende toplanskryss, at vi regner høyere andel tunnel og bru på en firefeltsveg enn på en tofeltsveg, samt at firefeltsvegene vanskeligere lar seg tilpasse terrenget uten behov for store masseforflyttinger. Høytrafikkerte veger krever også mer belysning, noe som gir et betydelig energiforbruk i driftsfasen.

Sammenlikner vi bygging av én kilometer høyhastighetsdobbeltspor med bygging av én kilometer firefeltsveg, ser vi at klimabelastningen i byggefasen er noe høyere for jernbane enn for veg. Inkluderer vi driftsfasen i betraktningen, kommer derimot firefeltsvegen dårligst ut.

Av infrastrukturens klimabelastning er det konstruksjoner som bruer og tunneler som står for en forholdsvis stor andel av belastningen. Dersom vi ser på et dobbeltspor med 37 prosent tunnelandel og 9 prosent bruandel, finner vi at tunnelene står for 45–50 prosent av totalbelastningen, mens bruene er ansvarlig for om lag 20 prosent. For disse konstruksjonene er det materialforbruket som står for den største klimapåvirkningen.

Siden flyplassene varierer i størrelse, presenterer vi ingen absolutte tall for bygging og vedlikehold av en flyplass. Alle energi- og klimatall for infrastrukturen relateres til en gitt transportmengde. For flyplassene er det energiforbruket til drift av flyplassen som står for den største klimabelastningen i flyplassens levetid. Her betyr bygging og materialforbruk forholdsvis lite.

Når vi deler energi- og klimabelastningen for infrastrukturen på trafikkarbeidet som utføres, ser vi at høyhastighetsbaner ligger på omtrent det dobbelte av veg, gitt at kapasiteten utnyttes rimelig godt. Forskjellen mellom jernbane og flyplass er noe mindre. Majoriteten av energi- og klimabelastningen fra jernbane og veg er tidsavhengig, dvs. at belastningen påløper uansett om infrastrukturen brukes eller ikke. Veger kan til en viss grad dimensjoneres etter trafikkmengden. For jernbane er dette vanskeligere, og forskjellen i energi- og klimabelastning mellom enkeltspor og dobbeltspor er som nevnt forholdsvis liten. Figur 8-1, 8-2, 9-1 og 9-2 samt tabell 11-1 og 11-2 viser energi- og klimabelastningen ved ulike trafikkmengder.

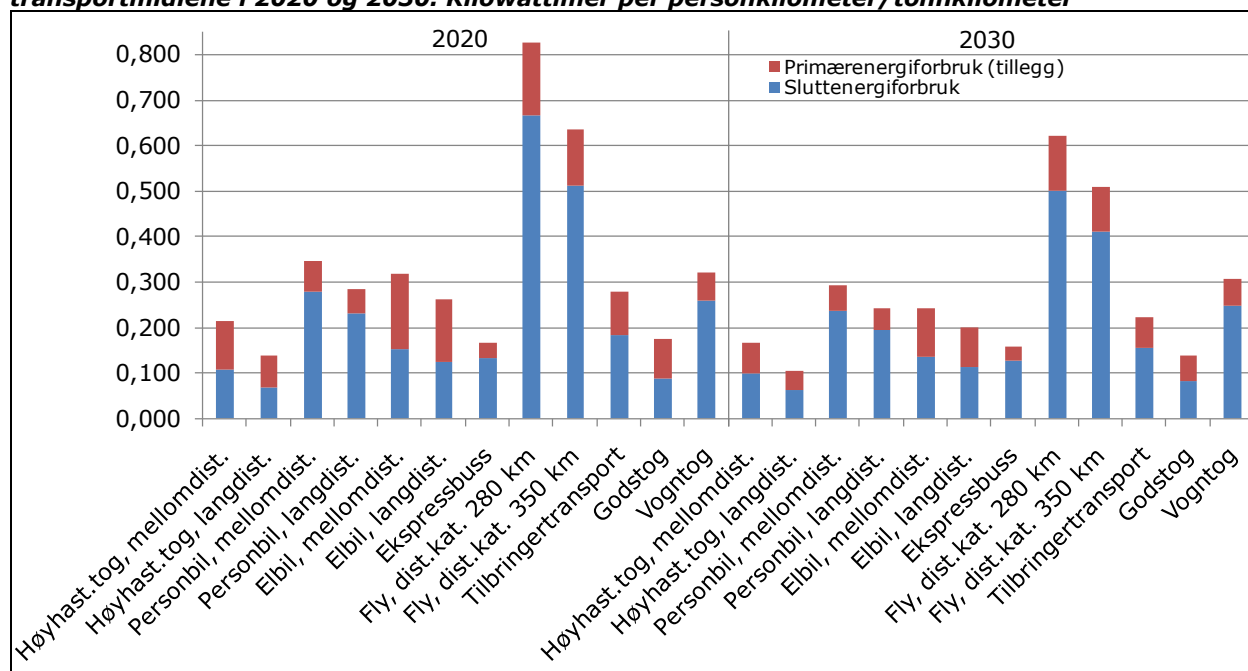
Elektrisk jernbanedrift har store klimamessige fortrinn i forhold til dieseldrift, også i et livsløpsperspektiv. Vi har gjort beregninger som viser at klimabelastningen fra produksjon av materialer som går med til å elektrifisere en jernbane, blir beskjedne sett i forhold til gevinsten i driftsfasen, også ved forholdsvis lave trafikkmengder.

2.4 Oppsummering av transportmidlenes energi- og klimaegenskaper

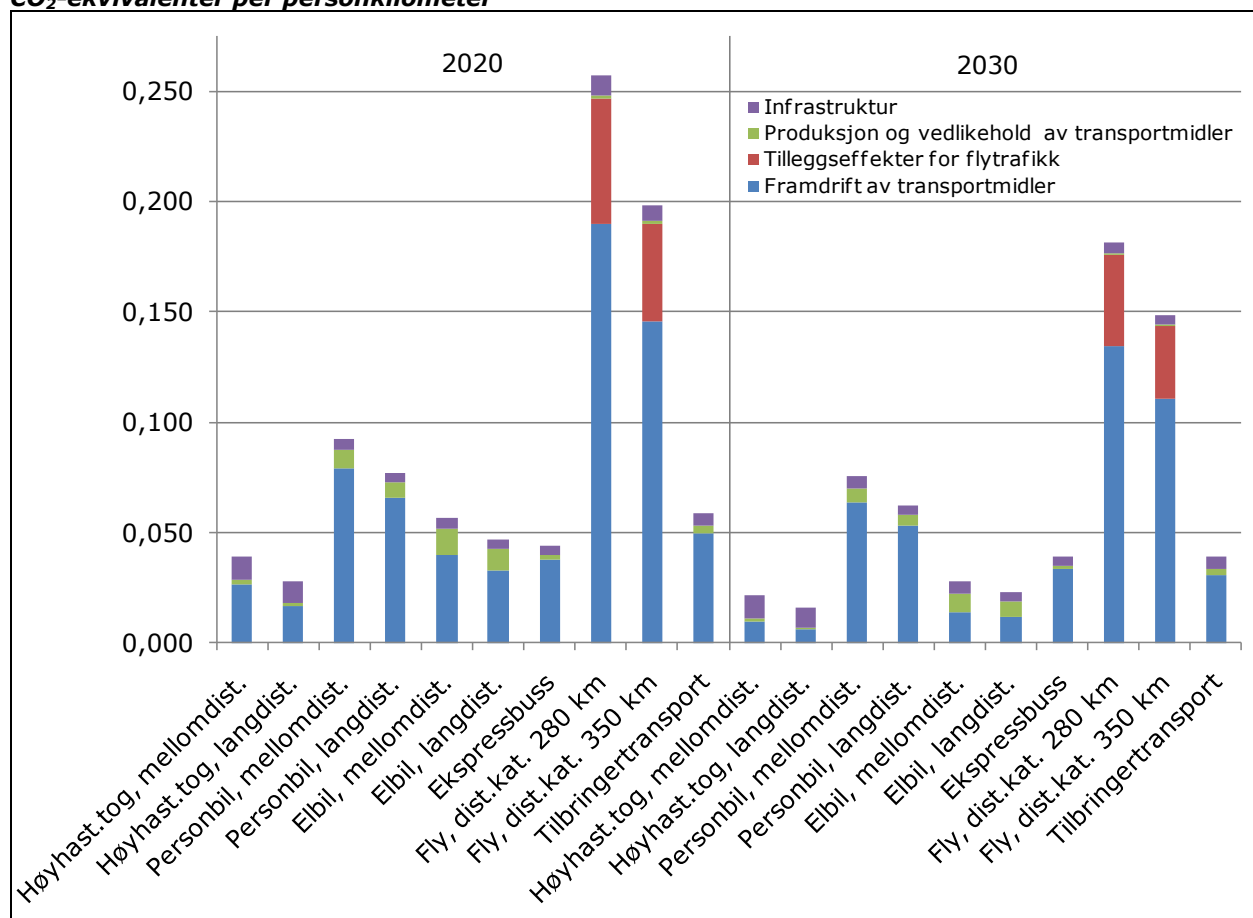
Figur 2-1 viser slutt- og primærenergiforbruket fra framdrift av transportmidler uttrykt per personkilometer og tonnkilometer. Figur 2-2 viser klimabelastningen fra framdrift av transportmidler, produksjon og vedlikehold av transportmidler samt bygging, drift og vedlikehold av infrastrukturen for persontransport. Når det gjelder infrastrukturen, forutsetter vi at høyhastighetstog går på dobbeltspor som trafikkeres av 25 000 seter daglig (sum begge retninger) i mellomdistansetrafikken og 18 000 seter daglig i langdistansetrafikken. Mellomdistansetrafikk på veg forutsetter vi at utføres på dels firefeltsveg med 12 000 personbiler daglig og dels tofeltsveg med 6000 personbiler daglig.

Langdistansetrafikken regner vi med at utføres på dels firefeltsveg med 12 000 personbiler daglig og dels tofeltsveg med 3000 personbiler daglig.

Figur 2-1: Sluttenergiforbruk og primærenergiforbruk (sum blått og rødt) for framdrift av transportmidlene i 2020 og 2030. Kilowattimer per personkilometer/tonnkilometer



Figur 2-2: Klimagassutslipp fra ulike deler av transportsystemet i 2020 og 2030. Kilogram CO₂-ekvivalenter per personkilometer



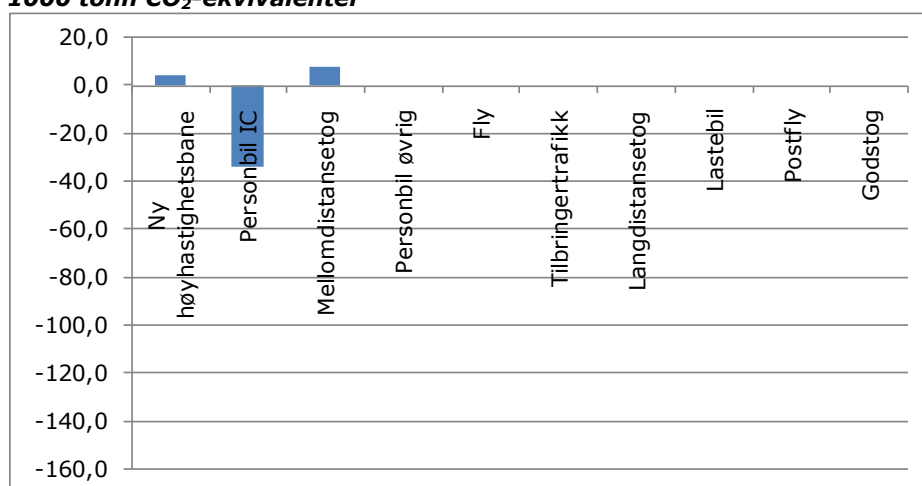
2.5 Effekter av trafikkoverføring

I denne rapporten redegjør vi for to scenarier for trafikkoverføring fra bil og fly til jernbane ved å trafikere høyhastighetstog i to transportkorridorer, nemlig Oslo–Skien/Kristiansand og Oslo–Trondheim/Åndalsnes. I førstnevnte korridor analyserer vi utbygging av strekningen Drammen–Skien som en IC-bane uten forlenging mot Sørlandet/Vestlandet, i tillegg til at vi analyserer en variant som i tillegg inkluderer full utbygging videre fra Porsgrunn til Kristiansand (Drammen–Skien/Kristiansand). I den andre transportkorridoren forutsetter vi at ny bane bygges fra Gardermoen til Trondheim via Lillehammer med kobling til Raumabanen (Dombås–Åndalsnes), som elektrifiseres.

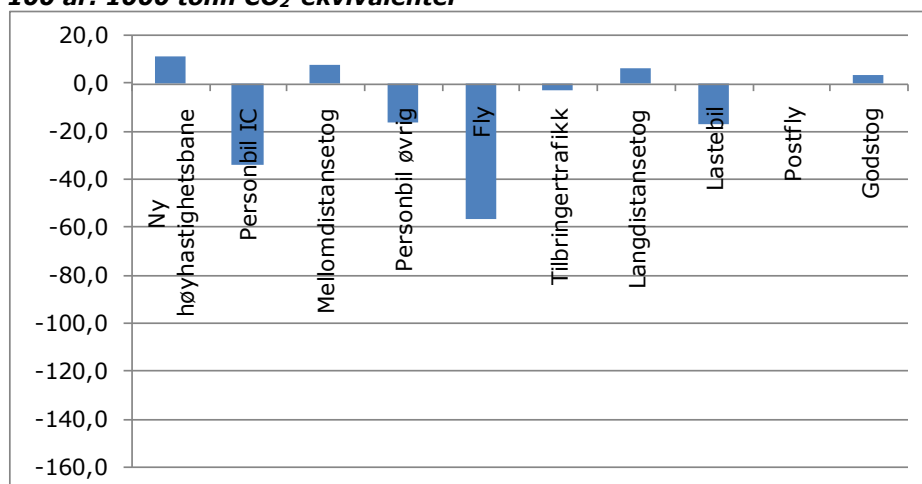
Det første scenariet opererer med trafikkoverføringer som vi antar vil komme som følge av et bedre togtilbud, kombinert med noe økte avgifter på klimagassutslipp generelt og noe mer bruk av restriktive virkemidler mot biltrafikken. I det andre scenariet forutsetter vi i tillegg en aktiv bruk av restriktive virkemidler og en svært bevisst arealpolitikk for å gjøre det lettere for folk å la bilen stå. Alle endringer beskrives i forhold til et referansealternativ der vi forutsetter at energi- og klimautfordringene tas på alvor.

Figur 2-3, 2-4 og 2-5 viser klimaeffektene for det mest ambisiøse scenariet, uttrykt som endringer i ulike deler av transportsystemet. Negative tall angir utslippsreduksjoner som følge av overført trafikk fra veg og luft til bane, mens positive tall viser økte utslipp som følge av etablering av ny infrastruktur og mer togtrafikk. Alle tall er gjennomsnitt per år i løpet av infrastrukturens 100-årige levetid.

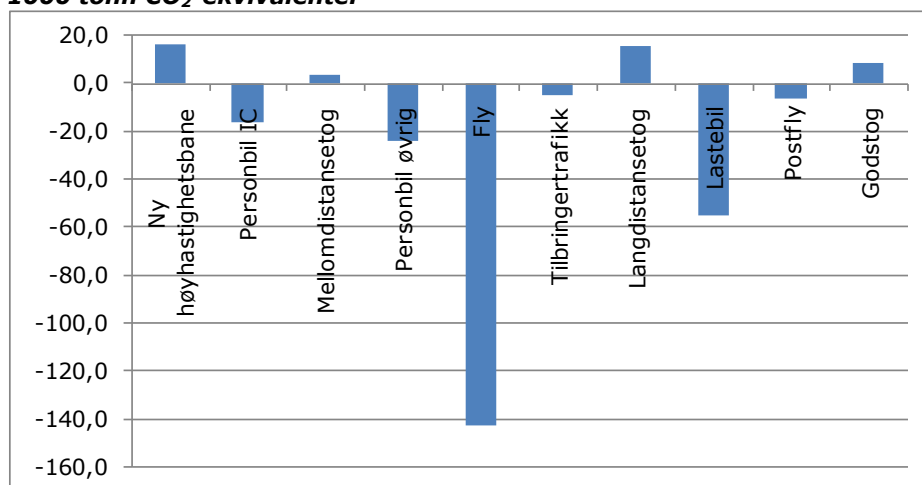
Figur 2-3: Årlige klimaeffekter av ny bane Drammen–Skien, gjennomsnitt over 100 år. 1000 tonn CO₂-ekvivalenter



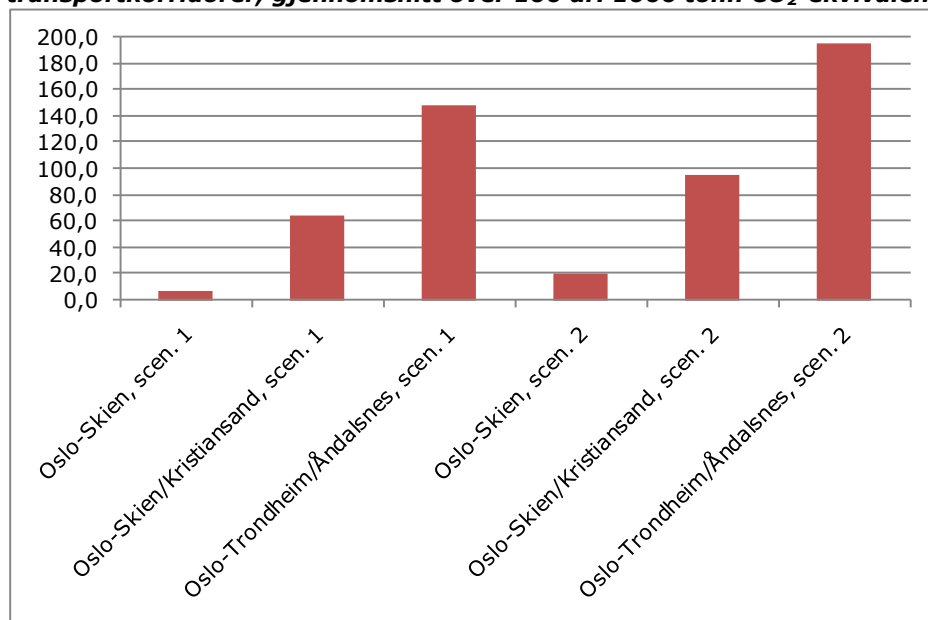
Figur 2-4: Årlige klimaeffekter av ny bane Drammen–Skien/Kristiansand, gjennomsnitt over 100 år. 1000 tonn CO₂-ekvivalenter



Figur 2-5: Årlige klimaeffekter av ny bane Gardermoen–Trondheim, gjennomsnitt over 100 år. 1000 tonn CO₂-ekvivalenter



Figur 2-6: Årlige reduksjoner av klimagassutslipp som følge av høyhastighetstog i to transportkorridorer, gjennomsnitt over 100 år. 1000 tonn CO₂-ekvivalenter



Figur 2-6 viser nettoreduksjonene ved bygging av høyhastighetsbaner i de to transportkorridorene for begge scenariene.

Dersom vi antar at effektene i transportkorridorene Oslo–Stavanger, Oslo–Bergen, Oslo–Stockholm og Oslo–Göteborg/København ligger i samme størrelsesorden som for korridoren Oslo–Trondheim, kan vi estimere en totalreduksjon som følge av satsing på høyhastighetsbaner i de viktigste flykorridorene ut fra Oslo på i størrelsesorden 0,7–1,0 mill. tonn CO₂-ekv. årlig.

Vi understreker at scenario 2 på ingen måte representerer noe maksimumsalternativ når det gjelder trafikkoverføring fra personbil til jernbane. Vi finner det likevel ikke naturlig å gjøre beregninger for et scenario med høyere trafikkoverføring i denne studien, da debatten i så fall vil måtte dreie seg om mye mer enn jernbanesatsing. I et slikt scenario vil jernbanesatsing inngå som et tiltak som gjør det mulig for samfunnet å opprettholde en bærekraftig mobilitet, mens det trengs andre og mer grunnleggende samfunnsendringer

for å redusere transportomfanget og flytte transport fra personbil til kollektivtransport, bl.a. større endringer i skatter, avgifter og lovverk samt omstruktureringer i arealbruken.

2.6 Konklusjoner

Kunnskapen som har framkommet under arbeidet med denne rapporten, får oss til å trekke følgende konklusjoner:

- Jernbanens største klimapotensial ligger i å overføre trafikk fra fly til bane. Investeringene som gjøres i banenettet – f.eks. i IC-trianglet – må derfor utformes slik at de bidrar til å styrke toget i konkurransen med fly på både kort og lang sikt.
- Det ligger et betydelig potensial for reduksjon i klimagassutslipp gjennom overføring av gods fra veg til bane. Ved bygging av nye baner bør det velges løsninger som gir økt kapasitet for godstrafikk, samtidig som togets konkurransekraft styrkes i forhold til tungtransport på veg.
- Skal jernbaneinvesteringene få størst mulig klimaeffekt, vil det være riktig å satse på korridorvis utbygging av jernbanen der den kan konkurrere med fly. Det er bedre at toget er fullt ut konkurransedyktig på én strekning, enn at togtilbudet forbedres noe på flere strekninger, uten at toget slår gjennom i konkurransen med fly på noen av dem.
- I første omgang bør det velges ut prosjekt der toget – med forholdsvis små investeringer – kan gjøres konkurransedyktig med fly. Oslo–Stockholm er ett av få eksempler på dette blant korridorene som berører Norge. Jernbanesatsing i korridorer som har både omfattende flytrafikk, betydelig biltrafikk og et potensial for overføring av gods fra veg til bane, vil være gunstig for å få høy utnyttelse av infrastrukturen og dermed en lav energi- og klimabelastning fra bygging, drift og vedlikehold av banene.
- Det er åpenbart at klimaeffektene av jernbanesatsing i IC-trianglet i betydelig grad vil være avhengig hvilke andre virkemidler som brukes for å flytte transport fra veg til bane. Dersom jernbanen bygges ut parallelt med motorvegene, uten at det brukes restriktive virkemidler mot biltrafikken eller føres en bevisst arealpolitikk som styrker jernbanens trafikkgrunnlag – bl.a. fortetting i stasjonsbyene – vil klimaeffektene bli beskjedne. Øvrige virkemidler for å redusere biltransporten krever minst like stor oppmerksomhet som det å forbedre kollektiv- og togtilbudet.
- Dersom jernbane bygges som erstatning for motorveg, vil klimaeffektene kunne bli større enn vist i denne rapporten. Dette skyldes at jernbanen da vil kunne forhindre en trafikkskapende effekt som vegbygging har, som kan påvirke mer trafikk enn den som konkurrerer direkte med jernbanen. I tillegg reduseres energi- og klimabelastningen fra bygging, drift og vedlikehold av vegnettet. Jernbanesatsing bør derfor prioriteres der den kan bidra til å stoppe vegbygging og utvidelser av flyplasser.
- Siden energi- og klimabelastningen fra bygging, drift og vedlikehold av dobbeltspor ikke er mer enn ca. 25 prosent høyere enn for enkeltspor, vil de negative effektene av et (midlertidig) overdimensjonert jernbanenett være beskjedne. Til sammenlikning er det stor forskjell i infrastrukturens energi- og klimabelastning mellom tofeltsveg og firefeltsveg.
- Utbygging av høyhastighetsbaner i Norge bør bidra til FoU-arbeid som reduserer anleggsvirksomhetens energi- og klimabelastning.

3 Sluttenergiforbruk til framdrift av transportmidler

3.1 Jernbane

2020

Våre anslag over energiforbruk til kjøring av høyhastighetstog er basert på opplysninger fra professor Evert Andersson ved Kungliga Tekniska högskolan i Stockholm, som arbeider med det såkalte "Gröna Tåget".⁶

"Gröna Tåget"-prosjektet har gjort foreløpige beregninger av energiforbruk for et firevogners togsett med 310 seter, som kjøres med gjennomsnittlig seks vogner på et par representative linjer i Sverige, med toppfart 250 km/t. Andersson anslår på bakgrunn disse beregningene samt forutsetninger om særnorske forhold (værforhold, topografi og høy tunnelandel) at høyhastighetstog av samme type i Norge vil bruke 0,036 kWh/sete-km. Vi baserer våre videre beregninger på materiell av denne typen, som er utstyrt med krenagemekanisme og har bred vognkasse, dvs. fem seter i bredden i 2. klasse og fire seter i bredden på 1. klasse.

Vi mener det er riktig å korrigere Anderssons tall for noen forhold. For det første vil vi legge til grunn litt færre seter per vogn. Dagens firevogners togsett av type 73A, som NSB bruker på Sørlandsbanen, Bergensbanen og Dovrebanen, har ca. 200 seter. Vi velger å forutsette 290 seter for et tog med like mange vogner. I tillegg regner vi med at gjennomsnittlig antall vogner blir lavere enn forutsatt av Andersson siden det sannsynligvis vil være viktigere å kjøre mange avganger med korte tog enn få avganger med store tog. Vi legger derfor til grunn gjennomsnittlig 4,7 vogner per tog. Dette gir større luftmotstand per sete, og vi øker derfor energiforbruket med 13 prosent.

Utover dette justerer vi ned energiforbruket noe fordi vi forutsetter et lavere energitap i jernbanens strømsystem. Andersson har i sine beregninger forutsatt at tapet utgjør 14 prosent, mens helt nye anlegg vil ha et tap på ca. 10 prosent. Vi forutsetter et tap på 12 prosent. Bedre aerodynamisk utforming av togmateriellet vil også redusere energiforbruket. Vi legger til grunn at det er mulig å ta ut en gevinst på 4 prosent innen 2020. Tilsvarende forutsetter vi at motorer med permanentmagneter vil redusere forbruket med ytterligere 3 prosent.

Det er grunn til å spørre om det er riktig å ta utgangspunkt i togmateriell som inneholder en stor andel 1. klasse (90 av 290 seter) samt en kafé når en sammenlikner energiforbruket til ulike transportmidler. Dersom vi tenker oss et togsett uten kafé og som utelukkende har fem seter i bredden, ville energiforbruket vært 18 prosent lavere enn hva vi har kommet fram til i beregningene som er omtalt her.

Når det gjelder togmateriell for mellomlange distanser, f.eks. strekningen Oslo–Lillehammer, anslår Andersson et forbruk på 10,8 kWh/km for et togsett med tre vogner som kjører med toppfart 220 km/t, som vi forutsetter får 240 seter, derav 40 på 1. klasse, som av og til kjøres som dobbeltsett. Vi reduserer også her energiforbruket pga. lavere tap i strømsystemet samt bruk av motorer med permanentmagneter. Vi forutsetter at bedre aerodynamisk utforming vil gi en gevinst på ytterligere 2 prosent i mellom-distansetrafikken.

Utover dette må vi legge til et strømforbruk for kjøring til/fra hensettingsspor og vedlikeholdsanlegg samt tomgangsforbruk som oppstår når togmateriell står parkert. Dette tillegget anslår vi at utgjør til sammen 4 prosent for begge kategoriene.

⁶ E-post fra Evert Andersson ved Kungliga Tekniska högskolan i Stockholm, oktober og desember 2007 samt januar og september 2008. "Gröna Tåget" er et forskningsprogram som har til hensikt å skaffe mer kunnskap om framtidig høyhastighetsmateriell for svenske/nordiske forhold, se www.gronataget.se.

2030

Vi forutsetter en effektiviseringsgevinst fra 2020 til 2030 på 10 prosent som følge av lavere tap i jernbanens strømforsyning, lengre tog og dermed lavere luftmotstand pga. trafikkvekst samt et tilskudd av nye togsett med lavere energiforbruk, bl.a. enda bedre aerodynamikk.

Tabell 3-1: Energiforbruk for høyhastighetstog

	2020 kWh/setekm	2030 kWh/setekm
Høyhastighetstog, mellomdist.	0,043	0,039
Høyhastighetstog, langdist.	0,041	0,037

Sammenlikning med dagens forhold i Norge og andre land

Dagens togsett av type 73A bruker i gjennomsnitt 0,035 kWh/setekm.⁷ Tar vi høyde for et tap i jernbanens strømsystem på 20 prosent og legger skjønnsmessig til 10 prosent som et tillegg for kjøring til/fra hensettingsspor og vedlikeholdsanlegg samt tomgangsforbruk, kan vi anslå et gjennomsnittlig forbruk per sete i langdistansetrafikk på 0,05 kWh/setekm. Tapet i jernbanens strømsystem er i dag relativt høyt, i hovedsak pga. mange gamle omformerstasjoner og lav utnyttelse av omformerstasjonene.⁸

Det er også interessant å sammenlikne beregningene med faktisk energiforbruk for høyhastighetstrafikk i andre land. Vi har tall for direkte energiforbruk for ICE-tog på strekningen Hannover–Würzburg i Tyskland (Rozycki, Köser og Schwarz 2003). Dette er togsett fra 90-tallet, som kjører med toppfart 250–280 km/t over en 325 km lang strekning med en tunnelandel på 37 prosent og inntil tre stopp undervegs. Det er store tog, med 669 seter per togsett, men med bare fire seter i bredden på 2. klasse og tre i bredden på 1. klasse. Energiforbruket, inkludert tillegg for kjøring mellom stasjoner og vedlikeholdsanlegg, ligger på 0,037 kWh/setekm. Anslår vi at tap i jernbanens strømsystem utgjør 10 prosent av totalforbruket, blir forbruket på i overkant av 0,04 kWh/setekm. Franske TGV-tog med ca. 380 seter har et energiforbruk på i størrelsesorden 0,05 kWh/setekm, estimert på bakgrunn av Jørgensen og Sorenson (1997).

På bakgrunn av RENFE (2007) kan vi estimere energiforbruket til høyhastighetsmateriellet Talgo S102 med 316 seter og topphastighet 350 km/t ved bruk under spanske forhold. Fratrullet bremseenergi får vi et forbruk på 0,043 kWh/setekm. Forutsetter vi et tap i strømsystemet på 10 prosent, blir forbruket på i underkant av 0,05 kWh/setekm. Her dreier det seg om et romslig togmaterieell som burde ha potensial for lavere forbruk, forutsatt bedre utnyttelse av vognarealene.

3.2 Personbil med forbrenningsmotor

2020

Norske myndigheter har som mål at gjennomsnittlig CO₂-utslipp fra nye biler ikke skal være høyere enn 120 g/km innen 2012.⁹ Det fins alt i dag flere bilmodeller på det norske markedet med utslipp på rundt 100 g/km, og en ny hybridversjon av VW Golf kommer

⁷ Tallet er et gjennomsnitt for strekningene Oslo–Kristiansand, Oslo–Bergen og Oslo–Trondheim, basert på 459 faktiske målinger i februar, mars, mai og juni 2007. Dataene er tatt fra notatet "Vurdering av nøkkeltall" fra NSB til Bane Energi, datert 17. august 2007.

⁸ Tapet i jernbanens strømsystem skyldes for det første at strømmen nedtransformeres og omformes fra "vanlig strøm" (50 Hz) til strøm med lavere frekvens (16,7 Hz). For det andre oppstår det tap i jernbanes kontaktledningsanlegg. Strømtapet er normalt størst i områder med forholdsvis liten trafikk og som forsynes med eldre omformeranlegg. Nye omformerstasjoner – og bedre utnyttelse av dem – gir et betydelig lavere tap enn hva som er gjennomsnittet i dag. Ifølge Jernbaneverkets miljørapport for 2007 er det totale strømtapet i jernbanens strømsystem på ca. 20 prosent (Jernbaneverket 2008).

⁹ Pressemelding fra Samferdselsdepartementet 29. oktober 2007:

<http://www.regjeringen.no/nb/dep/sd/pressemeldinger/pressemeldinger/2007/Nye-og-ambisiøse-mal-om-reduksjon-av-kli.html?id=487274>

snart med utslipp på 89 g/km. Sett i forhold til at vi i Norge i 2007 hadde et gjennomsnittsutslipp på 159 g/km for nye personbiler¹⁰, kan det synes som om potensialet for reduksjoner er stort. Utfordringen ligger i å få folk til å velge biler med lavt forbruk, som er mindre av størrelse og gjerne har mindre ekstrapstyr og dermed kan oppleves som mindre komfortable. Med stadig økende kjøpekraft kan dette synes svært vanskelig.

Vår studie skal sammenlikne transport over mellomlange og lange distanser, der forbruket normalt er lavere enn gjennomsnittet. Rolf Hagman oppgir (i Steinsland og Madslien 2007) at gjennomsnittlig utslipp i 2007 ligger på 150 g/km for kjøring i jevn hastighet, og at sannsynlig reduksjon fram til 2020 vil være 15 prosent. Vi er noe mer ambisiøse og regner med 20 prosent reduksjon, som gir utslipp på 120 g/km i 2020, som vi forutsetter gjelder for biler som brukes i mellomdistanse- og langdistansetrafikk. Siden det her vil være et visst innslag av by- og tettstedskjøring med høyere forbruk, innebærer 120 g/km i praksis en noe større reduksjon enn 20 prosent.

I denne rapporten ønsker vi også å synliggjøre klima- og energikonsekvensene av biltyper som ligger under og over gjennomsnittet: en typisk lavutslippsbil med 25 prosent lavere forbruk enn gjennomsnittet samt en større bil med 33 prosent høyere forbruk. Vi forutsetter at alle disse bilkategoriene har fem seter. Det er imidlertid grunn til å spørre om en liten personbil i praksis har en kapasitet på fem personer over lange distanser.

For alle biler legger vi til anslagsvis 1 prosent for kjøring til/fra verksted, vaskeanlegg, drivstoffylling etc.

2030

Vi forutsetter fortsatt betydelig utvikling i retning av lavere drivstofforbruk. Rolf Hagman oppgir (i Selvig 2007c) et potensial for redusert drivstofforbruk for lette kjøretøy fra 2007 til 2040 på 35 prosent ved kjøring i jevn hastighet, forutsatt avansert teknologiutvikling. På bakgrunn av dette anslår vi effektiviseringspotensialet fra 2020 til 2030 til å være 15 prosent, som i sum gir 32 prosent reduksjon fra 2007 til 2030.

Tabell 3-2: Energiforbruk for personbil med forbrenningsmotor

	2020 kWh/bilkm	2020 kWh/setekm	2030 kWh/setekm
Personbil, gjennomsnitt	0,458	0,092	0,078
Personbil, -25 %	0,343	0,069	0,058
Personbil, +33 %	0,610	0,122	0,104

3.3 Personbil med elektrisk drift

Elbilen har per i dag ikke batterikapasitet til å kunne kjøre f.eks. Oslo–Trondheim i ett strekk, men det ventes betydelig teknologiske framskritt på dette området, slik at elbilen i 2020 sannsynligvis vil kunne bli et alternativ på reiser i hvert fall over mellomlange avstander. Såkalte plug-in-hybrider, dvs. biler med både forbrennings- og elmotor, ventes å komme for fullt og vil øke muligheten for elektrisk framdrift av biler.

For den norske elbilen Buddy med plass til tre personer har vi av produsenten fått oppgitt et elforbruk på 0,16–0,18 kWh/km ved normal kjøring inkludert tap i batterier og fra lading. I tillegg kommer varmeapparatet, som av produsenten antas å bruke i størrelsesorden 8–15 liter parafin for 8000 km kjøring.¹¹ Buddy er basert på eldre teknologi, så vi må anta at nye modeller vil få et lavere forbruk. Samtidig er det ikke usannsynlig at nye elbiler, som vil få lengre rekkevidde, også vil bli mer velutstyrte. Dette trekker forbruket i

¹⁰ Utslippstall ifølge beregninger fra Opplysningsrådet for Veitrafikken. Disse er basert på standardiserte kjøresykluser, som inneholder en betydelig andel bykjøring som ikke nødvendigvis er representativ for norske forhold.

¹¹ E-post fra ElBil Norge, oktober 2007.

motsatt retning. I tillegg forutsetter vi i denne studien at bilene i stor grad skal brukes på hovedveger og ikke i bykjøring, noe som også trekker forbruket oppover.

For femseters elbiler eller plug-in-hybridbiler i eldrift-modus anslår vi forbruket til 0,25 kWh/km inkludert tap i batterier og fra lading. Vi trekker fra 10 prosent for effektivisering fram til 2020. I tillegg regner vi et behov for oppvarming som i en Buddy, målt per sete, riktignok som elenergi. For kjøring til/fra verksted, vaskeanlegg, strøm-lading etc. regner vi et tillegg på 1 prosent.

2030

Vi regner med 10 prosent reduksjon i energiforbruket fra 2020 til 2030.

Tabell 3-3: Energiforbruk for personbil med elektrisk drift

	2020 kWh/bilkm	2020 kWh/setekm	2030 kWh/setekm
Personbil med eldrift, 5 seter	0,249	0,050	0,045

3.4 Buss

2020

Drivstofforbruket for busser varierer mye avhengig av rutemønster, topografi, veg-standard etc. For å få reelle tall for norske forhold har vi fått tilgang til forbrukstall fra flere busselskap som kjører ekspressbussruter.

TIMEkspressens linje 1 mellom Notodden og Oslo hadde i perioden fra 1. juli 2006 til 30. juni 2007 et gjennomsnittlig dieselforbruk på 3,37 l/mil.¹² Selskapet som trafikkerer linja, oppgir at nye busser uten automatgir bruker mindre diesel, noe som gjør at vi anslår et årsgjennomsnitt på 3,3 l/mil for denne linja med nye busser. Det er verd å merke seg at disse bussene over lengre strekninger kjører gjennom tettbygd strøk og har mange stopp og dermed ikke kan sies å være ei representativ langdistanserute.

Telemark Bilruter oppgir, på bakgrunn av periodiske kontroller, et forbruk på 3,15–3,25 l/mil gjennom året for sine ekspressbusser mellom Østlandet og Vestlandet og mellom Telemark og Vestfold.¹³ Nettbuss Møre har gitt oss et årsforbruk for nattbussen mellom Kristiansund og Oslo, som gir oss et snittall på ca. 3,2 l/mil.¹⁴ Dag- og Natt-ekspressen, som kjører mellom Møre og Romsdal og Oslo, oppgir et forbruk på ca. 2,7 l/mil.¹⁵ Bussprodusenten Volvo¹⁶ anslår et årsgjennomsnitt på 2,8 l/mil for en Volvo 9700 i intercity-trafikk mellom Oslo og Göteborg.

På bakgrunn av dette forutsetter vi at en ekspressbuss med 52 seter bruker 3,0 l/mil. Volvo antyder imidlertid at det ligger innsparingsmuligheter som kan tas ut fram mot 2020, bl.a. gjennom mer effektive motorer og noe bruk av hybridteknologi også på langdistansebusser. Vi anslår et effektiviseringspotensial på 10 prosent fram til 2020, noe som også er i tråd med anslag fra Rolf Hagman (gjengitt i Steinsland og Madslien 2007). For tomkjøring til/fra garasje/verksted legger vi til anslagsvis 2 prosent. Energiforbruk til motorvarmere er tatt med i statistikken over vedlikehold av transportmidler.

2030

Rolf Hagman oppgir (i Selvig (2007c)) et potensial for redusert drivstofforbruk for tunge kjøretøy fra 2007 til 2040 på 15 prosent ved kjøring i jevn hastighet, forutsatt avansert

¹² E-post fra Bent Guttormsen i Nettbuss Drammen, oktober 2007. Gjelder busser med 50–58 seter.

¹³ E-post fra Åsmund S. Kroken i Telemark Bilruter, desember 2006.

¹⁴ E-post fra Jarle Røkkum, Nettbuss Møre, oktober 2007. Gjelder busser med 52 seter.

¹⁵ E-post fra Per Oddvar Sæth i Dag- og Nattekspressen, oktober 2007. Gjelder buss med 48 seter.

¹⁶ E-post fra Edward Jobson i Volvo, desember 2007. Gjelder buss med 50 seter.

teknologiutvikling. På bakgrunn av dette anslår vi effektiviseringspotensialet fra 2020 til 2030 til å være 5 prosent, som i sum gir nesten 15 prosent reduksjon fra 2007 til 2030.

Tabell 3-4: Energiforbruk for ekspressbuss

	2020 kWh/busskm	2020 kWh/setekm	2030 kWh/setekm
Ekspressbuss	2,77	0,053	0,051

3.5 Fly

2020

For å finne energiforbruk for fly tar vi utgangspunkt i utslippskalkulatoren til SAS.¹⁷ Forbruket målt per kilometer er i stor grad avhengig av flydistansen, i og med at det går med betydelig mengder energi i start- og landingsfasen. Vi velger å operere med to ulike distanse kategorier, der den første er relevant for kortere distanser som Oslo–Kristiansand/Göteborg og Ålesund–Trondheim (ca. 280 km), mens den andre gjelder de typiske "tunge" sørnorske flydistansene (Oslo–Stavanger/Bergen/Trondheim) samt Oslo–Stockholm (ca. 350 km).

I kalkulatoren oppgis det forbrukstall for 75 prosent belegg. Vi regner om til 100 prosent belegg ved å multiplisere med 0,75. Vi tar da ikke høyde for at endring i flyets passasjer-tall påvirker flyets drivstofforbruk. Ifølge nettstedet *Atmosfair – Der Emissionsrechner*¹⁸ øker drivstofforbruket for et fly som flyr 2000 km, med bare 10 prosent når beleggsprosenten endres fra 60 til 100. Samme kilde sier også at 2 prosent av drivstofforbruket til passasjerfly kan tilskrives medbrakt gods som ikke er reisegods til passasjerene. Vi tar ikke høyde for medbrakt gods i passasjerfly, på samme måte som vi ikke trekker fra noe for dette for tog, biler og busser.

Det ligger et betydelig potensial for reduksjoner i drivstofforbruket per setekilometer i luftfarten, forutsatt at det stilles strenge miljøkrav fra myndighetene. Rapporten *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart* (Avinor mfl. 2008) skisserer en del tiltak som kan gi lavere drivstofforbruk de nærmeste åra. Rapporten antyder en reduksjon på 5–10 prosent på eksisterende flåte pga. mindre tiltak og bedre operative prosedyrer, en reduksjon på 3–7 prosent som følge av mer effektiv taksing og nye motorer for dette samt en ytterligere reduksjon på 1–2 prosent som følge av bedre prosedyrer for trafikkstyring, "grønne landinger" etc.

Helt nye fly vil også gi lavere drivstofforbruk. Prosjektet ACARE¹⁹ har bl.a. som mål å utvikle teknologi som gjør at CO₂-utslipp for nye fly kan bli halvert i 2020, målt per passasjerkilometer, sett i forhold til teknologien 20 år tidligere. Det er imidlertid svært usikkert om målet vil bli nådd – og med hvilken kostnad. Vi er også usikre på hva som regnes som referanseverdi. Boeing 737-700, som er forholdsvis moderne, har f.eks. ca. 16 prosent høyere drivstofforbruk per sete enn Boeing 737-800.

FNs klimapanel anslo (i IPCC 1997) drivstoffeffektiviseringer i luftfarten på hhv. 20 prosent for perioden 1997–2015 og 40–50 prosent i perioden 1997–2050. I en rapport skrevet av Wuppertal Institut for WWF (Lechtenböhmer, Grimm, Mitze, Thomas og Wissner 2005) regnes det med 20 prosent høyere drivstoffeffektivitet i 2020 sett i forhold til 2005 i et scenario der EU kutter sine klimagassutslipp med 33 prosent i forhold til 1990-nivå.

¹⁷ SAS' utslippskalkulator:

<http://www.sasems.port.se/EmissionCalc.cfm?sid=geninfo&lang=2&utbryt=0>

¹⁸ *Atmosfair – Der Emissionsrechner*:

http://www.atmosfair.de/fileadmin/user_upload/image4/PDF_Dokumentation_deutsch.pdf

¹⁹ *Advisory Council for Aeronautics Research in Europe* (ACARE): <http://www.acare4europe.org/>

Paul Peeters, som har skrevet flere artikler om energieffektivisering i luftfarten²⁰, anslår at neste generasjons fly som kan komme i trafikk rundt 2020, vil få 23 prosent lavere drivstofforbruk enn Boeing 737-800, mens nye fly i 2030 vil ligge ca. 30 prosent lavere.²¹ Vi tar utgangspunkt i dette og regner i tillegg inn en reduksjon som følge av bedre operative prosedyrer – og for eldre fly også en effekt av mindre utbedringer – på i sum inntil 10 prosent, alt sett i forhold til SAS' utslippskalkulator. For Norwegians Boeing 737-800 må vi regne med noe lavere utslipp fordi disse har flere seter enn hva som er forutsatt i utslippskalkulatoren.

Neste spørsmål blir hvordan flyflåten på de aktuelle distansekategoriene vil utvikle seg. Norwegian har bestilt 42 fly av typen Boeing 737-800 med levering i perioden 2008–2014, så deres flåte anser vi som gitt i lang tid. Utover dette forutsetter vi at SAS Norge bytter ut sine Boeing 737-400 og 737-500 med fly på størrelse med Boeing 737-700 og 737-800 (halvparten av hver), altså noe større enn tidligere. Tabell 3.4 viser våre antakelser om flåteutvikling og flåtebruk samt endring i drivstofforbruk for de to distansekategoriene sett i forhold til SAS' miljøkalkulator.

Tabell 3-5: Flåtesammensetting i 2020

Flytype	Andel, distansekat. 280 km	Andel, distansekat. 350 km	Endring i drivstofforbr. per sete	Merknad
Boeing 737-800, 189 seter	30 %	50 %	-15 %	A
Boeing 737-700, 134 seter		25 %	-10 %	
Boeing 737-600, 112 seter	30 %		-10 %	
Ny flytype	30 %		-10 %	B
Ny flytype	10 %	25 %	-30 %	C

A Endring i forhold til Boeing 737-800 med 176 seter i SAS' miljøkalkulator

B Endring i forhold til Fokker F50 i SAS' miljøkalkulator

C Endring i forhold til Boeing 737-700 med 134 seter og Boeing 737-800 med 176 seter i SAS' miljøkalkulator for hhv. den korteste og den lengste distansekategori

Dette gir en flyflåte for den lengste distansekategori som i gjennomsnitt vil bruke 25 prosent mindre drivstoff per sete enn det Boeing 737-700 gjør i dag.

Siden utslippskalkulatoren til SAS viser resultater for flytrafikk under optimale forhold, må vi legge til et ekstra forbruk for å ta høyde for varierende vær og vind. Vi har ikke noe godt tall på dette, men anslår helt skjønnsmessig 5 prosent. For bakkestrøm og andre operasjoner legger vi til et forbruk på anslagsvis 1 prosent.

2030

For 2030 er det enda mer usikkerhet rundt både teknologiutvikling og flåtesammensetting. Vi forutsetter at energiforbruket vil være 25 prosent lavere i 2030 enn i 2020 for den korteste distansekategori, mens vi for den lengste opererer med en reduksjon på 20 prosent. Vi har da tatt høyde for at alle eldre fly er ute av trafikk, og at det bl.a. har kommet en ny flytype som vi forutsetter bruker 35 prosent mindre drivstoff enn hva Boeing 737-800 gjør ifølge SAS' utslippskalkulator. Med våre forutsetninger vil flyflåten for den lengste distansekategori i 2030 bruke 40 prosent mindre drivstoff enn det Boeing 737-700 gjør i dag, og om lag 50 prosent mindre enn den eldre flytypen MD-80, som – når dette skrives – fortsatt brukes i Skandinavia.

Tabell 3-6: Energiforbruk for fly

	2020 kWh/setekm	2030 kWh/setekm
Fly, distansekategori 280 km	0,467	0,359
Fly, distansekategori 350 km	0,351	0,287

²⁰ Se bl.a. Peeters, Middel og Hoolhorst (2005) og Bows, Anderson og Peeters (u.å.).

²¹ E-post fra Paul Peeters, mars 2008.

3.6 Tilbringertransport

Også transport av passasjerer mellom bysenter og flyplass gir en energi- og klimabelasting. Vi bruker her gjennomsnittstall per passasjerkilometer. Som tilbringertransport regner vi med to turer, der den ene går Oslo S–Gardermoen og består av Flytoget (60 prosent), buss (20 prosent) og personbil (20 prosent), mens den andre turen består av buss (50 prosent) og personbil (50 prosent). Turen Oslo S–Gardermoen teller 70 prosent, mens den andre turen teller 30 prosent.

Vi tar utgangspunkt i gjennomsnittlig energiforbruk per personkilometer for Flytoget.²² For buss bruker vi tall for flybussen Bergen–Flesland.²³ For personbil regner vi 40 prosent belegg (to flyreisende om bord) og forutsetter 5 prosent eldrift i 2020 og 30 prosent eldrift i 2030. Resten av bilandelen tilsvarer gjennomsnittsbilen, tillagt 10 prosent pga. mer by-/tettstedskjøring. For Flytoget regner vi med et energisparepotensial på 5 prosent fram til 2020 og ytterligere 10 prosent fram til 2030. For buss regner vi med hhv. 15 og 10 prosent effektivisering.

Tabell 3-7: Energiforbruk for tilbringertransport

	2020 kWh/personkm	2030 kWh/personkm
Tilbringertransport	0,184	0,155

Av energiforbruket 36 prosent høyspentelektrisitet i 2020. I 2030 og 35 prosent høyspentelektrisitet, mens 6 prosent er lavspentelektrisitet.

3.7 Godstog

Vi tar utgangspunkt i energiforbruk for CargoNets godstransporter med elektrisk drevne lokomotiv, som oppgitt i Jernbaneverkets miljørapport for 2007 (Jernbaneverket 2008). Her regnes lastbærerne (vekselbeholdere, semihengere etc.) som en del av utført transportarbeid. Det blir feil når vi ønsker tall for transporterte tonnkilometer og skal sammenlikne med vogntog der lastbærernes vekt ikke regnes med. CargoNet fører ikke statistikk over lastbærernes andel av transportarbeidet, men vi har fått noen teoretiske beregninger.²⁴ Vi kjenner heller ikke til utnyttelsesgraden. Basert på noen svært få registreringer samt noen antakelser om godstogvekter i Sør-Norge velger vi å bruke 850 tonn som gjennomsnittlig togvekt for kombigodstog i Sør-Norge, forutsatt at toget har en kapasitet på 14 vekselsbeholdere og 16 semitrailere. Når vi i tillegg bruker opplysninger om vogn- og lastbærervekter mottatt av CargoNet, finner vi at belegget blir på 43 prosent.

Dersom vi regner med en kapasitetsutnyttelse på 50 prosent i framtida, vil energiforbruket per transportert tonn gå ned med 13 prosent. Med en slik utnyttelsesgrad må vi legge til 56 prosent for å ta høyde for lastbærernes vekt, sett i forhold til energiforbrukstall oppgitt i Jernbaneverkets miljørapport.

Det ligger et betydelig potensial for energisparing i godstransporten gjennom innføring av lokomotiv med tilbakemating av bremseenergi. Godstrafikken i Norge domineres fortsatt av lokomotiver som er bygd i perioden 1967–84, som ikke mater tilbake bremseenergi. Vi anslår svært skjønnsmessig at bruk av lokomotiv med mer effektive motorer og tilbakemating av energi gir en effektiviseringsgevinst på 25 prosent. Denne gevinsten vil delvis bli oppspist av økt hastighet og dermed større luftmotstand, uten tilsvarende aerodynamiske forbedringer. Vi anslår skjønnsmessig at høyere hastighet vil øke energifor-

²² Ifølge Jernbaneverkets årsrapport for 2007 (Jernbaneverket 2008) er Flytogets direkte energiforbruk på 0,14 kWh/personkilometer. Vi forutsetter et tap i strømsystemet på 12 prosent, som gir et totalforbruk på 0,16 kWh/personkilometer.

²³ Ifølge e-post av februar 2008 fra Per Vold i Tide Reiser AS er beleggspersenten for flybussen Bergen–Flesland på 42,5 prosent, mens drivstofforbruket for bussen ligger på 4,3 l/mil.

²⁴ E-post fra Ole Freddy Nilsen i CargoNet med informasjon om vognvekter, lastekapasitet og aktuelle togsammensettinger, september 2008.

bruket med 20 prosent.²⁵ Vi regner ikke med noe energiforbruk til skiftelokomotiv og trucker på godsterminalene. Fram til 2030 regner vi med en ytterligere effektiviseringsgevinst på 5 prosent.

Tabell 3-8: Energiforbruk for godstog

	2020 kWh/tonnkm	2030 kWh/tonnkm
Godstog	0,087	0,082

3.8 Vogntog

Vi forutsetter at vogntog som konkurrerer med jernbanen, kan veie opptil 44 tonn, derav 25 nettotonn gods, og har et dieselforbruk på 4,3 liter/mil.²⁶ Vi er usikre på hvilken kapasitetsutnyttelse som er riktig å bruke for godstransporter på veg som konkurrerer med jernbanen. Heidelberg (2008), som oppgir utslippsfaktorer for godstransport i europeiske land, bruker 50 prosent som gjennomsnitt for langdistansetransport på veg. Lastebilundersøkelsen til Statistisk sentralbyrå (SSB) for 2000, 2001 og 2002 oppgir et tilsvarende tall, som gjelder alle typer godstransporter på veg, uansett distanse.²⁷ Vi regner med noe effektivisering også på dette feltet og forutsetter en kapasitetsutnyttelse på 60 prosent av kjøretøyets lastekapasitet målt i vekt. I tillegg regner vi med en reduksjon i drivstoff-forbruket på 10 prosent fram til 2020 og på ytterligere 5 prosent fram til 2030.

Tabell 3-9: Energiforbruk for vogntog

	2020 kWh/tonnkm	2030 kWh/tonnkm
Vogntog	0,260	0,247

3.9 Postfly

Energiforbruket for postfly måler vi per flykilometer, i og med at vi i kapittel 13 beregner effektene av et gitt antall færre postflyavganger. Vi regner med at postfly har et sluttenergiforbruk tilsvarende tall vi finner for Bombardiers Q300 i SAS' utslippskalkulator på strekningen Sandefjord–København.²⁸ Vi regner med 15 prosent effektivisering fram til 2020 og ytterligere 10 prosent fram til 2030.

Tabell 3-10: Energiforbruk for postfly

	2020 kWh/flykm	2030 kWh/flykm
Postfly	16,9	15,2

²⁵ Til sammenlikning antyder Evert Andersson ved Kungliga Tekniska högskolan i e-post av september 2008 at moderne kombigodstog med vekselflak på moderne baner vil ha et sluttenergiforbruk på ca. 0,060 kWh ved hastighet 100 km/t og på ca. 0,070 kWh ved hastighet 120 km/t, målt per tonnkilometer fratrasket lastbærernes vekt, men inkludert tap i jernbanens strømsystem. Heidelberg (2008) oppgir et forbruk på 0,0427 kWh per nettotonnkilometer for et gjennomsnittsgodstog på 1000 tonn med gjennomsnittlig last i kupert terreng i dag, med 50 prosent utnyttelse. Legger vi til tap i jernbanens strømsystem som antatt i 2020 samt 56 prosent for lastbæreres vekt, blir tallet 0,076 kWh i dag, før effektivisering. Våre tall for Norge ligger betydelig høyere enn dette.

²⁶ Dieselforbruket gjelder semintrailer, oppgitt av Asle Jon Kleppe i Waagan Transport, juni 2008. I tillegg fylles det på 5 prosent urea, som vi ikke tar hensyn til i våre beregninger.

²⁷ SSBs lastebilundersøkelse: <http://www.ssb.no/emner/10/12/20/lbunasj/arkiv/tab-2003-02-25-01.html>

²⁸ SAS' utslippskalkulator: <http://www.sasems.port.se/EmissionCalc.cfm?sid=geninfo&lang=2&utbryt=0>

4 Transportmidlenes kapasitetsutnyttelse

Hvor mye transportmidlenes kapasitet utnyttes, har en stor innflytelse på transportmidlenes miljøegenskaper. Dersom det sitter to personer i bilen istedenfor én, vil miljøbelastningen per person reduseres til det halve.²⁹

For å finne relevante beleggsprosenter for de ulike transportmidlene tar vi utgangspunkt i erfaringstall.

For høyhastighetstog på mellomlange avstander forutsetter vi 40 prosent belegg. NSBs regiontrafikk på Østlandet hadde, ifølge SSBs statistikkbank, en beleggsprosent på 28–33 prosent i perioden 2004–2006. Den forholdsvis lave utnyttelsen skyldes at togtilbudet i stor grad dimensjoneres etter store trafikktopper morgen og ettermiddag, som gir mye ledig kapasitet midt på dagen og på kvelden, som det er vanskelig å fylle. I tillegg gir synkende trafikk i økende avstand fra Oslo mye overkapasitet på deler av banene. Et mer konkurransedyktig togtilbud vil gjøre toget mer attraktivt også utenom rush, og økt sporkapasitet vil åpne for rutetilbud som i mindre grad enn i dag overdimensjoneres på de ytterste delene av strekningene. Vi finner det derfor sannsynlig at beleggsprosenten vil øke noe dersom banenettet bygges ut.

Vi regner med at høyhastighetstog på langdistansestrekingene vil få et gjennomsnittsbelegg på 60 prosent. Det virker rimelig sett i forhold til dagens belegg for fjern tog i Norge og det faktum at et høyhastighetstilbud vil øke togets konkurransekraft vesentlig, noe som igjen muliggjør større grad av prisdifferensiering. Betalingsvillige forretningsreisende fyller opp setene morgen og ettermiddag på vanlige ukedager, mens den mer fleksible ferie- og fritidstrafikken fyller opp ledig kapasitet. Kortere reisetider med tog vil føre til at togets utnyttelsesgrad vil nærme seg flyets. Andersson og Lukaszewicz (2006) antyder at moderne høyhastighetstog med konkurransedyktig reisetid og prising normalt oppnår gjennomsnittlige beleggsprosenter på 50–75 prosent.

For personbil viser den nasjonale reisevaneundersøkelsen (Vågane 2006) at antall personer om bord per bil (inkludert sjåfør) ligger på gjennomsnittlig 1,86 for reiser på 100 km eller mer. For reiser på 50–100 km er tallet 1,73, mens det faller til 1,60 for reiser på 20–50 km. I vår sammenheng, der vi skal beregne miljøeffekten av trafikk som overflyttes fra bil til tog, er det ikke usannsynlig at det er bilturer må få passasjerer om bord som det er størst sannsynlighet for at overføres, i og med at disse bilreisene blir de dyreste, målt i kroner per kilometer. Det kan tilsi at vi bør velge noe lavere beleggsprosenter enn dagens gjennomsnitt. Vi velger å bruke 33 prosent som gjennomsnittsbelegg for personbiler på mellomlange avstander. For bilreiser mellom landsdelene bruker vi 40 prosent belegg som gjennomsnitt.

SSBs statistikkbank viser et gjennomsnittsbelegg på 39 prosent i 2005 og 2006 for fylkeskryssende bussruter (inkludert lokalruter). Vi kan ikke finne en tilsvarende profil som for tog, nemlig at ekspressbussenes langdistanseruter har høyere belegg enn mellomdistanserutene. Prosams bygrensetellinger for Oslo (Prosam 2005 og Prosam 2008) viser antall passasjerer over Oslos bygrense én dag annethvert år, nemlig tirsdag 19. oktober 2004 og tirsdag 24. oktober 2006. På bakgrunn av disse tellingene finner vi at TIMEkspressens linjer har et snittbelegg på 30–35 prosent, mens langdistanserutene til NOR-WAY Bussekspress, Swebus og Sjöfölebusen i sum havner på i størrelsesorden 20–25 prosent. Siden trafikken sannsynligvis er betydelig høyere i helger, ferier og på delstrekninger, bruker vi 40 prosent som belegg for ekspressbuss, uansett distanse.

For fly regner vi med 70 prosent belegg. For Norwegians innenriksruter lå beleggsprosenten på 78 og 79 prosent i hhv. 2006 og 2007, ifølge selskapets årsrapport

²⁹ Vi forenkler og forutsetter i denne studien at energiforbruket til de enkelte transportmidlene ikke øker når utnyttelsesgraden går opp.

(Norwegian 2008). SAS Norges beleggsprosent på innenriksrutene lå samme år på hhv. 67 og 68 prosent (SAS 2008). Siden trenden går i retning av større fly, jf. Norwegians nyinvesteringer, vil det kanskje bli vanskeligere å øke beleggsprosenten utover dagens nivå.

Tabell 4-1: Forutsatt normalbelegg

Høyhastighetstog, mellomdist.	40 %
Høyhastighetstog, langdist.	60 %
Personbil, mellomdistanse	33 %
Personbil, langdistanse	40 %
Ekspressbuss	40 %
Fly, begge kategorier	70 %

For tilbringertransport og godstransport drøfter vi ikke beleggsprosjenter nærmere da vi i kapittel 3 oppgir tall som gjelder for hhv. personkilometer og nettotonnkilometer.

5 Miljøbelastning fra energiforbruk

I denne rapporten sammenlikner vi energi- og klimabelastningen fra framdrift av transportformer som bruker ulike energibærere. Da er det viktig at vi bruker metoder som i størst mulig grad tillater rettferdig miljøssammenlikning av f.eks. elkraft og flytende drivstoff. Det hele kompliseres av at markedet for energi er globalt eller i det minste inkluderer mange land, og at miljøkonsekvensene av produksjon ofte kommer et annet sted enn der energien forbrukes. Når vi i tillegg skal vurdere konsekvensene en del år fram i tid, i og med at det vil ta tid å bygge eventuelle høyhastighetsbaner, blir det enda mer utfordrende.

Et vanskelig spørsmål er hvor mye fornybar energi vi kan forutsette at kloden kan produsere, med et godt klimaregnskap uten vesentlige miljømessige og sosiale ulemper, og til en akseptabel pris. Debatten rundt biodrivstoff viser dette tydelig. Vårt utgangspunkt er at fornybar energi er og forblir en knapphetsfaktor, som gjør det viktig for samfunnet å finne løsninger som reduserer det totale energiforbruket. Energieffektive transportløsninger bidrar til at det blir lettere å dekke energiforbruket i denne sektoren med fornybar kraft og/eller fornybart drivstoff med lave klimagassutslipp.

Et omdiskutert tema er hvordan miljøbelastningen fra elektrisitetsbruk i Norge skal beregnes. Enkelte legger til grunn at norsk kraftproduksjon er fornybar og ikke bidrar til forurensing, og gjør dette gjeldende også for norsk kraftforbruk. Andre hevder derimot at endringer i kraftforbruket i Norge påvirker produksjonen av forurensende kraft i andre land som direkte eller indirekte deltar i det europeiske kraftmarkedet, som Norge er en del av. Tilsvarende kan en spørre seg om det er riktig at en bil som kjører på såkalt klimanøytralt drivstoff, skal regnes som klimanøytral³⁰ så lenge tilbudet av f.eks. biodrivstoff bare utgjør en brøkdel av den totale drivstoffetterspørselen. Debatten kan fort koke ned til et spørsmål om hvem som "har rett til" å tilskrive seg miljøfordelene av et produkt som det i utgangspunktet er knapphet på.

Vi velger å basere våre beregninger på et gjennomsnittsperspektiv, dvs. at vi legger til grunn den gjennomsnittlige miljøbelastningen for en energitype i det markedet energien omsettes i. Det betyr at vi regner energi- og klimabelastningen for strøm på bakgrunn av et gjennomsnitt i EU samt Sveits og Norge. For drivstoff har vi et videre perspektiv, siden dette lettere kan fraktes og omsettes globalt. For varme er perspektivet snevrere da det er lite aktuelt å transportere dette over lange avstander. Spørsmålet om hvilket prinsipp miljøbelastningen fra energien skal beregnes på bakgrunn av, drøftes inngående i vedlegg 1.

5.1 Hvilken kraftmiksk skal vi bruke?

På kort sikt vil lav kullpris og usikkerhet i gassmarkedet bidra til at det fortsatt blir bygd nye kullfyrte varmekraftverk, riktignok med høyere virkningsgrad og lavere utslipp enn de gamle. Samtidig bygges det ut gasskraft, fornybar kraft og kjernekraft. Men sett i et noe lengre tidsperspektiv vil prisen på utslipp av CO₂ bety svært mye for kraftproduksjonen. EUs mål om 20–30 prosents kutt i klimagassutslipp innen 2020 sett i forhold til 1990-nivå samt mål om å øke energieffektiviteten med 20 prosent og øke andelen fornybar energi til 20 prosent vil ha stor innvirkning. Studien *FORRES 2020: Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020* (Forres 2020 (2005)), finansiert av EU-kommisjonen, skisserer et satsingsalternativ som innebærer at 36,5 prosent av kraftproduksjonen i EU15 i 2020 vil være fornybar. For de 10 nye EU-landa (EU10) er tallet 26 prosent.

³⁰ Klimanøytral energi, både drivstoff og varme, kan være drivstoff som er produsert av organisk materiale som gjennom fotosyntesen har tatt opp like mye klimagasser som det som frigjøres når drivstoffet forbrennes. Noen typer biodrivstoff er nesten klimanøytrale i det lange løp, men bruk av f.eks. skog til bioenergi kan gi betydelige klimagassutslipp i en tidlig fase, mens opptaket gjennom fotosyntesen kan komme i en seinere fase.

Tyske Öko-Institut har, på oppdrag av den grønne fraksjonen i Europaparlamentet, gått et skritt lenger og skrevet rapporten *The Vision Scenario for the European Union* (Matthes, Gores, Graichen, Repenning og Zimmer 2006). Rapporten ser på EU25 og slår fast at kraftsektoren er den sektoren som har størst klimagassutslipp og størst potensial for utslippsreduksjoner. Rapporten tar utgangspunkt i at EUs klimagassutslipp skal reduseres med 30 prosent i 2020 i forhold til 1990-nivå og med enda kraftigere reduksjoner etter dette. Den tar også utgangspunkt i at kjernekraft skal fases ut, dvs. at levetida for eksisterende anlegg ikke skal forlenges, og at det ikke skal bygges nye slike anlegg. Rapporten viser at den totale kraftproduksjonen i EU25, med de nevnte forutsetningene, vil gå ned med 21 prosent i forhold til et scenario med "business as usual", men nivået er likevel 12 prosent høyere enn i 2000. Kullkraftandelen vil synke fra 30 prosent i 2000 til 16 prosent i 2020. Gasskraftandelen vil øke fra 17 til 19 prosent, mens andelen fornybar kraft vil øke fra 14 til 44 prosent.

Aune, Golombek og Kittilsen (2008) presenterer modellberegninger som viser hvordan kraftproduksjonen i EU15 samt Norge og Sveits vil utvikle seg dersom markedet liberaliseres og det innføres ulike virkemidler for å oppnå utslippsforpliktelsene i henholdt til Kyoto-protokollen i perioden 2008–2012. Vi har sett nærmere på et scenario i boka der det i 2010 er innført CO₂-avgift på US\$ 44 per tonn CO₂ i alle de 17 landa.³¹ Dette vil redusere kraftforbruket med 13 prosent sett i forhold til en situasjon med liberalisert kraftmarked, men uten harmonisert avgift. Kullkraftandelen vil synke fra 41 til 11 prosent, mens gasskraft vil øke fra 17 til 29 prosent. Andelen fornybar kraft vil øke fra 19 til 34 prosent. Mengden kjernekraft er forutsatt å holde seg konstant. Det er grunn til å anta at sterkere utslippsforpliktelser etter 2012 vil bidra til ytterligere utslippskutt. Men det er også viktig å huske på at modeller ikke speiler hele virkeligheten. Det fins praktiske og politiske hindringer som mest sannsynlig vil bidra til at endringene vil skje saktere enn hva en økonomisk modell tilsier. Modellen kan likevel gi oss en pekepinn på hvordan situasjonen kan bli f.eks. i 2020.

Som vist i vedlegg 2 har vi tatt utgangspunkt i rapporten fra Öko-Institut (visjons-scenariet) og den nevnte boka og gjort beregninger over framtidig gjennomsnittlig klimagassutslipp og primærenergiforbruk for EU27 pluss Norge og Sveits. Vi får forholdsvis like resultater, i underkant av 0,250 kg CO₂-ekv. per kilowattime sett i et livsløpsperspektiv, dvs. at utslipp fra utvinning og transport av energien, bygging og drift av kraftverk, tap i overføringsledninger etc. er inkludert.³² Vi understreker at det er svært vanskelig å anslå framtidige klimagassutslipp fra kraftproduksjon, og at dette er et estimat som vi bruker for å anslå utslipp i 2020. Til sammenlikning var gjennomsnittlig utslipp per kilowattime i samme geografiske område på 0,480 kg CO₂-ekv. i 2000.³³

Samtidig ønsker vi å illustrere miljøkonsekvensene på lengre sikt (2030) gjennom to scenarier, der strømmen i hovedsak består av fornybar kraft (hhv. 60 og 80 prosent), supplert med noe ikke-fornybar kraft der også CO₂-rensing og tilhørende deponering (CCS) er tatt i bruk. I disse scenariene ender vi opp med gjennomsnittlige utslipp på hhv. 0,040 og 0,100 kg CO₂-ekv. per kilowattime, sett i et livsløpsperspektiv.

Kraftforutsetningene er vist i tabell 5-2. Beregningene er beskrevet nærmere i vedlegg 2. Der viser vi også et tilleggsscenario basert på modellberegninger fra SSB, som innebærer en forutsetning om fortsatt omfattende bruk av kjernekraft i Europa kombinert med betydelig innfasing av kullkraft med CCS. Vi ønsker ikke å basere våre beregninger på langsiktig bruk av kjernekraft i stor skala og finner forutsetningen om omfattende bruk

³¹ Et slikt scenario vil gi omtrent samme utslag som en kvotepris på samme beløp, gitt at kvotene auksjoneres bort.

³² Til sammenlikning: Rapporten *Low carbon electricity systems* (Harmelink, Graus, Blok og Voogt u.å.) viser et framtidsscenario som etter våre beregninger vil gi gjennomsnittlige utslipp på ca. 0,120 kg CO₂-ekv. per kilowattime i 2020.

³³ Utslippstallet for 2000 er funnet ved hjelp av Gemis 4.42 (se litteraturliste) supplert med data fra Eurostat (2007) og BFE (2002).

av CCS som urealistisk innen 2020. Scenariet er likevel vist i vedlegget slik at vi kan vurdere om konklusjonene er robuste i forhold til alternative utviklingsretninger.

5.2 Drivstoff

Som nevnt er et viktig spørsmål hvor mye biodrivstoff med lave klimagassutslipp det er mulig å produsere på en miljømessig og sosialt forsvarlig måte. Samtidig er det et stort behov for kraftige utslippskutt, til tross for at det fortsatt ventes en økende etterspørsel etter drivstoff verden over.

Vi støtter oss til tre kilder når vi velger ut hvilke andeler biodrivstoff som vi forutsetter i 2020 og 2030, nemlig NOU 2006: 18, Steinsland og Madslien (2007) og Selvig (2007c). Andelene oppgitt i tabellen under viser hvilke utslippsreduksjoner som de ulike kildene anslår vil kunne komme som følge av bruk av biodrivstoff til vegtransport. Selvig opererer med to scenarier: normal teknologiutvikling og avansert teknologiutvikling.

Tabell 5-1: Ulike antakelser om andel biodrivstoff

	NOU 2006: 18	Steinsland og Madslien	Selvig, normal	Selvig, avansert
2014			5 %	5 %
2020	15–20 %	10 %		
2029			10 %	20 %
2035	25 %			
2039			20 %	30 %
2050	30 %			

Vi finner det riktig å være forholdsvis konservative når det gjelder andel biodrivstoff, bl.a. fordi det i mange tilfeller vil være fornuftig å bruke knappe bioressurser til kraft-varmeverk, som gir både strøm og varme, framfor til drivstoff. Vi forutsetter derimot at majoriteten av biodrivstoffet er såkalt andregenerasjons biodrivstoff, som produseres av skogråstoffer og ikke av biomasse fra landbruksjord, som kan konkurrere med mat-produksjon. Bruken av skogråstoff kan imidlertid ha en usikker klimaeffekt, og den kan komme i konflikt med behovet for vern av naturmangfoldet.

Også for drivstoff skisserer vi to scenarier som kan være relevante for 2030. Bioandelen avhenger av mange forhold, bl.a. totalt tilgjengelig ressursgrunnlag og fordeling av dette på hhv. mat, varme og drivstoff, kostnadene ved ulike teknologier, endring i drivstoff-forbruket per kjøretøykilometer, endringer i global etterspørsel etter drivstoff inkludert befolkningsvekst osv. Det er stor usikkerhet rundt mye av dette, og det er også muligheter for gjennombrudd for nye metoder å produsere drivstoff og energi på, f.eks. dyrking av hurtigvoksende alger som opptar CO₂. Siden det er stor usikkerhet om framtidig utvikling på dette området, bør ikke våre scenarier betraktes som annet enn beskrivelser av konsekvenser under gitt betingelser.

Som bioandel for 2020 holder vi oss til EUs mål på 10 prosent, et tall også Rolf Hagman (i Steinsland og Madslien 2007) anser som sannsynlig. For 2030 velger vi hhv. 15 og 30 prosent som alternative scenarier. Andelene biodrivstoff gjelder i alle sektorer og for alle transportmidler.

Forutsetningene om drivstoff er vist i tabell 5-2. Beregningene av gjennomsnittlig klimagassutslipp og primærenergiforbruk for ulike drivstoffscenarier er beskrevet nærmere i vedlegg 2.

5.3 Varme

Det går med betydelige mengder energi til å varme opp bygg (stasjoner, flyterminaler, fabrikker, vedlikeholdsanlegg m.m.), som vi må gjøre antakelser om hvordan vil bli dekt i framtida. Også på dette området er det grunn til å vurdere bruken av ressursene i en større sammenheng. Satsingsalternativet i Forres 2020 (2005) antyder bl.a. at bare

25,5 prosent av varmebehovet i EU15 vil komme fra fornybare kilder i 2020. For varme mener vi det er grunn til å ha et mer nasjonalt perspektiv, både fordi transportkostnadene for biomasse påvirker hvor det er fornuftig å bruke den, og fordi bruk av f.eks. spillvarme må ses i et lokalt perspektiv.

For både 2020 og 2030 forutsetter vi at 50 prosent av varmebehovet dekkes av biomasse, og at resten dekkes av elektrisitet med en stor andel varmepumper. Dette må kunne sies å være et optimistisk gjennomsnitt for alle bygg sett under ett, men relevant for større bygg som er aktuelle i denne rapporten.

Forutsetningene om varmeenergi er vist i tabell 5-2. Beregningene er beskrevet nærmere i vedlegg 2.

5.4 Energi- og klimafaktorer for energibærerne

Tabell 5-2 viser faktorene for primærenergiforbruk og klimagassutslipp som brukes videre i denne rapporten for de ulike energibærerne. Primærenergiforbruket er uttrykt som en faktor i forhold til sluttenergiforbruket, se nærmere omtale i kapittel 1.2.

Elkraft med høyspenning brukes av jernbane og deler av materialproduksjonen. Til framdrift av elektrisk drevne biler, stasjonære anlegg og øvrig materialproduksjon forutsetter vi bruk av elkraft med lavspenning.

Variantene i 2030 med 80 prosent fornybar strøm og 30 prosent biodrivstoff brukes kun for å illustrere et alternativ med mer bruk av fornybar energi i tabell 16-1. Ellers i rapporten brukes variantene med 60 prosent fornybar strøm og 15 prosent biodrivstoff i 2030-situasjonen.

Tabell 5-2: Primærenergiforbruk og klimagassutslipp for ulike energibærere

	kWh _{primær} / kWh _{slutt}	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)
2020		
Elkraft, høysp.	2,00	0,250
Elkraft, lavsp.	2,10	0,263
Drivstoff, 10 % bio	1,24	0,285
Varmeenergi, bygg	1,20	0,100
2030		
Elkraft, høysp., 60 % fornybar	1,70	0,100
Elkraft, lavsp., 60 % fornybar	1,79	0,105
Elkraft, høysp., 80 % fornybar	1,50	0,040
Elkraft, lavsp., 80 % fornybar	1,58	0,042
Drivstoff, 15 % bio	1,24	0,270
Drivstoff, 30 % bio	1,33	0,225
Varmeenergi, bygg	1,10	0,050

6 Klimaeffekter av flytrafikken utover CO₂-utslipp

Flytrafikk bidrar ikke bare til klimaendringer gjennom utslipp av CO₂. Utslipp av gasser som NO_x og vanndamp, samt dannelsen av skyer, påvirker også klimaet. Felles for disse tilleggseffektene er at de virker i en forholdsvis kort periode, sett i forhold til det CO₂ gjør. Men i denne korte perioden kan virkningene av tilleggseffektene være kraftige.

Siden de ulike klimavirkningene over tid opptrer med varierende styrke, blir det vanskelig å veie dem opp mot hverandre, med mindre effektene summeres opp i løpet av en fastsatt tidsperiode. Det kan være logisk å bruke samme lengde på perioden som den som brukes for å beregne klimaeffekten av gassene som omfattes av Kyoto-protokollen, nemlig 100 år. Derimot kan det også være gode grunner til å bruke en kortere periode, dersom vi legger raske utslippsreduksjoner høyere vekt, for å hindre at temperaturstigningen setter i gang andre prosesser som igjen fører til ytterligere global oppvarming. Vi mener derfor det er relevant å se tilleggseffektene både i et 100-årsperspektiv og i et 20-årsperspektiv. I alle beregningene videre i denne rapporten bruker vi likevel 100 år som tidsperspektiv, siden det er dette perspektivet Kyoto-protokollen har når klimaeffektene av ulike gasser beregnes.

Lian mfl. (2008) presenterer anslag på faktorer som uttrykker de totale klimaeffektene av flytrafikk sett i forhold til effekten av bare CO₂-utslipp. Ses effektene i et 100-årsperspektiv og konsekvensene av cirrusskyene er inkludert, er faktoren anslått til 1,8. Dersom effektene oppsummeres i løpet av 20 år, er faktoren på 3,8. Det er stor usikkerhet forbundet med effektene, særlig med det som har med cirrusskyene å gjøre. I tillegg er det store geografiske variasjoner samt variasjoner mellom dag og natt og årstidene imellom. Det er også store forskjeller avhengig av flyhøyde. Kortere flyturer, som i relativt liten del av turen foregår i høyere luftlag, kan få en annen faktor enn lange.

Føre-var-prinsippet, som er viktig i miljørammen, tilsier at usikkerhet bør tillegges vekt i den forstand at vi ikke undervurderer mulige miljøskader. Samtidig må vi ta inn over oss at en faktor som gjelder for et globalt gjennomsnitt, neppe er dekkende for relativt korte flyturer internt i Norge og til/fra våre naboland. Dette er med andre ord forhold som trekker i motsatt retning.

Arvesen og Hertwich (2007) differensierer faktoren og bruker 1,3 for innenriksreiser i Norge og 2,0 for utenriksreiser, men ifølge Arvesen er faktorene i stor grad gjetting.³⁴

Vi ønsker å operere med faktorer som kan brukes til å multiplisere opp klimaeffekten som oppstår ved bruk av drivstoff, inkludert utslippsandelen som skyldes drivstoffproduksjonen. Sistnevnte andel påvirker ikke klimaet gjennom utslipp i høyere luftlag, noe som taler for å redusere faktorene noe. Samtidig forutsetter vi at drivstoffet inneholder en viss andel biodrivstoff, noe som isolert sett trekker i motsatt retning. Til tross for stor usikkerhet – og som følge av mangel på bedre kunnskap – velger vi å bruke en faktor på 1,3 for å inkludere tilleggseffektene for flytrafikk på destinasjoner som er relevante i denne rapporten, sett i et 100-årsperspektiv. Skulle vi gjort beregninger for tilleggseffektene sett i et 20-årsperspektiv, lander vi på en faktor på i underkant av 2,1.

Et relevant spørsmål er om det oppstår tilleggseffekter også for andre transportmidler. Etter hva vi er kjent med, vil faktoren nærme seg null for dieselmotorer dersom motorene får velfungerende partikkelfiltre, noe vi må kunne forutsette i en framtids-situasjon. Vi er ikke kjent med at det i elektrisitetsproduksjon vil oppstå oppvarmende tilleggseffekter av vesentlig art.

³⁴ E-post fra Anders Arvesen, januar 2008.

7 Transportmidler

I dette kapitlet ser vi på energi- og klimabelastningen fra produksjon, vedlikehold og oppgradering av transportmidlene. Analysen støtter seg på ulike ikke-konsistente kilder. Dette sammen med mangelfulle data på enkeltområder gjør at beregningene må betraktes som forholdsvis usikre. Ressursforbruket til utvikling av transportmidlene er sannsynligvis ikke inkludert i våre kilder, muligens med unntak av den ene kilden for fly.

Faktorene for materialproduksjon og materialtransport som er brukt til å beregne transportmidlenes energi- og klimabelastning, er tatt fra tabell V3-1. Vi har ikke forutsatt at transportmidlene generelt vil bestå av mer energi- og klimaintensive materialer enn hva de gjør i dag. For elektrisk drevne biler har vi derimot forutsatt noe mer bruk av aluminium enn i vanlige biler. Ellers kan det diskuteres om det er riktig at forbruk av smøremidler, frost-/spylevæske osv. inkluderes i kapitlet om transportmidler. Dette forbruket er tatt med for personbil og buss og inngår muligens i den ene kilden som er brukt i beregningene for fly.

Det er stor forskjell i kjørelengde og levetid for de ulike transportmidlene. Forutsetningene om dette er vist i tabell 7-1.

Tabell 7-1: Forutsetninger om kjørelengde, levetid og andel av transportmidler i 2030-perioden som er produsert i 2020-perioden

	Kjøredistanse (mill. km)	Levetid (år)	Andel *
Høyhastighetstog	10,00	25	17 %
Personbil	0,25	18	6 %
Buss	1,50	5	
Fly, mellom-/langdist.	66,67	25	17 %
Fly, kortdist.	30,63	25	17 %

* Andel i 2030-perioden som er produsert i 2020-perioden

7.1 Høyhastighetstog

For å finne tall for høyhastighetstog støtter vi oss til en miljødeklarasjon om Regina-togmaterieell (Bombardier 2001), supplert med informasjon fra produsenten.³⁵ Miljødeklarasjonen gjelder et togsett med to vogner, som vi forutsetter har 145 seter. Deklarasjonen er ikke nødvendigvis representativ for nyere versjoner av togtypen. Vi bruker de viktigste materialmengdene til Regina og ganger opp med energi- og klimafaktorene for materialer. Vi øker energi- og klimabelastningen med 20 prosent for å ta høyde for materialer vi ikke har full oversikt over. Tall i miljødeklarasjonen for sluttenergiforbruk i produksjonsprosessen inkluderer ikke underleverandører eller transport av komponenter, og vi finner heller ingen tall på oppvarming utover strømforbruk. For å ta høyde for disse manglene ganger vi tallet – svært skjønnsmessig – med fem. Da er energiforbruket i produksjonsprosessen fortsatt svært lavt når vi sammenlikner med de andre transportmidlene, målt i forhold til transportmidlenes vekt. Vi antar at 45 prosent av energiforbruket går til oppvarming, 10 prosent er drivstoff og resten elektrisitet til andre formål. Vi lander på et klimagassutslipp på i underkant av 325 tonn CO₂-ekv. for produksjon av et tovnogners togsett i 2020.

Til driftsfasen bruker vi oppgitte materialmengder i miljødeklarasjonen. Vi tar ikke høyde for at sannsynligvis alle oppgraderingene vil skje i 2030-perioden. Til gjengjeld er ikke forbruk av smøremidler og kjemikalier inkludert i studien. For å ta hensyn til energiforbruk ved oppgraderinger av materiellet legger vi til 20 prosent av det ikke-materialrelaterte energiforbruket i produksjonsprosessen. Miljødeklarasjonen oppgir 30 år som levetid for togmateriellet. Vi bruker 25 år og anslår at dette tilsvarer 10 mill. kjørte kilometer.

³⁵ E-post fra Pia Öhrn i Bombardier Transportation, januar 2008.

For å finne tall på energiforbruk til ordinært vedlikehold har vi valgt ut én av NSBs materielltyper som vedlikeholdes i et eget vedlikeholdsanlegg, nemlig togmateriell av type 70, som tas hånd om av Mantenas anlegg i Skien.³⁶ Tall for energiforbruk her kan derfor lett relateres til en gitt mengde togkjøring. Anlegget i Skien er forholdsvis nytt, ferdigstilt i 1997. Vi antar at det har noe ledig kapasitet etter bortfall av vedlikeholdet av vognstammer for få år tilbake, uten at vi korrigerer for det. På bakgrunn av opplysninger fra Mantena³⁷ om energiforbruk i bygningsmassen og egne anslag på energiforbruk for utearealer (i hovedsak sporveksler) estimerer vi et årlig sluttenergiforbruk på 2,25 GWh, der vi forutsetter at halvparten går til oppvarming.

I tillegg til aktiviteten i Skien må vi regne med et visst energiforbruk til komponentproduksjon på Mantenas verksted på Grorud i Oslo. Anlegget på Grorud huser flere aktiviteter, og komponentproduksjonen gjelder mange materielltyper. Det foreligger ingen statistikk som fordeler energiforbruket på Grorud på de ulike materielltypene, så vi har vært nødt til å fordele på bakgrunn av omsetningstall.³⁸ Vi estimerer da et årlig sluttenergiforbruk på 0,61 GWh, der vi forutsetter at halvparten går til oppvarming. Energiforbruk til transport av komponenter er ikke inkludert.

For å omgjøre energiforbruket i fabrikker og vedlikeholdsanlegg til primærenergiforbruk og klimagassutslipp bruker vi faktorene fra tabell V3-1. Vi korrigerer for energieffektivisering og øker primærenergiforbruket med 5 prosent (i både 2020 og 2030) og klimabelastningen med 10 prosent i 2020 og 25 prosent i 2030 for å ta høyde for slitasje på bygningsmasse og annen realkapital. Sistnevnte tall er grovt estimert ved hjelp av faktorer for bygninger i tabell V3-1 samt tall for energiforbruk og bruttoareal for vedlikeholdsanlegget i Skien. Disse faktorene bruker vi for fabrikker og vedlikeholdshaller for alle transportmidler.

Energi- og klimabelastningen fra vedlikehold av NSBs togmateriell av type 70 deles på årlige tilbydde seterkilometer, ca. 1,45 mrd.³⁹ Tilsvarende deler vi energi- og klimabelastningen fra produksjon og oppgradering av Regina-materiell på totalt kjørte setekilometer i materiellets levetid. Vi finner da tall på energi- og klimabelastningen per setekilometer som vist i tabell 7-2.⁴⁰

Tabell 7-2: Energi- og klimabelastning fra produksjon, vedlikehold og oppgradering av togmateriell

Per setekilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0046	0,0008
2030	0,0039	0,0004

7.2 Personbil med forbrenningsmotor, gjennomsnitt

For gjennomsnittlig personbil med forbrenningsmotor tar vi utgangspunkt i Schweimer og Levin (u.å.), som omhandler VW Golf A4, der vi velger å bruke tall for dieselvarianten (1,9 TDI). Vi ganger opp sluttenergi- og materialmengdene med faktorene i tabell V3-1, i tillegg til å justere for effektivisering og slitasje på realkapital. Vi finner at det går med i overkant av 3 tonn CO₂-ekv. til å bygge en bil i 2020.

Schweimer og Levin har forutsatt at bilen kjører 150 000 km før den vrakes. Vi regner med 252 000 km (dvs. 14 000 km i 18 år) og skalerer opp energi- og klimabelastningen for vedlikehold, reservedeler, vasking m.m. tilsvarende. Vi har ikke lagt inn tall for

³⁶ Mantenas anlegg i Skien vedlikeholder også togsett av type Y1, men omfanget er svært lite.

³⁷ E-post fra Per Olav Johannesen i Mantena, desember 2007.

³⁸ E-post fra Anette Weideborg i Mantena, februar 2008.

³⁹ E-post fra Johnny Eide i NSB, desember 2007.

⁴⁰ Sammenlikner vi estimatet over sluttenergiforbruk til vedlikehold og oppgradering med tilsvarende tall for tyske ICE-tog (Rozycki mfl. 2003), finner vi at vårt estimat ligger noe lavere (0,0024 kontra 0,0028 kWh per setekilometer).

motorvarmere eller oppvarming av garasjer. Til gjengjeld har Schweimer og Levin tatt høyde for at bilen vaskes 18 ganger i året.

Med de nevnte forutsetningene får vi tall for en VW Golf A4 som vist i tabell 7-3, som vi antar er representative for en framtidig gjennomsnittsbil.

Tabell 7-3: Energi- og klimabelastning fra produksjon og vedlikehold av gjennomsnittlig personbil med forbrenningsmotor

Per setekilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0133	0,0028
2030	0,0117	0,0021

7.3 Personbil med elektrisk drift

Vi har ingen gode tall på energi- og klimabelastning for elbiler. Produsenten Think oppgir at klimabelastningen for elbil sannsynligvis ligger noe høyere enn for en liten personbil. Dersom vi justerer for størrelse og i tillegg forutsetter et noe lavere kilometerløp gjennom levetida for en elbil sett i forhold til en tradisjonell bil, mener vi det kan være riktig å operere med en energi- og klimabelastning som er 40 prosent høyere enn for en personbil med forbrenningsmotor, målt per setekilometer. Vi forutsetter at dette gjelder for både produksjon og vedlikehold av transportmidlet, og at dette usikre estimatet også kan brukes for plug-in-hybridbiler.

Tabell 7-4: Energi- og klimabelastning fra produksjon og vedlikehold av elbil og plug-in-hybridbil

Per setekilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0186	0,0039
2030	0,0164	0,0029

7.4 Ekspressbuss

For ekspressbuss støtter vi oss til en miljødeklarasjon for lavgulvsbuss av type 8500 fra Volvo (Volvo u.å.), supplert med informasjon fra produsenten.⁴¹ For å få en buss som er representativ for mellomdistanse- og langdistansetrafikk, endrer vi materialforbruket noe, på bakgrunn av informasjon fra selskapet. Vi antar at bussen har 48 seter.

Vi bruker de viktigste materialmengdene som oppgitt i miljødeklarasjonen og ganger med energi- og klimafaktorene fra tabell V3-1. Vi øker energi- og klimabelastningen med 5 prosent for å ta høyde for øvrige materialer.

Miljødeklarasjonen bringer kun et totaltall for energiforbruk. Vi antar at tallet er primær-energiforbruk inkludert materialproduksjon. Vi anslår skjønnsmessig at sluttenergiforbruket ved produksjonsprosessen etter effektivisering er på 0,03 GWh for bygging av en buss, der vi antar at 45 prosent går til oppvarming, 10 prosent er drivstoff og resten elektrisitet til andre formål. Vi ender da opp med på et klimagassutslipp på 24 tonn CO₂-ekv. for produksjon av en ekspressbuss i 2020.

Miljødeklarasjonen oppgir kun et totaltall på materialforbruk i driftsfasen, nemlig 3400 kg. Vi anslår at 10 prosent er plastikk, 20 prosent glass, 20 prosent stål, 30 prosent syntetisk gummi og resten diverse.

Tall på energiforbruk i vedlikeholdsfasen er tatt fra NSBs miljøregnskap (NSB 2008), som oppgir energiforbruk til Nettbuss' bygninger og motorvarmere. Dette ligger rimelig stabilt på ca. 0,0040 kWh per setekilometer. Tallet inneholder sannsynligvis en god del bygningsmasse, som f.eks. selskapsadministrasjon, som vi ikke finner naturlig å ha med her. Vi reduserer derfor tallet skjønnsmessig med 25 prosent. Tallet er et gjennomsnitt for all busskjøring til Nettbuss. Vi anslår at ekspressbussene har et lavere vedlikeholds-

⁴¹ E-post fra Edward Jobson i Volvo, desember 2007, om stål istedenfor aluminium i langdistansebusser.

behov per kjørte kilometer enn gjennomsnittsbussen. Vi reduserer derfor tallet svært skjønnsmessig med 30 prosent for å ta høyde for dette.

For å omgjøre energiforbruket i fabrikker og vedlikeholdsanlegg til primærenergiforbruk og klimagassutslipp bruker vi faktorene fra tabell V3-1. I tillegg justerer vi for effektivisering og slitasje på realkapital. Til slutt har vi lagt til et grovt estimat over kjemikalieforbruk, basert på tall fra Nettbuss for 2005, 2006 og 2007 (NSB 2007).⁴²

Tabell 7-5: Energi- og klimabelastning fra produksjon og vedlikehold av ekspressbuss

Per setekilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0054	0,0008
2030	0,0046	0,0005

7.5 Fly

Vi støtter oss til to hovedkilder om fly. Den første (Pingel 2007) bringer et anslag på materialforbruk ved bygging av Airbus 320 (ca. 150 seter) samt et grovt estimat på energiforbruk i byggeprosessen. Den andre (Hille, Aall og Klepp 2007) bringer et tall på primærenergiforbruk for bygging av fly, som er en miks av tall på fly for hhv. interkontinental trafikk og kortdistanse-/mellomdistansetrafikk. Vi gjør først noen beregninger basert på den første kilden.

Dersom vi bruker våre materialfaktorer som vist i tabell V3-1, finner vi at primærenergiforbruket fra materialer til bygging av Airbus 320 blir på ca. 1,3 GWh.⁴³ Pingel anslår grovt at forbruket i byggeprosessen eksklusiv transport ligger på 66,6 prosent av primærenergiforbruket fra materialene. Han har imidlertid brukt andre energi- og klimafaktorer for materialene enn det vi opererer med, der f.eks. energiinnholdet i plastikk og kompositter er tatt med. Vi setter derfor primærenergiforbruket i byggeprosessen til 66,6 prosent av Pingels materialenergiforbruk, i tillegg til at vi korrigerer for energieffektivisering og slitasje på realkapital samt at bruker våre energi- og klimafaktorer for energiproduksjonen i byggeprosessen. For å ta hensyn til transport av delkomponenter legger vi – helt skjønnsmessig – til 10 prosent. Totalt klimagassutslipp for bygging av flyet blir på vel 470 tonn CO₂-ekv. i 2020. Vi forutsetter at Airbus 320 flyr gjennomsnittlig 10 turer à 350 km i døgnet, 350 dager i året i 25 år. Med 150 seter gir dette 4,6 mrd. setekilometer.

Bruker vi den andre kilden (Hille mfl. 2007) og antar at primærenergiforbruket pga. effektivisering og bedre energimikser kan reduseres med 35 prosent i 2020, og vi samtidig forutsetter et klimagassutslipp per kilowatttime primærenergi på 0,23 kg i 2020 og 0,18 kg i 2030, finner vi at det går med ca. 2850 tonn CO₂-ekv. for å produsere det omtalte flyet. Vi kjenner ikke hvilken miks som er brukt mellom fly for interkontinental trafikk og fly for kortdistanse-/mellomdistansetrafikk i tallet som er oppgitt i Hille mfl., men regner her med en miks med halvparten av hver, der førstnevnte type har 300 seter og sistnevnte 150 seter. Hille mfl. regner med at flyet utfører 14,3 mrd. personkilometer under levetida. Vi finner dette noe høyt og forutsetter isteden 15,0 mrd. setekilometer i løpet av 25 år.

Beregningene basert på de to kildene gir ulike resultater. Sistnevnte regnestykke gir nesten dobbelt så høye tall på energi- og klimabelastning enn førstnevnte. Vi bruker et gjennomsnitt av begge metodene.

⁴² Vi regner da at smøremidler har energi- og klimaegenskaper tilsvarende diesel, mens øvrige kjemikalier kan likestilles med etanol.

⁴³ Vi mangler energi- og klimafaktorer for produksjon av kompositter, men bruker faktor 1,5 i forhold til plastikk.

Vi mangler gode kilder som omhandler vedlikehold av fly. Vi velger å gjøre et eget estimat basert på nordiske forhold, i tillegg til at vi legger til skjønnsmessig 10 prosent av tallet for flyproduksjon, for å ta høyde for bl.a. materialer ved større oppgraderinger.

Av SAS har vi fått tall på sluttenergiforbruk ved selskapets vedlikeholdsbaser og hangarer i Norge, for både bygningsmassen og kjøretøy. Totalen er anslått til ca. 30 GWh, som inkluderer forbruk i arealer som leies ut.⁴⁴ Vi anslår derfor at forbruket til vedlikehold av SAS' fly er på 25 GWh, der vi forutsetter at 50 prosent går til oppvarming. I tillegg kommer et drivstofforbruk til kjøretøy på i underkant av 16 000 liter.⁴⁵ Dette strøm- og drivstofforbruket relaterer vi til 10 mrd. setekilometer, som omtrent tilsvarer SAS Norges produksjon, uten at vi da tar hensyn til at vedlikeholdet av SAS-konsernets fly er spredt på mange baser i flere land.

Miljørappporten for Arlanda (Luftfartsverket u.å.) oppgir et CO₂-utslipp fra motortesting ved flyplassen på ca. 3000 tonn i 2007, som tilsvarer ca. 11,5 GWh. Vi forutsetter at dette forbruket kan relateres til SAS Swedens produksjon på ca. 6,5 mrd. setekilometer. Vi har ingen tilsvarende tall for Norge.

Vi justerer alle tall for energieffektivisering og slitasje på realkapital. Forbruket ved motortesting forutsetter vi reduseres med 40 prosent i 2020 og med ytterligere 10 prosent i 2030. Av total klimabelastning for bygging og vedlikehold av fly står vedlikeholdsfasen inkludert motortesting for 85 prosent av totalbelastningen i 2020.

Tabell 7-6: Energi- og klimabelastning fra produksjon, vedlikehold og oppgradering av fly

Per setekilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0055	0,0009
2030	0,0048	0,0006

7.6 Tilbringertransport

For transport mellom bysenter og flyplass oppgir vi tall i personkilometer, basert på forutsetningene om transportmiddelbruk som nevnt i kapittel 3.6. For buss bruker tall for ekspressbuss med belegg på 40 prosent. Av personbilbruken regner vi med at 8 prosent foregår med elbil eller plug-in-hybridbil i 2020, mens tallet er 40 prosent i 2030. For Flytoget forutsetter vi et gjennomsnittsbetlegg på 30 prosent.

Tabell 7-7: Energi- og klimabelastning fra produksjon, vedlikehold og oppgradering av tilbringertransportmidler

Per personkilometer	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
2020	0,0203	0,0034
2030	0,0190	0,0027

7.7 Godstog og vogntog

Energi- og klimabelastning fra bygging og vedlikehold av godstog er skjønnsmessig vurdert med støtte i Bombardier (2006). Et grovt estimat gir et tillegg for bygging og vedlikehold av godstog på 3 prosent av energi- og klimabelastningen fra framdrift av transportmidlene som vist i tabell 16-2 og 16-3. Vi bruker samme tall for vogntog.

⁴⁴ E-post fra Arnt Jørstad i SAS, desember 2007.

⁴⁵ E-post fra Tore Haugen i SAS, desember 2007.

8 Jernbanens infrastruktur

8.1 Forutsetninger om infrastrukturen

I dette kapitlet beskriver vi energi- og klimabelastningen av enkeltspor med kryssingsbelter og av baner med sammenhengende dobbeltspor, begge utstyrt for elektrisk drift. Anlegg som utelukkende brukes av lokaltog eller godstog, er ikke inkludert i studien. Den forutsatte andelen tunneler og bruer er identisk med det som gjelder for den nær 33 mil lange høyhastighetsbanen Hannover–Würzburg. Vi har imidlertid lagt inn en betydelig lavere andel kunstige tunneler, og vi har redusert andelen av banedistansen som har kryssende bruer. Forutsetningene er ment å gjelde som gjennomsnitt for lengre banestrekninger sett under ett, f.eks. mellom landsdelene.

Særlig tunnelandelen og masseuttaksbehovet vil variere mye fra bane til bane, avhengig av bl.a. topografi og grunnforhold. For nye baner mellom Østlandet og Vestlandet vil en tunnelandel på over 50 prosent neppe være usannsynlig. For en ny bane mellom Østlandet og Trøndelag via Østerdalen og for IC-trianglet på Østlandet kan 25 prosent være en sannsynlig tunnelandel. Vår forutsatte tunnelandel på 37 prosent kan derimot passe godt både for en eventuell ny bane Gardermoen–Lillehammer–Trondheim og som et grovt gjennomsnitt for nye baner. For å synliggjøre konsekvensene av ulike tunnel- og bruandeler viser vi separate beregninger for to tilleggsalternativer.

Lavere tunnelandel og mildere klima taler for noe lavere ressursforbruk i IC-trianglet enn for baner mellom landsdelene. Men det er mye som trekker i motsatt retning også: I IC-trianglet vil dårligere fjell og grunnforhold kunne kreve mer ressurser til grunnforsterkning av traseen, det kan være behov for mer materialer til tunnelsikring, andelen kunstige tunneler vil sannsynligvis være høyere (pga. dårligere grunn og større arealkonflikter), antall overgangsbruer og underganger og omfanget av støydemping vil kunne bli høyere pga. større befolkningstetthet, antall sporveksler vil sannsynligvis være høyere pga. tettere togtrafikk etc. På bakgrunn av dette mener vi at konklusjonene i denne studien må kunne sies å være rimelig robuste.

Tabell 8-1: Forutsetninger om jernbanens infrastruktur

	Enkeltspor	Dobbeltspor
Antall sporkilometer per banekilometer	1,30	2,12
Andel av banedistansen som er tunnel	37,0 %	37,0 %
Andel av tunneldistansen som er kunstig tunnel ("miljøtunnel")	3,0 %	3,0 %
Andel av banedistansen som er bru	9,0 %	9,0 %
Andel av banedistansen som har kryssende bruer	0,5 %	0,5 %
Gjennomsnittlig masseuttak per banemeter, dagstrekninger	80 m ³	100 m ³
Gjennomsnittlig masseuttak per banemeter, tunneler	107 m ³	146 m ³
Andel av masseuttak på dagstrekninger som er fjell	64,0 %	64,0 %
Gjennomsnittlig tunnellengde, av banekilometer med tunnel	2500 m	2500 m
Gjennomsnittlig masseforflyttingsdistanse, dagstrekninger	3000 m	3000 m
Gjennomsnittlig masseforflyttingsdistanse, tunneler	4000 m	4000 m
Andel av banekilometer med tunnel som har doble løp	75,0 %	75,0 %
Antall forbikjøringsstasjoner per 100 banekilometer	2	3
Antall større stasjoner (minst fire spor) per 100 banekilometer	1	1
Bygningsmasse per 100 banekilometer, golvareal	1000 m ²	1000 m ²
Antall sporveksler per 100 banekilometer	40	40

Med 1,30 sporkilometer per banekilometer har vi inkludert en betydelig lengde med kryssingsspor og dobbeltsporparseller i det som er definert som enkeltspor. Dobbeltspor har, i tillegg til to gjennomgående hovedspor, også forbikjøringsspor (for godstog) samt flere spor på de større stasjonene.⁴⁶ Vi forutsetter at stasjoner og forbikjøringsspor på dobbeltspor i all hovedsak legges i dagen, dvs. ikke i tunnel eller på bru. Vi forutsetter

⁴⁶ Vi forutsetter at tunnelene og bruene på enkeltspor får en dobbeltsporandel på 20 prosent. På dobbeltspor regner vi med at forbikjøringsspor og ekstra spor på stasjonene ligger i dagen.

også at nye baner bygges med nytt signalsystem av typen ERTMS⁴⁷, som i hovedsak ikke har fysiske signaler langs sporet. Forutsetningene om tunneler er nærmere beskrevet i vedlegg 4.

Av jernbanenettets energi- og klimabelastning er det kun slitasjen på skinner, sviller og pukk samt bruken av vedlikeholdsmaskiner m.m. som vi regner som helt eller delvis bruksavhengig.

8.2 Energiforbruk på byggeplassen

Bygging av banetrasé

Beregningene av energiforbruk og klimagassutslipp ved bygging av banetrasé tar utgangspunkt i Phillips (2006), som har sett på anleggsmaskinbruken for fire parseller på Botniabanan i Sverige og utslippsfaktorer for disse maskinene. Selskapet Botniabanan har gitt oss informasjon om at de fire aktuelle parsellene i gjennomsnitt hadde et masseuttak på ca. 70 m³ per meter enkeltspor inkludert kryssingsspor, derav 64 prosent fjell.⁴⁸ Dette virker ikke urimelig for norske forhold. Det inngår ingen tunneler i disse parsellene.

Phillips' studie viser ikke energiforbruk, kun utslipp av CO₂ og klimagasser. Regner vi om fra CO₂ med energiinnholdet i diesel, finner vi et sluttenergiforbruk på 31 kWh/m³ for anlegg av traseen. Rapporten sier imidlertid ingen ting om hvilke masseforflyttingsdistanser som er brukt.

Vi har korrigert noen av delprosessene i Phillips' studie med innspill vi har fått fra entreprenørbransjen (strømforbruk til boring, vifter, pumper og brakkerigg) og fag-ekspertise⁴⁹, slik at vi kan anslå tall som gjelder for både dagstrekninger og tunneler.⁵⁰ Vi beholder Phillips' tall for steinknusing for både dagstrekninger og tunneler, som gjør at vi forutsetter at anlegget ikke trenger å tilføres stein eller pukk fra eksternt hold. Energiforbruket ved bruk av gravemaskin ved tunnelbygging er skjønnsmessig satt til en firedel av hva Phillips oppgir for bygging av trasé i dagen. Vi har ellers lagt til noe energiforbruk til grunnforsterkning.

For massetransport bruker vi tall som oppgitt i Stripple (2001) samt våre forutsatte masseforflyttingsdistanser, som gjelder all utgravd eller utsprengt masse. Stripple opererer med tre kategorier kjøreforhold – lette, gjennomsnittlige og vanskelige – avhengig av topografi, underlag osv. Vi bruker gjennomsnittlige kjøreforhold, for både trasébygging i dagen og tunnelbygging.

Energiforbruket til bormaskiner målt per utsprengt volum er høyere for tunneler med lite tverrsnitt enn for tunneler med høyere tverrsnitt. Det gjør at vi opererer med to tunnelkategorier: hovedtunnel (60–120 m²) og servicetunnel (20–40 m²). Vi forutsetter bruk av elektrisk boring samt elektrisk lasting. Sistnevnte bidrar til å redusere behovet for ventilasjon og har derfor flere vinn-vinn-effekter.

⁴⁷ ERTMS står for *European Railway Traffic Management System*.

⁴⁸ E-post fra Birgitta Aava-Olsson i Botniabanan, januar 2008. Til sammenlikning oppga Botniabanan tall over masseuttak for *hele* prosjektet på sine nettsider. Banen vil bli 190 km lang, derav 25 km med tunnel, og vil totalt føre til et masseuttak på 9 mill. m³ jord og 7 mill. m³ fjell, inkludert tunneler, bru og stasjonsområder. Trekker vi ut tunnelene, står vi igjen med et masseuttak på 87 m³ per banekilometer, derav 37 prosent fjell.

⁴⁹ E-post fra Amund Bruland ved NTNU, desember 2007 og mai 2008.

⁵⁰ Vi har mottatt et grovt estimat over energiforbruk til bygging av den 7,8 km lange Eiksundtunnelen i Møre og Romsdal, mottatt av Jan Lima i Mesta, august 2008. Dette viser et forbruk på ca. 190 liter diesel per tunnelmeter og ca. 4,5 GWh strøm for hele tunnelprosjektet, noe som gir et sluttenergiforbruk per teoretisk utsprengt masse på i underkant av 27 kWh/m³ for dieselskjøretøy/-utstyr og på ca. 8 kWh/m³ for elektrisk drevne maskiner. Eiksundtunnelen er en undersjøisk tunnel, som kan forventes å ha noe høyere drivstofforbruk til massetransport pga. sterk stigning i tunnelen.

Vi forutsetter at planering av stasjonsområder og bygging av serviceveger inngår i energiforbruket til bygging av banetraseen.

Tabell 8-2: Energi- og klimabelastning fra anlegg av trasé, per kubikkmeter

Slutt- og primærenergi: kWh Klimagassutslipp: kg CO ₂ -ekv.	Dagstrekning		Hovedtunnel		Servicetunnel	
	Diesel	El	Diesel	El	Diesel	El
Dumper	7,0		9,3		9,3	
Gravemaskin	6,8		1,7		1,7	
Hjullaster	2,9					
Steinknuser	4,7		4,7		4,7	
Grunnforsterkning	0,1					
Annet	2,0		2,0		2,0	
Boraggr., vifter, pumper, el.lasting m.m.		2,0		12,0		18,0
Sum sluttenergiforbruk før effektivisering	23,5	2,0	17,8	12,0	17,8	18,0
Sum primærenergiforbruk inkl. kapitalslit	26,1	3,7	19,6	22,5	19,6	33,7
Sum klimagassutslipp inkl. kapitalslit	6,0	0,5	4,2	2,8	4,2	4,2

Sammenlikner vi med andre studier, finner vi betydelige avvik. Strippel (2001) viser et primærenergiforbruk på størrelsesorden 5–6 kWh/m³ for vegbygging, riktignok med en betydelig lavere transportdistanse for masse og uten slitasje på anleggsmaskiner, men med et større omfang av grunnforsterkning. Heiberg (1992) henviser til tall for masseforflytting for vegbygging på 10,7 kWh/m³ for jordmasser og 24,8 kWh/m³ for fjellmasser (sannsynligvis sluttenergi uten såkalt komfortenergi). Regner vi med en fjellandel på 64 prosent, gir Heibergs tall et sluttenergiforbruk for dagstrekninger på ca. 20 kWh/m³.

For dieselforbruk ved bygging av jernbanebruer støtter vi oss til Uppenberget, Strippel og Ribbenhed (2003) og supplerende opplysninger fra en av forfatterne⁵¹, som gjelder den 48 meter lang brua over Brynneåen på Botniabanan, samt på opplysninger fra Veidekke om strømforbruk ved bygging av de to parallelle, 600 meter lange Helland bruer på E 18 i Vestfold.⁵² Vi regner med at bygging av jernbanebruer er noe mer energikrevende enn bygging av vegbruer. For å kunne sammenlikne bruer med ulik bredde regner vi med at 10,0 prosent endring i bredden gir 6,5 prosent endring i ressursforbruket. Våre tall for brubygging er oppsiktsvekkende høye, sett i forhold til f.eks. tunnelbygging. Vi har dessverre ikke lyktes i å framskaffe flere data for å styrke konklusjonen.

Energi- og klimabelastningen fra bygging av banetrasé er vist i tabell 8-3. Forutsetninger om effektivisering omtales i vedlegg 3.

Rehabilitering av fjelltunneler

Vi har skjønnsmessig lagt inn en energi- og klimabelastning for tunnelrehabilitering i driftsfasen tilsvarende 10 prosent av sluttenergiforbruket fra tunnelbygging. Energi- og klimabelastningen for et årlig gjennomsnitt av dette er vist i tabell 8-3.

Tabell 8-3: Energi- og klimabelastning ved bygging og rehabilitering av banetrasé

Per banemeter	Anlegg				Årlig tillegg	
	Diesel kWh _{slutt}	El kWh _{slutt}	Totalt kWh _{primær}	Totalt kgCO ₂ ekv.	Totalt kWh _{primær}	Totalt kgCO ₂ ekv.
Enkeltspor: Dagstrekn.	1 600	136	2 384	520		
Enkeltspor: Tunnel *	1 690	1 222	4 493	773	4,15	2,16
Enkeltspor: Jernbanebru	2 889	1 023	6 018	1 147		
Dobbeltspor: Dagstrekn.	2 000	170	2 980	650		
Dobbeltspor: Tunnel *	2 199	1 485	5 846	1 017	5,22	2,80
Dobbeltspor: Jernbanebru	4 308	1 526	8 974	1 711		

* Gjelder også baneandeler med miljøtunnel og kryssende bru

⁵¹ E-post fra Stefan Uppenberget i Botniabanan, juni 2008.

⁵² E-post fra Jarle Røe i Veidekke, juni 2008.

Montering av overbygning samt idrifttaking

Uppenberg mfl. (2003) oppgir tall for montage av bane-, elektro-, signal- og teleinstallasjoner. Av mangel på egne tall forutsetter vi her at denne forbruksposten også dekker montage av gjerder, støyskjermer, plattformer, belysning etc. samt skinnesveising, og vi bruker samme tall for både dagstrekning, tunnel og jernbanebru. Vi antar at dobbeltspor gir noe stordriftsfordeler i forhold til enkeltspor og reduserer skjønnsmessig med 5 prosent. Enkeltspor øker vi skjønnsmessig med 2 prosent. I tillegg kommer forbruk til idrifttaking, også tatt fra Uppenberg mfl. (2003). Denne forbruksposten dekker nødvendig kjøring av tog på banen før den kan tillates for ordinær trafikk.

Tabell 8-4: Energi- og klimabelastning for montage av overbygning m.m.

Per banemeter	Diesel kWh _{slutt}	El kWh _{slutt}	Totalt kWh _{primær}	Totalt kgCO _{2ekv.}
Enkeltspor	251	3	332	76
Dobbeltspor	394	4	522	119

8.3 Tapt karbonlagring i skog og jordbunn

Infrastruktur beslaglegger landområder som alternativt kunne vært brukt til å romme skog og jordbunn som binder karbon og dermed demper atmosfærens innhold av CO₂. Det vil derfor være riktig å regne med et visst CO₂-utslipp fra infrastrukturens arealbruk. Omfanget vil variere mye fra sted til sted, avhengig av lokale forhold.

Det er to typer karbonlagring vi tar i betraktning, nemlig karbonlagring i skog og annen vegetasjon samt karbonlagring i jordbunn. Særlig om jordbunn mangler det kunnskap, bl.a. om hvor mye karbon som vil lekke ut når vegetasjon fjernes eller jord graves opp. I denne studien bruker vi noen grove beregninger for å synliggjøre effektene.

Arne Grønlund på Bioforsk anslår at gjennomsnittlig karboninnhold i norsk skogareal er på 3,6 kg/m².⁵³ På bakgrunn av dette og andre opplysninger om arealene i Sør-Norge estimerer vi at gjennomsnitt karboninnhold for arealer i Sør-Norge er på 1,6 kg/m². Vi regner ikke inn noen ytterligere netto tilvekst.

Ifølge Skog og landskap (2006) er karboninnholdet i jord i produktiv skog på 11,6 kg/m², mens innholdet i jord på dyrka mark er på 14,1 kg/m². Vi har ingen gjennomsnittstall for arealer i Sør-Norge, men velger å bruke 8 kg/m² i vårt regnestykke. Som nevnt er det usikkert hva som skjer med karbonet i jorda dersom skog hogges eller jorda fjernes/omrøres. Vi antar i dette regnestykket at det ikke oppstår karbonlekkasje dersom bare vegetasjonen fjernes. For jord som graves opp eller omrøres, forutsetter vi at halvparten av karbonet forsvinner i løpet av 100 år. Den resterende halvparten forutsetter vi at blir værende igjen i jorda der den måtte havne.

Vi regner med at det kreves en vegetasjonsfri korridor på 30 meter for enkeltspor og 36 meter for dobbeltspor. Vi regner med at jord graves opp eller omrøres i en korridor på hhv. 6 og 12 meter. Når vi justerer for tilleggsarealer samt regner med at 1 kg karbon gir 3,7 kg CO₂, får vi tall som vist i tabell 8-5, som gjelder for dagstrekninger. For brukstrekninger bruker vi skjønnsmessig et tap som tilsvarer 40 prosent av dagstrekningene, mens vi for tunnelstrekninger regner med verdier tilsvarende 15 prosent av dagstrekningene.

Tabell 8-5: Tapt karbonlagring som følge av arealbruk

Per banemeter, kgCO _{2ekv.}	Enkelt- spor	Dobbelt- spor
Dagstrekning	433	485
Tunnel	65	73
Jernbanebru	173	194

⁵³ E-post fra Arne Grønlund på Bioforsk, januar 2008.

8.4 Energiforbruk i driftsfasen (drift, vedlikehold og reinvestering)

Drivstoff og kjemikalier

For å beregne energiforbruk til kjøretøyer og vedlikeholdsmaskiner, snøbrøyting av spor og plattformer m.m. tar vi utgangspunkt i tall for Sverige, der det går med ca. 100 GWh i fossilt drivstoff til dette årlig.⁵⁴ Dette forbruket dekker ca. 11 900 km spor og en belastning på ca. 60 mill. bruttotonnm km årlig. Vi anslår svært skjønnsmessig at 30 prosent av forbruket er bruksavhengig, 70 prosent ikke. En god del aktivitet må utføres uansett, det være seg skifte av lyspærer, maling av bygninger, snøbrøyting etc. En god del av forbruket er også uavhengig av om det er dobbeltspor eller enkeltspor. Vi regner skjønnsmessig at dobbeltspor har et forbruk per banekilometer som er 60 prosent høyere enn forbruket per sporkilometer, mens forbruket for enkeltspor er 10 prosent høyere enn sistnevnte.

Det er verd å være klar over at våre referansetall fra Sverige gjelder hele banenettet, både nye og eldre baner, baner med mye og lite trafikk etc. På nye baner vil vedlikeholdsbehovet være mindre, noe som kan tilsi at vi bør bruke lavere tall. Til gjengjeld vil tøffere værforhold i Norge kunne gi høyere tall. Om baner med høyhastighetstrafikk gir et større ressursbehov på dette området, er vi ikke kjent med, men det er ikke utenkelig. Siden det er forhold som kan trekke i ulike retninger, gjør vi ingen ytterligere justeringer, bortsett fra at vi legger til noe for brøyting av serviceveger og justerer for slitasje på anleggsmaskiner samt energieffektivisering. Når vi ganger opp med standardfaktorene for primærenergiforbruk og klimagassutslipp, får vi tall som vist i tabell 8-6, som gjelder per banemeter uavhengig av trafikkbetlastning. I tabell 8-7 viser vi et bruksavhengig tilleggsforbruk.

Tabell 8-6: Tidsavhengig energi- og klimabelastning av drivstofforbruk til drift og vedlikehold

Per banemeter årlig	2020			2030		
	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Enkeltspor	7,21	9,39	2,16	6,49	8,45	1,75
Dobbeltspor	8,54	11,13	2,56	7,69	10,01	2,08

Tabell 8-7: Bruksavhengig energi- og klimabelastning av drivstofforbruk til drift og vedlikehold

	2020			2030		
	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Per mill. bruttotonnmeter	0,43	0,55	0,13	0,38	0,50	0,11

I Uppenberget (2003) er det angitt et forbruk på ugrasmidler på 0,13 kg/sporkm årlig. Vi har ingen energi- og klimadata tilgjengelig for slike kjemikalier og ignorerer derfor dette forbruket i denne rapporten. Vi mangler også tall for energiforbruk ved skinneseising.

El og varme

Sporvekslene har stor innflytelse på strømforbruket i driftsfasen. Rozycki mfl. (2003) oppgir 250 timer som gjennomsnittlig årlig brukstid og et årsforbruk på 4000 kWh per sporveksel. Det er åpenbart altfor lite for norske forhold. Banverket anslår 1000 timer som gjennomsnittlig brukstid årlig i Nord-Sverige (Boden) og en gjennomsnittlig effekt per veksler på 15–18 kW for høyhastighetsbaner.⁵⁵ Tall fra Jernbaneverket⁵⁶ viser stor variasjon i brukstida, avhengig av år og geografisk beliggenhet, med om lag 1000 timer i Vestfold og i størrelsesorden 1500 og 2600 timer for vekslergrupper på hhv. Hamar og Otta. For noen høyereliggende stasjoner nord for Dombås ligger timetallet på ca. 1700. På strekningen Garli-Trondheim spriker det fra rundt 400 til opp mot 2300 timer, avhengig av sted og år – med et grovt gjennomsnitt på rundt 1200 timer. Vi velger å bruke et gjennomsnitt på 1600 timer i året for strekninger mellom landsdelene.

⁵⁴ E-post fra Åsa West i Banverket, februar 2008. Vi bruker svenske tall da tall fra Jernbaneverket ikke inkluderer underleverandører.

⁵⁵ E-post fra Mats Edbäck i Banverket, februar 2008.

⁵⁶ E-post fra Ingebjørg Bjørgum Seland i Jernbaneverket, mars-april 2008.

Varmeelementene på en høyhastighetsveksel vil antakelig ha en effekt på ca. 26 kW, men flere av vekslelene vil være kortere slik at vi anslår gjennomsnittlig effekt per veksel til å være 22 kW. Forutsetter vi i tillegg at 10 prosent av vekslelene ligger i tunnel eller under overbygg og dermed uten varmebehov, får vi et gjennomsnittlig energiforbruk per sporveksel for baner mellom landsdelene på 35 000 kWh per år.

Til kommunikasjonsutstyr (GSM-R), signal- og fjernstyringsanlegg (ERTMS) samt stasjonsbelysning anslår vi et årlig energiforbruk på 2000 kWh per banekilometer. Vi forutsetter at energiforbruket til bygningsmassen ligger på 150 kWh/m² årlig. For hver banekilometer med tunnel regner vi i tillegg med et sluttenergiforbruk på 1500 kWh til diodebelysning samt testing av nødventilasjonsanlegg.

Vi regner med 5 prosent reduksjon i sluttenergiforbruket fra 2020 til 2030. Vi skiller ikke mellom enkeltspor og dobbeltspor da antall sporveksler og stasjonsdimensjonene antas å være like.

Tabell 8-8: Energi- og klimabelastning av el- og varmemeforbruk i driftsfasen

Per banemeter årlig	2020			2030	
	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Dagstrekning og bru	16,00	32,25	3,96	26,22	1,52
Tunnel	17,50	35,40	4,36	28,78	1,67

8.5 Materialbehov

Som tabell 8-9 viser, står materialforbruket for en betydelig del av energi- og klimabelastningen fra jernbanens infrastruktur. Vi skiller mellom materialbehov i byggefasen og materialbehov i resten av anleggets levetid, der sistnevnte uttrykkes som gjennomsnitt per år. De forutsatte materialmengdene er vist i tabell 8-14 og 8-15. Energi- og klimakonsekvensene av de ulike materialene er beskrevet nærmere i vedlegg 3.

Trasébygging

For dagstrekninger inngår følgende i denne bolken: Borstål, grunnforsterkning, fiberduk, amfibieunderganger, støttemurer og sikringsbolter. Det er sprengstoff, borstål samt armeringsstål og betong til grunnforsterkning som står for den største energi- og klimabelastningen. Vi forutsetter at masser til normal underbygning ikke trenger tilføres fra eksternt hold, dvs. at det brukes utsprengt stein fra anlegget, som knuses lokalt.

Materialmengdene for ekstra grunnforsterkning er tatt fra Stripple (2001), men vi har nedjustert betydelig. Stripple forutsetter at 10 prosent av veglengden i hans studie trenger grunnforsterkning i form av betongpæler, mens ytterligere 10 prosent forsterkes ved sement-/kalkpæler. Som gjennomsnitt for jernbaner mellom landsdeler forutsetter vi at 3 prosent av strekningene forsterkes med betongpæler og 1 prosent med sement-/kalkpæler. Vi legger ellers til et behov for fiberduk på halvparten av dagstrekningene. Sprengstofforbruket for utsprengning av fjell i dagen er forutsatt å være på 0,6 kg/m³, mens vi anslår et borstålforbruk på 0,2 kg/m³.

Behovet for materialet ved bygging av fjelltunnel er nærmere beskrevet i vedlegg 4. For såkalte miljøtunneler har vi estimert materialmengdene med utgangspunkt i opplysninger fra Statens vegvesen om to miljøtunneler på E 18-parsellen Kopstad–Gulli i Vestfold.⁵⁷

Materialmengdene for jernbanebruer er estimert på bakgrunn av tall for to norske jernbanebruer som er bygd i nyere tid, Hølandalen jernbanebru på Østfoldbanen⁵⁸ samt

⁵⁷ E-post fra Monica Eidem i Statens vegvesen, april 2008.

⁵⁸ Materialmengder er tatt fra brukonstruktøren Johs. Holts nettside. Informasjonen er nå borte, men kan finnes på Wikipedia: http://no.wikipedia.org/wiki/H%C3%B8landalen_bruer

bru over Sandvikselva på Askerbanen⁵⁹, i tillegg til tall oppgitt i Rozycki mfl. (2003), som gjelder for bruene på høyhastighetsbanen Hannover–Würzburg. I materialmengdene, som gjelder per meter bruspenn, har vi lagt til et visst forbruk til kulverter. Det er også lagt inn materialforbruk til grunnforsterkning. Vi forutsetter at enkeltsporbruene har en bredde på 7 meter, mens dobbeltsporbruene er på 14 meter. For å kunne sammenlikne bruer med ulik bredde regner vi med at 10,0 prosent endring i bredden gir 6,5 prosent endring i ressursforbruket – med tilsvarende relative forhold mellom prosentene ved andre endringer i brubredden.

For kryssende bruer har vi estimert verdier på bakgrunn av tall for overgangsbru av tre over jernbanen på Tangen i Hedmark.⁶⁰ På banedistansen med kryssende bruer inngår i tillegg de samme materialene som for dagstrekninger. For både jernbanebruer og kryssende bruer forutsetter vi 100 års levetid uten behov for nevneverdig materialtilførsel etter at bruene er bygd. På banedistansen med kryssende bruer inngår i tillegg de samme materialene som for dagstrekninger.

Tabell 8-9: Energi- og klimabelastning fra materialer til banetrasé

Per banemeter	Anlegg		Årlig tillegg	
	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Enkeltspor: Dagstrekning	237	106	37,99	12,95
Enkeltspor: Tunnel	6 156	2 315		
Enkeltspor: Jernbanebru	20 828	6 712		
Enkeltspor: Kryssende bru	45 958	10 727		
Dobbeltspor: Dagstrekning	284	128	41,87	14,27
Dobbeltspor: Tunnel	7 235	2 735		
Dobbeltspor: Jernbanebru	28 866	9 294		
Dobbeltspor: Kryssende bru	51 285	11 982		

Overbygning (spor)

Vi forutsettes at det brukes tradisjonell skinnegang med sviller i pukk på dagstrekninger og på bruer, mens det legges betongstøpt, fast spor i tunnelene.

Skinnene veier 60 kg/m; i tillegg kommer ekstra forbruk til sporveksler m.m. Vi forutsetter at skinner, sporveksler og sviller har ei levetid tilsvarende en belastning på 500 mill. tonn⁶¹, uavhengig av om det er høyhastighetstog, lokaltog eller godstog som trafikkerer sporet. All belastning av skinner, sporveksler og sviller regnes for å være bruksavhengig, dvs. at det utelukkende er trafikkbelastningen som styrer utskiftingsbehovet.

Behovet for pukk til sporballast setter vi til 3,8 tonn per spormeter, og vi forutsetter at 30 prosent av mengden må suppleres med ny pukk når den renses.⁶² Vi tar ikke hensyn til at utgått pukk kan gjenbrukes til andre formål. Vi forutsetter at slitasjen på ballasten er delvis tidsavhengig og delvis bruksavhengig. Vi antar teoretisk at halvparten må renses/byttes etter 20 år, mens resten holder en belastning på 250 mill. tonn.

For fast spor i tunnel er betong- og armeringsmengdene tatt fra Rozycki mfl. (2003). Vi forutsetter at betongunderlaget har ei levetid på 60 år, uavhengig av trafikkmengden.

Tabell 8-10 viser energi- og klimabelastningen fra materialer som går med ved bygging og vedlikehold av overbygningen. Den negative belastningen i driftsfasen oppstår fordi

⁵⁹ E-post fra Knut Jørgensen i Jernbaneverket, januar 2008, og Olav Nordli i Jernbaneverket, april 2008.

⁶⁰ E-post fra Rune B. Abrahamsen i Sweco Norge, april 2008.

⁶¹ Christopher Schive i Jernbaneverket antyder i e-post av januar 2008 at skinner bør tåle 400–500 mill. bruttotonn, men dette gjelder generelt for norske forhold, med stedvis kurverike baner. Swärd (2006) viser til uttalelser om at skinner med vekt 60 kg/m kan tåle 650 mill. bruttotonn.

⁶² E-post fra Christopher Schive i Jernbaneverket, august 2008.

det bruksavhengige materialforbruket, som også inngår i tabell 8-11, ikke skal dobbelttelles.

Tabell 8-10: Tidsavhengig energi- og klimabelastning fra materialer til overbygning

Per banemeter	Anlegg		Årlig tillegg	
	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Enkeltspor: Dagstrekn. og bru	1 205	332	-9,41	-2,55
Enkeltspor: Tunnel	1 794	554	-2,64	-0,30
Dobbeltspor: Dagstrekn. og bru	1 956	540	-15,28	-4,13
Dobbeltspor: Tunnel	2 945	910	-4,07	-0,43

Tabell 8-11: Bruksavhengig energi- og klimabelastning fra materialer til overbygning

Per mill. bruttotonnmeter	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Dagstrekning og bru	1,68	0,43
Tunnel	1,23	0,31

Øvrige materialer

I denne bolken inngår: Kontaktledningsanlegg, omformere/transformatorer, signal- og GSM-R-anlegg, trekkerør til fiberoptisk kabel, stasjonsbygninger, plattformer, viltgjerder, støyskjermer, skilt, belysning og serviceveger. For tunnel inngår også kabler, trekkerør og lysarmatur og tunnelvifter. For brustrekninger inngår også ledeskinner.⁶³ Siden vi forutsetter signalanlegg av typen ERTMS, regner vi det som tilstrekkelig med et trekkerør før fiberoptisk kabel; vi legger ikke inn ressurser for egen kabelkanal langs sporet.

Materialer som dominerer energi- og klimabelastningen her, er aluminium i kontaktledningsanlegg og støyskjermer, stål i kontaktledningsanlegg og viltgjerder, betong til plattformer med underganger, kobber i kontaktledningsanlegg samt pukk til vedlikehold av serviceveger. For brustrekningene gir ledeskinnene et betydelig bidrag i denne materialkategorien.

Materialmengdene for kontaktledningsanlegget er basert på opplysninger mottatt av Jernbaneverket.⁶⁴ Vi har forutsatt at anlegget har forsterknings-/mateledning samt returledning over hele strekningen. Anleggets levetid er stipulert av oss. Vi forutsetter at det monteres tosidig viltgjerde langs 90 prosent og tosidige støyskjerm langs 5 prosent av banelengden som ikke går i tunnel. Materialmengder for viltgjerde er tatt fra Strippel (2001), mens mengdene for transformatorer/omformere er estimert bl.a. med støtte i tall fra Rozycki mfl. (2003). Vi forutsetter ellers at det er nødvendig med egne serviceveger langs jernbanen på halvparten av banelengden, som trenger påfyll av pukk i levetida.

Tabell 8-12: Energi- og klimabelastning fra øvrige materialer

Per banemeter	Anlegg		Årlig tillegg	
	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Enkeltspor: Dagstrekning *	346	100	5,81	1,40
Enkeltspor: Tunnel	310	91	5,54	1,33
Enkeltspor: Jernbanebru	1 122	310	5,81	1,40
Dobbeltspor: Dagstrekning *	443	126	6,88	1,66
Dobbeltspor: Tunnel	365	106	6,33	1,52
Dobbeltspor: Jernbanebru	1 735	477	6,88	1,66

* Gjelder også baneandel med kryssende bru

8.6 Total energi- og miljøbelastning: Oppsummeringstabeller og -figurer

Tabell 8-16 og 8-17 oppsummerer den tidsavhengige energi- og klimabelastningen for de ulike banetyperne og delprosessene som inngår der. Med *drift* menes gjennomsnittlig årlig belastning utover den som oppstår i anleggsfasen. Den årlige summen er funnet ved å

⁶³ Ledeskinner monteres mellom skinnene på bruer for å redusere konsekvensene ved eventuelle avsporinger.

⁶⁴ E-post fra Christopher Schive i Jernbaneverket, april-mai 2008.

dele anleggsbelastningen på 100 år, tillegg gjennomsnittlig årlig driftsbelastning. I sistnevnte belastning teller "Drift 2020" 10 prosent, mens "Drift 2030" teller 90 prosent.

Tabell 8-18 viser tidsavhengig energi- og klimabelastning for de ulike banetypene samt som gjennomsnitt for "standardbanen" og to alternative banekombinasjoner.

Tabell 8-13: Forutsetningen om tunnel- og bruandeler m.m. for "standardbanen" og to alternative banekombinasjoner

	Dag-strekning	Tunnel	Jernbane-bru	Kryssende bru
"Standardbanen"	53,5 %	37,0 %	9,0 %	0,5 %
Variant 1	74,5 %	20,0 %	5,0 %	0,5 %
Variant 2	31,5 %	60,0 %	8,0 %	0,5 %

Tabell 8-19 viser bruksavhengig energi- og klimabelastning for "standardbanen" og de to alternative banekombinasjonene, mens tabell 8-20 viser hvilke andeler av energi- og klimabelastningen for "standardbanen" som skyldes ulike delprosesser, gitt forskjellige trafikkmengder.

Figur 8-1 og 8-2 viser hvordan energi- og klimabelastningen per trafikkert bruttotonn varierer, avhengig av hvor mye trafikk det er på banen. Vi regner her tall for gjennomsnittlig årlig belastning over 100 år.

Tabell 8-14: Materialforbruk for enkeltspor, per meter bane av ulik type

		Anleggsfasen										Driftsfasen, i løpet av 100 år										Bruks- avh.
		Trasé					Spor		Øvrig			Trasé					Spor		Øvrig			
		Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Jernbanebru	Kryssende bru	Ikke-tunnel	Tunnel	Dagstrekning og kryssende	Tunnel	Jernbanebru	Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Jernbanebru	Kryssende bru	Ikke-tunnel	Tunnel	Ikke-tunnel	Tunnel	Per mill. bruttotonn	
Aluminium	kg	205	10 281	47 700	36 077	34 705	590	2 445	4	5	4		12 981				-590	1 630	10 228	11 195	0,91	
Betong	kg								0	132	170								0	0		
Bly	kg	2			2	2																
Kalk	kg								2	3	2								7	7		
Kobber	kg								4		4								6			
Limtre	kg					7 620			1		1								1			
Mineralull	kg								2	5	2								2	5		
Plastikk	kg	1	15			1	1	1					22				-1	-1				
Polyeten	kg		23										35									
Pukk	kg						4 940										494		1 750	1 750	0,03	
Sement	kg	2	445		2	2							123									
Sprengstoff	kg	31	207		31	31																
Stål	kg	26	461	3 074	2 535	3 526	186	252	25	12	181		192				-186	-131	27	13	0,28	
Tegl/mur	kg								6	6	6								9	9		
Bygninger	m ²								0	0	0								0	0		

Kun materialer som tilføres anlegget, er tatt med. Pukk som knuses lokalt, regnes ikke som tilført materiale. Negativt materialforbruk i driftsfasen skyldes at de samme materialene inngår i det bruksavhengige forbruket

Tabell 8-15: Materialforbruk for dobbeltspor, per meter bane i dagen av ulik type

		Anleggsfasen										Driftsfasen, i løpet av 100 år										Bruks- avh.
		Trasé					Spor		Øvrig			Trasé					Spor		Øvrig			
		Dagstreking	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Jernbanebru	Kryssende bru	Ikke-tunnel	Tunnel	Dagstreking og kryssende	Tunnel	Jernbanebru	Dagstreking	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Jernbanebru	Kryssende bru	Ikke-tunnel	Tunnel	Ikke-tunnel	Tunnel	Per mill. bruttotonn	
Aluminium	kg								4	5	4								10	12	0,91	
Betong	kg	235	11 057	58 500	50 105	38 735	960	4 054	191	134	191		14 250				-960	2 703	244	198		
Bly	kg								0	0	0								0	0		
Kalk	kg	3			3	3																
Kobber	kg								4	4	4								11	11	0,03	
Limtre	kg					8 500			4		4								6			
Mineralull	kg								1		1								1			
Plastikk	kg	1	23			1	1	1	3	5	3		34				-1	-1	3	5		
Polyeten	kg		26										39								0,28	
Pukk	kg						8 056										806		1 750	1 750		
Sement	kg	3	553		3	3							138									
Sprengstoff	kg	38	275		38	38																
Stål	kg	31	556	3 770	3 519	3 931	301	411	35	15	295		198				-301	-210	35	17	0,28	
Tegl/mur	kg								13	13	13								19	19		
Bygninger	m ²								0	0	0								0	0		

Kun materialer som tilføres anlegget, er tatt med. Pukk som knuses lokalt, regnes ikke som tilført materiale. Negativt materialforbruk i driftsfasen skyldes at de samme materialene inngår i det bruksavhengige forbruket

Tabell 8-16: Tidsavhengig primærenergiforbruk per meter bane av ulik type

KWh		Enkeltspor				Dobbeltspor			
		Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år
Dagstrekning	Bygging av banetrasé	2 384			23,8	2 980			29,8
	Montering av overbygning m.m.	332			3,3	522			5,2
	Drivstofforbruk i driftsfasen		9,39	8,45	8,5		11,13	10,01	10,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		32,25	26,22	26,8		32,25	26,22	26,8
	Materialer til banetrasé	237			2,4	284			2,8
	Materialer til overbygning	1 205	-9,37	-9,37	2,7	1 956	-15,19	-15,19	4,4
	Øvrige materialer	346	5,81	5,81	9,3	443	6,88	6,88	11,3
	Sum	4 505	38,08	31,12	76,9	6 184	35,06	27,92	90,5
Tunnel	Bygging av banetrasé	4 493	4,15	4,15	49,1	5 846	5,22	5,22	63,7
	Montering av overbygning m.m.	332			3,3	522			5,2
	Drivstofforbruk i driftsfasen		9,39	8,45	8,5		11,13	10,01	10,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		35,40	28,78	29,4		35,40	28,78	29,4
	Materialer til banetrasé	6 156	37,99	37,99	99,5	7 235	41,87	41,87	114,2
	Materialer til overbygning	1 794	-2,64	-2,64	15,3	2 945	-4,07	-4,07	25,4
	Øvrige materialer	310	5,54	5,54	8,6	365	6,33	6,33	10,0
	Sum	13 085	89,85	82,28	213,9	16 912	95,88	88,14	258,0
Jernbanebru	Bygging av banetrasé	6 018			60,2	8 974			89,7
	Montering av overbygning m.m.	332			3,3	522			5,2
	Drivstofforbruk i driftsfasen		9,39	8,45	8,5		11,13	10,01	10,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		32,25	26,22	26,8		32,25	26,22	26,8
	Materialer til banetrasé	20 828			208,3	28 866			288,7
	Materialer til overbygning	1 205	-9,37	-9,37	2,7	1 956	-15,19	-15,19	4,4
	Øvrige materialer	1 122	5,81	5,81	17,0	1 735	6,88	6,88	24,2
	Sum	29 505	38,08	31,12	326,9	42 053	35,06	27,92	449,2
Kryssende bru	Bygging av banetrasé	4 493			44,9	5 846			58,5
	Montering av overbygning m.m.	332			3,3	522			5,2
	Drivstofforbruk i driftsfasen		9,39	8,45	8,5		11,13	10,01	10,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		32,25	26,22	26,8		32,25	26,22	26,8
	Materialer til banetrasé	45 958			459,6	51 285			512,9
	Materialer til overbygning	1 205	-9,37	-9,37	2,7	1 956	-15,19	-15,19	4,4
	Øvrige materialer	346	5,81	5,81	9,3	443	6,88	6,88	11,3
	Sum	52 334	38,08	31,12	555,2	60 052	35,06	27,92	629,2

Tabell 8-17: Tidsavhengig klimagassutslipp per meter bane av ulik type

Kg CO ₂ -ekv.		Enkeltspor				Dobbeltspor			
		Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år
Dagstrekning	Bygging av banetrasé	520			5,2	650			6,5
	Montering av overbygning m.m.	76			0,8	119			1,2
	Tapt karbonlagring	433			4,3	485			4,8
	Drivstofforbruk i driftsfasen		2,16	1,75	1,8		2,56	2,08	2,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		3,96	1,52	1,8		3,96	1,52	1,8
	Materialer til banetrasé	106			1,1	128			1,3
	Materialer til overbygning	332	-2,55	-2,55	0,8	540	-4,13	-4,13	1,3
	Øvrige materialer	99	1,39	1,39	2,4	126	1,66	1,66	2,9
	Sum	1 565	4,97	2,12	18,1	2 047	4,05	1,12	21,9
Tunnel	Bygging av banetrasé	773	2,16	2,16	9,9	1 017	2,80	2,80	13,0
	Montering av overbygning m.m.	76			0,8	119			1,2
	Tapt karbonlagring	65			0,6	73			0,7
	Drivstofforbruk i driftsfasen		2,16	1,75	1,8		2,56	2,08	2,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		4,36	1,67	1,9		4,36	1,67	1,9
	Materialer til banetrasé	2 315	12,95	12,95	36,1	2 735	14,27	14,27	41,6
	Materialer til overbygning	554	-0,30	-0,30	5,2	910	-0,43	-0,43	8,7
	Øvrige materialer	90	1,32	1,32	2,2	105	1,52	1,52	2,6
	Sum	3 872	22,65	19,55	58,6	4 959	25,07	21,89	71,8
Jernbanebru	Bygging av banetrasé	1 147			11,5	1 711			17,1
	Montering av overbygning m.m.	76			0,8	119			1,2
	Tapt karbonlagring	173			1,7	194			1,9
	Drivstofforbruk i driftsfasen		2,16	1,75	1,8		2,56	2,08	2,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		3,96	1,52	1,8		3,96	1,52	1,8
	Materialer til banetrasé	6 712			67,1	9 294			92,9
	Materialer til overbygning	332	-2,55	-2,55	0,8	540	-4,13	-4,13	1,3
	Øvrige materialer	309	1,39	1,39	4,5	476	1,66	1,66	6,4
	Sum	8 749	4,97	2,12	89,9	12 334	4,05	1,12	124,7
Kryssende bru	Bygging av banetrasé	773			7,7	1 017			10,2
	Montering av overbygning m.m.	76			0,8	119			1,2
	Tapt karbonlagring	433			4,3	485			4,8
	Drivstofforbruk i driftsfasen		2,16	1,75	1,8		2,56	2,08	2,1
	El- og termisk energi i driftsfasen		3,96	1,52	1,8		3,96	1,52	1,8
	Materialer til banetrasé	10 727			107,3	11 982			119,8
	Materialer til overbygning	332	-2,55	-2,55	0,8	540	-4,13	-4,13	1,3
	Øvrige materialer	99	1,39	1,39	2,4	126	1,66	1,66	2,9
	Sum	12 439	4,97	2,12	126,8	14 268	4,05	1,12	144,1

Tabell 8-18: Tidsavhengig energi- og klimabelastning for ulike banetyper og banekombinasjoner

Per banemeter	Enkeltspor				Dobbeltspor			
kWh kg CO ₂ -ekv.	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år
<i>Primærenergiforbruk</i>								
Dagstrekning	4 505	38,08	31,12	76,9	6 184	35,06	27,92	90,5
Tunnel	13 085	89,85	82,28	213,9	16 912	95,88	88,14	258,0
Jernbanebru	29 505	38,08	31,12	326,9	42 053	35,06	27,92	449,2
Kryssende bru	52 334	38,08	31,12	555,2	60 052	35,06	27,92	629,2
<i>Klimagassutslipp</i>								
Dagstrekning	1 565	4,97	2,12	18,1	2 047	4,05	1,12	21,9
Tunnel	3 872	22,65	19,55	58,6	4 959	25,07	21,89	71,8
Jernbanebru	8 749	4,97	2,12	89,9	12 334	4,05	1,12	124,7
Kryssende bru	12 439	4,97	2,12	126,8	14 268	4,05	1,12	144,1
<i>Primærenergiforbruk</i>								
"Standardbanen"	10 169	57,24	50,05	152,5	13 651	57,56	50,20	187,5
Variant 1 *	7 710	48,44	41,35	119,2	10 393	47,22	39,97	144,6
Variant 2 **	12 142	69,14	61,82	184,0	16 119	71,55	64,06	226,0
<i>Klimagassutslipp</i>								
"Standardbanen"	3 120	11,51	8,57	40,1	4 111	11,83	8,81	50,2
Variant 1 *	2 440	8,50	5,60	30,3	3 205	8,58	5,40	37,8
Variant 2 **	3 578	15,58	12,58	48,7	4 781	16,66	13,59	61,7

* Sporvekselforbruket er økt med 10 prosent pga. lavere tunnelandel

** Sporvekselforbruket er redusert med 10 prosent pga. høyere tunnelandel

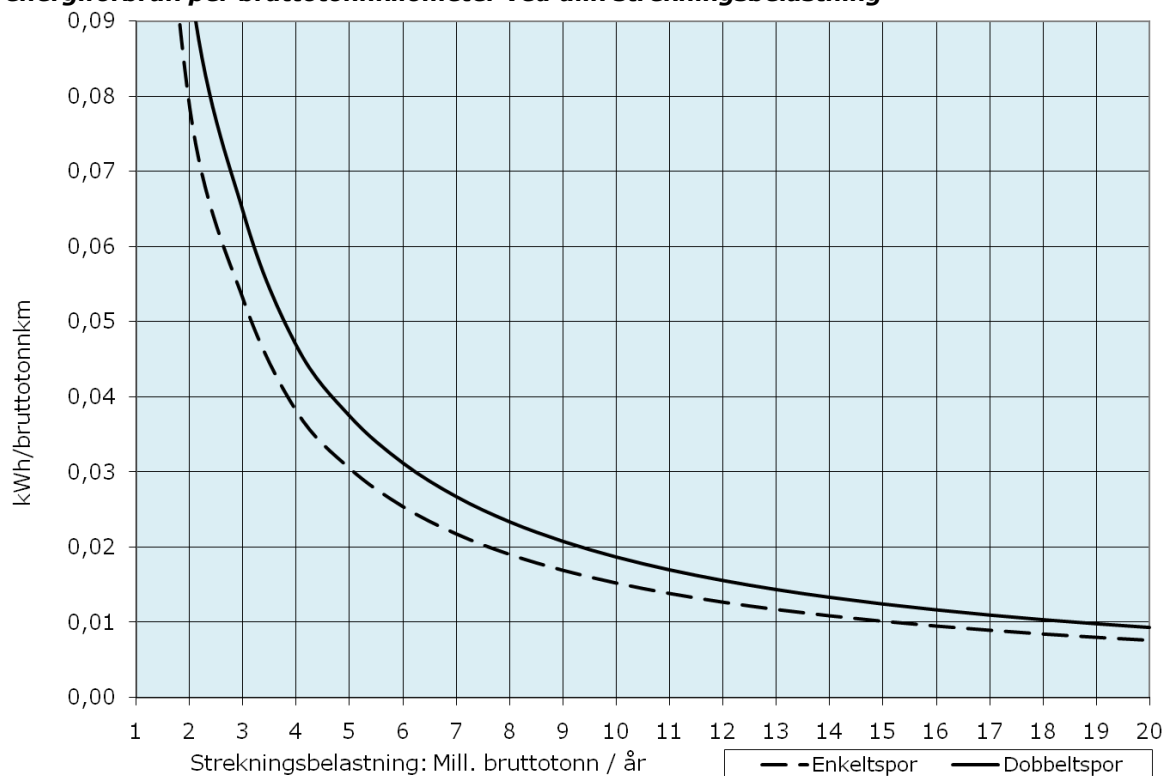
Tabell 8-19: Bruksavhengig energi- og klimabelastning for ulike banekombinasjoner

Per mill. bruttotonnmeter	Enkeltspor		Dobbeltspor	
kWh / kg CO ₂ -ekv.	2020	2030	2020	2030
<i>Primærenergiforbruk</i>				
"Standardbanen"	2,06	2,00	2,06	2,00
Variant 1	2,14	2,09	2,14	2,09
Variant 2	1,96	1,90	1,96	1,90
<i>Klimagassutslipp</i>				
"Standardbanen"	0,51	0,50	0,51	0,50
Variant 1	0,53	0,52	0,53	0,52
Variant 2	0,49	0,47	0,49	0,47

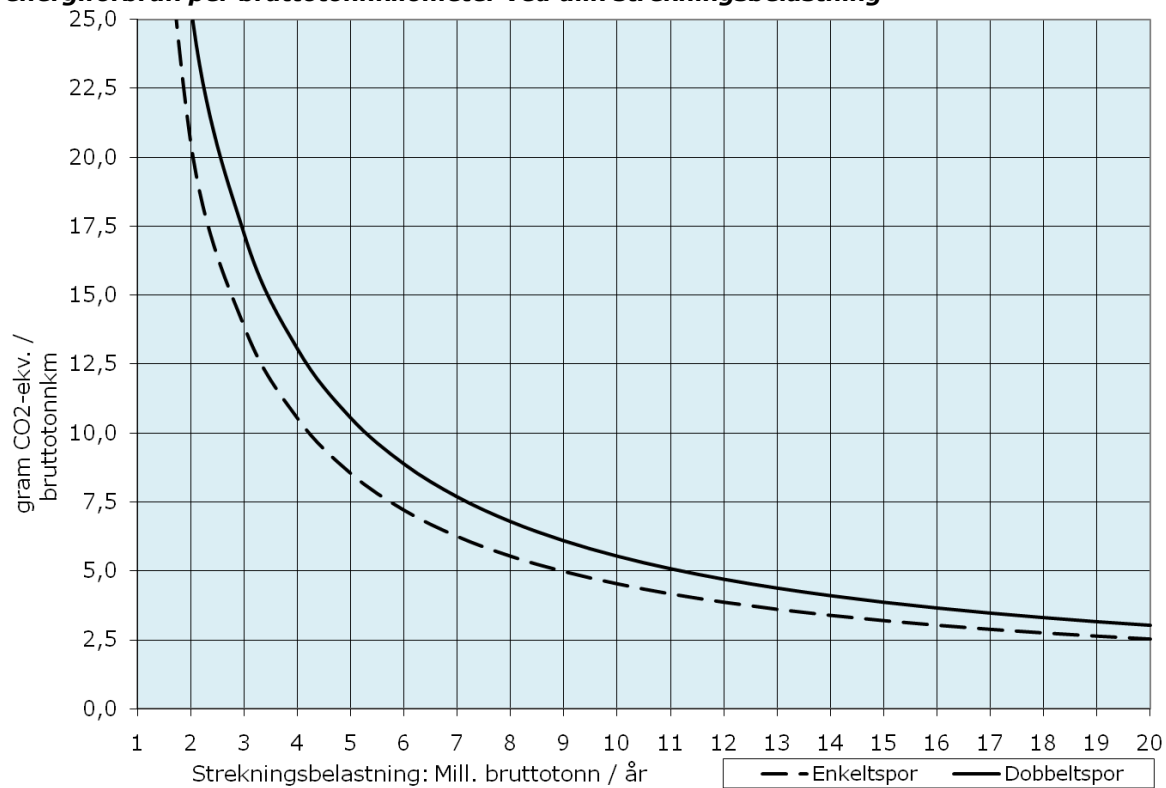
Tabell 8-20: Andel energi- og klimabelastning for ulike delprosesser for "standardbanen", avhengig av trafikkmengde

		Primærenergiforbruk							Klimagassutslipp						
		Enkeltspor			Dobbeltspor				Enkeltspor			Dobbeltspor			
Trafikk, mill. bruttotonn		0,0	5,0	12,5	0,0	5,0	12,5	20,0	0,0	5,0	12,5	0,0	5,0	12,5	20,0
Dagstrekning	Bygging av banetrasé	8 %	8 %	7 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	7 %	6 %	7 %	7 %	6 %	6 %
	Montering av overbygning m.m.	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	6 %	5 %	5 %	5 %	5 %	5 %	4 %
	Drivstofforbruk i driftsfasen	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %
	El- og termisk energi i driftsfasen	9 %	9 %	8 %	8 %	7 %	7 %	6 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %
	Materialer til banetrasé	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Materialer til overbygning	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Øvrige materialer	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %
	Sum	27 %	26 %	24 %	26 %	25 %	23 %	22 %	24 %	23 %	21 %	23 %	22 %	21 %	19 %
Tunnel	Bygging av banetrasé	12 %	11 %	10 %	13 %	12 %	11 %	11 %	9 %	9 %	8 %	10 %	9 %	9 %	8 %
	Montering av overbygning m.m.	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %
	Drivstofforbruk i driftsfasen	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	2 %	1 %	1 %	1 %
	El- og termisk energi i driftsfasen	7 %	7 %	6 %	6 %	6 %	5 %	5 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Materialer til banetrasé	24 %	23 %	21 %	23 %	22 %	20 %	19 %	33 %	31 %	29 %	31 %	29 %	27 %	26 %
	Materialer til overbygning	4 %	4 %	3 %	5 %	5 %	4 %	4 %	5 %	5 %	4 %	6 %	6 %	6 %	5 %
	Øvrige materialer	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %
	Sum	52 %	49 %	45 %	51 %	49 %	46 %	43 %	54 %	51 %	47 %	53 %	50 %	47 %	44 %
Jernbanebru	Bygging av banetrasé	4 %	3 %	3 %	4 %	4 %	4 %	4 %	3 %	2 %	2 %	3 %	3 %	3 %	3 %
	Montering av overbygning m.m.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Drivstofforbruk i driftsfasen	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	El- og termisk energi i driftsfasen	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Materialer til banetrasé	12 %	12 %	11 %	14 %	13 %	12 %	12 %	15 %	14 %	13 %	17 %	16 %	15 %	14 %
	Materialer til overbygning	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Øvrige materialer	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Sum	19 %	18 %	17 %	22 %	21 %	19 %	18 %	20 %	19 %	17 %	22 %	21 %	20 %	19 %
Kryssende bru	Bygging av banetrasé	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Montering av overbygning m.m.	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Drivstofforbruk i driftsfasen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	El- og termisk energi i driftsfasen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Materialer til banetrasé	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Materialer til overbygning	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Øvrige materialer	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Sum	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %
Bruksavhengig	Drivstofforbruk i driftsfasen		2 %	4 %		1 %	3 %	5 %		1 %	3 %		1 %	2 %	4 %
	Materialer til overbygning		4 %	9 %		3 %	7 %	11 %		5 %	10 %		4 %	9 %	13 %
	Sum		5 %	12 %		4 %	10 %	16 %		6 %	13 %		5 %	11 %	17 %

Figur 8-1: Primærenergiforbruk ved bruk av "standardbanen". Sum av tids- og bruksavhengig energiforbruk per bruttotonnkilometer ved ulike strekningsbelastning



Figur 8-2: Klimabelastning ved bruk av "standardbanen". Sum av tids- og bruksavhengig energiforbruk per bruttotonnkilometer ved ulike strekningsbelastning



8.7 Referanseinfrastruktur

Dersom etablering av en ny høyhastighetsbane i en korridor kommer til erstatning for eksisterende bane, som alternativt hadde blitt opprettholdt i omtrent samme standard som i dag, bør det gjøres et nettoregnskap av energi- og klimakonsekvensene for jernbaneinfrastrukturen i den aktuelle korridoren. Vi må med andre ord finne energi- og klimakonsekvensene av en referansejernbane, som vi trekker ifra konsekvensene for den nye høyhastighetsbanen.

For å finne energi- og klimakonsekvensene av referanseinfrastrukturen tar vi utgangspunkt i data fra hovedanalysen, men vi forutsetter at enkeltspor har 1,15 sporkilometer per banekilometer. Tunnelene og bruene på enkeltspor får en dobbeltsporandel på 5 prosent. For dobbeltspor regner vi ingen endringer. Utover konsekvensene av dette har vi gjort følgende endringer:

- Tall for bygging av banetrasé er skjønnsmessig redusert med 90 prosent for dagstrekning og tunnel og med 10 prosent for jernbanebru og kryssende bru.
- Tall for montering av overbygning m.m. er satt lik null.
- Tall for materialer til banetrasé er fratrasket sprengstoff og borstål.
- Tall for øvrige materialer er fratrasket ressursforbruk til serviceveger, og andelen av banestrekningen i friluft som har viltgjerde, er redusert fra 90 til 20 prosent.

Vi forutsetter at signalsystemet ERTMS brukes også i referanseinfrastrukturen.

Referanseinfrastrukturen må få en andel tunneler og bruer som passer med dagens banenett. Tunnelandelen varierer mye, fra nær null på Rørosbanen til hele 23 prosent på Sørlandsbanens vestre del (Kristiansand–Stavanger). Ellers ligger Vestfoldbanen (Drammen–Skien) på 1 prosent og Dovrebanen (Eidsvoll–Trondheim) på 2 prosent, mens Sørlandsbanen østre del (her definert som Drammen–Kristiansand) har en andel på 5 prosent. Bergensbanen (her definert som Drammen–Bergen) har en tunnelandel på 19 prosent, i tillegg til et betydelig antall snøoverbygg. Bruandelene varierer også mye.

Til våre sammenlikninger passer det best å bruke andelen av strekningene Eidsvoll–Trondheim, Drammen–Skien og Drammen–Kristiansand. I referanseinfrastrukturen blir tunnelandelen da på 3 prosent og andelen jernbanebru på 1,2 prosent. Andelen bane med kryssende bru setter vi til 0,2 prosent.

Vi får da en tidsavhengig energi- og klimabelastning for referanseinfrastrukturen, uttrykt som gjennomsnitt over 100 år, som vist i tabell 8-21. For enkeltspor viser vi også tall for bane uten elektrisk drift. Vi forutsetter da at elektrisk drift står for den andelen av standardbanens totale energi- og klimabelastning som vist i tabell 8-23.

Tabell 8-21: Tidsavhengig energi- og klimabelastning for referanseinfrastruktur, fordelt på banekategorier og som sum for hele banen

Per banemeter	kWh _{primær} /år	kgCO _{2ekv} /år
Enkeltspor: Dagstrekning	49,0	11,0
Enkeltspor: Tunnel	155,6	44,2
Enkeltspor: Jernbanebru	292,7	80,1
Enkeltspor: Kryssende bru	531,2	120,4
Enkeltspor: Sum	56,1	13,0
Enkeltspor: Sum uten el.drift	47,0	10,9
Dobbeltspor: Dagstrekning	58,4	14,8
Dobbeltspor: Tunnel	200,2	61,5
Dobbeltspor: Jernbanebru	435,0	126,7
Dobbeltspor: Kryssende bru	618,1	141,9
Dobbeltspor: Sum	147,6	42,8

8.8 Elektrisk banedrift

Vi forutsetter at nye jernbaner bygges med anlegg for elektrisk banedrift, dvs. med kontaktlednings- og strømforsyningsanlegg. For å synliggjøre hvor stor andel av den

tidsavhengige energi- og klimabelastningen dette utgjør, viser vi her tall for elektrisk banedrift separat.

Vi har ingen gode anslag på hvor stor andel av dieselforbruket som skyldes elektrisk banedrift. Vi anslår grovt at 30 prosent av belastningen fra montering av overbygning samt idrifttaking skyldes elektrisk banedrift, og at tallet for tidsavhengig drift, vedlikehold og reinvestering er 50 prosent. For materialforbruk har vi mer presise tall, som vist i tabell 8-22, som gjelder for dagstrekninger og bruere. I denne regneøvelsen forutsetter vi at 25 prosent av antall sporkilometer ligger i tunnel, der behovet for master og maste-fundamenter er mindre.

Tabell 8-22: Energi- og klimabelastning fra materialer til elektrisk banedrift

Per banemeter	Anlegg		Drift/år	
	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Enkeltspor	202	57	3,55	0,82
Dobbeltspor	321	90	5,05	1,19

Tabell 8-23 viser hvor stor andel elektrisk banedrift utgjør for de ulike banekategoriene samt for "standardbanen". Vi forutsetter her at traseenes bredde og tunnelenes tverrsnitt ikke er større for baner med elektrisk banedrift enn for baner uten dette.

Tabell 8-23: Andel av energi- og klimabelastning som skyldes elektrisk banedrift

	Enkeltspor		Dobbeltspor	
	Primær- energiforbruk	Klimagass- utslipp	Primær- energiforbruk	Klimagass- utslipp
Dagstrekning	14 %	14 %	16 %	15 %
Tunnel	5 %	4 %	6 %	5 %
Jernbanebru	3 %	3 %	3 %	3 %
Kryssende bru	3 %	2 %	2 %	2 %
"Standardbanen"	7 %	6 %	8 %	7 %

For å kunne fastslå om energi- og klimabelastningen fra elektrisk banedrift står i forhold til gevinsten som oppstår av å kjøre med elektrisk drevne tog framfor dieseldrevne tog, må vi vite noe om de ulike togtypenes egenskaper. På bakgrunn av ulike kilder⁶⁵ estimerer vi at elektrisk drevne tog i 2020 får et sluttenergiforbruk på i størrelsesorden 0,025–0,050 kWh per bruttotonnkilometer – lavest for godstog og høyest for små persontog – mens dieseldrevne tog vil ligge på 0,045–0,090 kWh. Vi regner grovt at differansen mellom elektrisk drevne og dieseldrevne tog ligger på 0,03 kWh per bruttotonnkilometer, i både 2020 og 2030. Med faktorene for primærenergiforbruk og klimagassutslipp fra kapittel 5 gir dette en differanse på ca. 0,02 kWh og 10–15 g CO₂-ekv. per bruttotonnkilometer som gjennomsnitt over 100 år, der 2020 teller 10 prosent og 2030 teller 90 prosent. Vi forutsetter at tapet i jernbanens strømsystem er proporsjonalt med trafikkmengden, dvs. at liten trafikk ikke gir høyere relative tap enn ved stor trafikk.

Svaret er tydelig: Miljøegenskapene til nye jernbaner svekkes betydelig dersom de ikke elektrifiseres. Dersom banene ikke har trafikkgrunnlag til å forsvare elektrifisering, har de i hvert fall ikke trafikkgrunnlag nok til i det hele tatt å bli bygd.

På bakgrunn av disse grove beregningene kan vi også konkludere med at det ikke skal store trafikkmengder til før energi- og klimaregnskapet for eksisterende dieseldrevne baner bedres dersom de elektrifiseres. For å få en positiv klimagevinst trengs det i størrelsesorden 3–5 små persontogavganger hver retning for å gå i balanse, mens det trengs en del flere persontog eller minst ett godstog hver retning daglig på ca. 1000 tonn

⁶⁵ Kilder er bl.a. tall i denne rapporten om elektrisk drevne persontog, Jørgensen mfl. (1997) samt Jernbaneverkets miljørapport for 2007 om elektrisk drevne godstog, tall fra NSB om dieselforbruk for materiell av type 93 og informasjon på Wikipedia om dieselforbruk for tyske ICE TD (http://de.wikipedia.org/wiki/DBAG-Baureihe_605) samt Foss, Bråthen og Husdal (2007) om dieseldrevne godstog.

for å få et positivt energiregnskap av elektrifisering. Vi understreker at disse beregningene ikke forteller oss om banene totalt sett bidrar med lavere energiforbruk og klimagassutslipp sett i forhold til bruk av andre transportformer. Vi viser kun forskjellen mellom dieseldrift og elektrisk drift. Beregningene forutsetter ellers at togstørrelsen uttrykt i tonn per passasjer ikke øker ved elektrifisering.

9 Veg

I dette kapitlet beskriver vi energi- og klimabelastningen av tre vegkategorier: tofeltsveg, to-/trefeltsveg og firefeltsveg. Tofeltsvegen er en typisk hovedveg mellom landsdelene med lav til middels trafikk, f.eks. E 6 Lillehammer–Trondheim eller rv. 3 gjennom Østerdalen. Firefeltsvegen er en typiske høytrafikkert stamveg på Østlandet med årsdøgntrafikk rundt 15 000. To-/trefeltsvegen er tatt med som et alternativ for firefeltsveger, som egner seg for trafikkmengder på i størrelsesorden 8 000–15 000 kjøretøy i døgnet.

Tunnelandelen på vegnettet varierer kraftig. Dagens E 6 på strekningen Lillehammer–Trondheim har en tunnelandel på om lag 1 prosent, mens andelen på E 16 på strekningen Sandvika–Bergen er på 16 prosent. E 18 på strekningen Eidanger–Kristiansand og E 39 Kristiansand–Stavanger har tunnelandeler på hhv. 4 og 5 prosent, mens andelen tunnel på E 6 Oslo–Svinesund er på 7 prosent. Nye og planlagte firefeltsveger har ofte forholdsvis høye tunnelandeler. E 18 Gutu–Helland–Gulli i Vestfold har en tunnelandel på ca. 22 prosent, mens den vil bli på om lag 15 prosent på E 18 Grimstad–Kristiansand, som er under bygging. Den planlagte E 6 Gardermoen–Biri ligger an til å få tunnelandeler på 3–10 prosent, avhengig av trasévalg.

Forutsetningene om tunnel- og bruandeler, antall kryss og overgangsbruer m.m. er satt på bakgrunn av studier av flere gjennomførte og planlagte utbyggingsprosjekter, i hovedsak E 18 gjennom Vestfold og på strekningen Grimstad–Kristiansand samt E 6 Gardermoen–Biri. For å synliggjøre konsekvensene av ulike tunnel- og bruandeler viser vi separate beregninger for to tilleggsalternativer for alle tre vegkategoriene.

Håndbok 017 (Statens vegvesen 2008a) definerer vegbredder for ulike vegkategorier. Hovedveger i spredtbygd strøk skal normalt ha vegbredder på 8,5 eller 10,0 meter når årsdøgntrafikken er under 8000. Vi velger derfor å bruke en vegbredde på 9,5 meter for tofeltsvegen. Håndboka angir 19 meter som normal vegbredde for firefeltsveger med årsdøgntrafikk mellom 12 000 og 20 000, som vi velger å bruke for firefeltsveger i vår studie. Det imidlertid viktig å være klar over at bredden på firefeltsveger varierer mye. E 18 i Vestfold og E 6 i Østfold har i stor grad en bredde på 26,0–29,0 meter. E 6 som bygges ut nordover fra Gardermoen, får en bredde på 26,5 meter, mens det er planlagt en bredde på 20,0–21,0 meter nord for Dal. E 18 Grimstad–Kristiansand får en bredde på 20,0 meter, mens rv. 2 Kløfta–Nybygg er blitt 16,5 meter.

Tabell 9-1: Forutsetninger om infrastrukturen

	Tofelts	To-/trefelts	Firefelts
Vegbredde	9,5 m	13,0 m*	19,0 m
Multiplikator for å ta hensyn til kryss, ramper osv. **	1,04	1,04	1,10
Andel av vegdistansen som er tunnel	5,0 %	5,0 %	10,0 %
Andel av tunneldistansen som er kunstig tunnel ("miljøttunnel")	10,0 %	10,0 %	10,0 %
Andel av vegdistansen som er bru	2,0 %	2,0 %	5,0 %
Andel av vegdistansen som har kryssende bruer	0,2 %	0,5 %	0,5 %
Gjennomsnittlig masseuttak per vegmeter, dagstrekninger	50 m ³	70 m ³	170 m ³
Gjennomsnittlig masseuttak per vegmeter, tunneler	73 m ³	147 m ³	147 m ³
Andel av masseuttak på dagstrekninger som er fjell	64,0 %	64,0 %	64,0 %
Gjennomsnittlig tunnellengde, av vegkilometer med tunnel	2500 m	2500 m	2500 m
Gjennomsnittlig masseforflyttingsdistanse, dagstrekninger	3000 m	3000 m	3000 m
Gjennomsnittlig masseforflyttingsdistanse, tunneler	4000 m	4000 m	4000 m
Andel av vegkilometer med tunnel som har doble løp	10,0 %	100,0 %	100,0 %
Andel av vegkilometer som er belyst	33,0 %	50,0 %	100,0 %

* Gjennomsnittlig vegbredde

** Deler av ressursforbruket for veg med standardbredde (hhv. 9,5 og 19,0 meter) multipliseres med disse faktorene for å ta høyde for ressursforbruk til kryss, ramper, rasteplasser etc. Oppgitte masseforflyttingstall i denne tabellen skal ikke ganges opp

Av vegnettets energi- og klimabelastning er det kun asfaltdekket samt tunnelventilasjonen som vi regner som bruksavhengig. Forutsetningene om tunneler beskrives nærmere i vedlegg 4. Vi har i denne studien ikke tatt med ressurser for infrastruktur som brukes kun av busstrafikken, som f.eks. bussterminaler og leskur.

9.1 Energiforbruk på byggeplassen

Bygging av vegtrasé

Vi bruker samme tall som for jernbane, per kubikkmeter som graves/sprenges ut. Behovet for masseuttak er estimert med støtte i tall fra ulike vegprosjekt i Norge. Tall for to- og trefeltsveger er usikre da vi har hatt lite data tilgjengelig. For firefeltevegene er det stor variasjon. Vi konkluderer med at en smal firefeltsveg i typisk flatt østlands-terreng (sør i Østfold og midt i Vestfold) vil kreve et masseuttak på rundt 50 m³ per vegmeter, mens behovet ved utbygging i mer krevende terreng ser ut til å ligge på mellom 150 og 250 m³.

Også for bruer bruker vi samme tall som for jernbane, korrigert for bredden, i tillegg til at vi reduserer med 10 prosent for å ta høyde for mindre dimensjoner på bruene. Energi- og klimabelastningen fra bygging av vegtrasé er vist i tabell 9-2.

Montering av vegutstyr samt asfaltering

For rekkverk, master, viltgjerder, vegunderlag osv. har vi estimert tall på bakgrunn av Strippel (2001). Tall for asfaltlegging er estimert på bakgrunn av Strippel (2000). Siden vi opererer med tall for asfalt som omfatter både asfaltlegging og materialbruk, viser vi ingen tabell med egne tall over energi- og klimabelastningen for montering av vegutstyr og asfaltering. Tall for dette inngår i tabell 9-7.

Rehabilitering av fjelltunneler

Vi har skjønnsmessig lagt inn en energi- og klimabelastning for tunnelrehabilitering i driftsfasen tilsvarende 10 prosent av sluttenergiforbruket fra tunnelbygging. Energi- og klimabelastningen for et årlig gjennomsnitt av dette er vist i tabell 9-2.

Tabell 9-2: Energiforbruk og klimagassutslipp for bygging og rehabilitering av vegtrasé

Per vegmeter	Anlegg				Årlig tillegg	
	Diesel kWh _{slutt}	El kWh _{slutt}	Totalt kWh _{primær}	Totalt kgCO _{2ekv.}	Totalt kWh _{primær}	Totalt kgCO _{2ekv.}
Tofelts: Dagstrekning	1 000	85	1 490	325		
Tofelts: Tunnel *	1 213	856	3 462	572	2,73	1,43
Tofelts: Vegbru	3 193	1 131	6 651	1 268		
To-/trefelts: Dagstrekning	1 400	119	2 086	455		
To-/trefelts: Tunnel *	2 220	1 499	6 189	1 029	4,89	2,62
To-/trefelts: Vegbru	3 816	1 352	7 948	1 515		
Firefelts: Dagstrekning	3 400	289	5 066	1 105		
Firefelts: Tunnel *	2 220	1 499	6 189	1 029	4,89	2,62
Firefelts: Vegbru	6 067	2 149	12 637	2 409		

* Gjelder også vegandeler med miljøtunnel og kryssende bru

9.2 Tapt karbonlagring i skog og jordbunn

Vi bruker samme metode som for jernbane og regner med at det kreves en vegetasjonsfri korridor på 20 meter for tofeltsveg, 30 meter for to-/trefeltsveg og 40 meter for firefeltsveg.

Tabell 9-3: Tapt karbonlagring som følge av arealbruk

Per vegmeter, kgCO _{2ekv.}	Tofelts- veg	To-/tre- feltsveg	Firefelts- veg
Dagstrekning	269	385	570
Tunnel	40	58	85
Vegbru	108	154	228

9.3 Energiforbruk i driftsfasen

Drivstoff og kjemikalier

Vi forutsetter at vegene brøytes for snø 20 ganger og saltes 50 ganger årlig. Vi ignorerer forbruket av kjemikalier til ugrasbekjemping.

Tabell 9-4: Energi- og klimabelastning av drivstoff- og saltforbruk i driftsfasen

Per vegmeter årlig	2020		2030	
	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Tofelts	5,69	1,23	5,11	1,02
To-/trefelts	7,40	1,60	6,65	1,33
Firefelts	11,74	2,55	10,54	2,11

El

Til vegbelysning forutsetter vi at det brukes anlegg med nedregulering av lysstyrken. Med støtte i Håndbok 264 (Statens vegvesen 2008b) estimerer vi at strømforbruket per opplyst meter med tofeltsveg, to-/trefeltsveg og firefeltsveg vil være på hhv. 15, 20 og 25 kWh. Andelen belyst veg for de ulike vegklassene er vist i tabell 9-1. For annet strømforbruk som f.eks. lystavler, trafikkregulering, oppvarming av servicebygg m.m. har vi lagt til 10 prosent. Vi regner med 10 prosent effektivisering fra 2020 til 2030.

Tabell 9-5: Tidsavhengig energi- og klimabelastning av elforbruk i driftsfasen

Per vegmeter årlig	2020			2030	
	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Tofelts	5,66	11,89	1,49	9,12	0,54
To-/trefelts	11,44	24,02	3,01	18,43	1,08
Firefelts	30,25	63,53	7,96	48,73	2,86

Vi regner med at alt energiforbruk til tunnelventilasjon er bruksavhengig, dvs. at den varierer proporsjonalt med trafikkmengden. På bakgrunn av tall for strømforbruket i en ventilert toløpstunnel anslår vi at det årlige strømforbruket per meter tunneløp er på 100 kWh årlig. Vi har da justert tallet betydelig ned for å ta høyde for at de korte tunnelene er uventilert. Forutsetter vi 10 000 kjøretøy i døgnet på gjennomsnittlig 3,5 tonn gjennom hvert løp, får vi tall som vist i tabell 9-6. Vi regner med 10 prosent effektivisering fra 2020 til 2030.

Tabell 9-6: Bruksavhengig energi- og klimabelastning av elforbruk til tunnelventilasjon

	2020			2030–		
	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{slutt}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Per mill. bruttotonnmeter	7,83	16,44	2,06	7,05	12,61	0,74

9.4 Materialbehov

Som tabell 9-7 og 9-8 viser, står materialforbruket for en betydelig del av energi- og klimabelastningen fra vegens infrastruktur. Vi skiller mellom materialbehov i byggefasen og materialbehov i resten av anleggets levetid, der sistnevnte uttrykkes som gjennomsnitt per år. De forutsatte materialmengdene er vist i tabell 9-11, 9-12 og 9-13. Energi- og klimakonsekvensene av de ulike materialene er beskrevet nærmere i vedlegg 3.

Trasébygging

Samme metoder og kilder for trasébygging er brukt til veg som for jernbane (se kapittel 8.5). Eneste forskjell er at vi bruker andre tall for vegbruer. Materialmengdene for vegbruer er estimert med utgangspunkt i opplysninger fra Statens vegvesen om bruene i E 18 på parsell 2 på strekningen Kopstad–Gulli i Vestfold.⁶⁶ Vi forutsetter at bruene har en bredde på 10,5 meter, og at det er behov for to parallelle bruer for firefeltsveger. Også her har vi lagt til et visst forbruk til kulverter.

⁶⁶ E-post fra Monica Eidem i Statens vegvesen, april 2008.

Tabell 9-7: Energi- og klimabelastning fra materialer til vegtrasé

Per vegmeter	Anlegg		Årlig tillegg	
	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Tofelts: Dagstrekning	188	79		
Tofelts: Tunnel	6 679	2 413	36,72	12,81
Tofelts: Vegbru	18 319	6 017		
Tofelts: Kryssende bru	44 413	10 316		
To-/trefelts: Dagstrekning	238	79		
To-/trefelts: Tunnel	14 543	5 225	55,30	18,51
To-/trefelts: Vegbru	21 927	7 200		
To-/trefelts: Kryssende bru	49 782	11 568		
Firefelts: Dagstrekning	422	199		
Firefelts: Tunnel	14 543	5 225	55,30	18,51
Firefelts: Vegbru	36 793	12 103		
Firefelts: Kryssende bru	57 785	13 468		

Asfalt og øvrige materialer

I denne bolken inngår: Vegunderlag, asfalt (ikke-bruksavhengig), veglysanlegg, kabler, midt- og siderekker, viltgjerder, støyskjermer, skilt samt noe diverse (kantstein, kumlokk, trekkerør og tunnelvifter). Våre data er i stor grad stipulert med støtte i Strippel (2001) og supplerende informasjon fra materialleverandører, Statens vegvesen m.m. Tall for asfaltering er estimert på bakgrunn av Strippel (2000). Merk at tall i tabell 9-8 inkluderer energi- og klimabelastning fra bruk av anleggsmaskiner.

Vi forutsetter at det monteres tosidig viltgjerde langs 10 prosent av tofeltsveg, 25 prosent av to-/trefeltsveg og 75 prosent av firefeltsveg, som andel av vegdistansen som ikke går i tunnel. Tilsvarende forutsetter vi tosidig støyskerm langs 5 prosent og tosidig siderekker på 20 prosent av vegnettet som ikke går i tunnel, uavhengig av vegkategori. I tillegg er det forutsatt gjennomgående, tosidig midtrekker på både to-/trefeltsveg og firefeltsveg.

Den desidert største faktoren som påvirker energi- og klimabelastningen her, er asfaltdekket. Vi regner med at halve slitasten er bruksavhengig og den andre halvparten tidsavhengig, se nærmere omtale i vedlegg 3.

Av andre materialer er det stål til midtrekker (to-/trefelts- og firefeltsveg) som dominerer. I vedlikeholdsfasen tilkommer også pukk og sand som vesentlig materialinnsats. Vi forutsetter 40 års levetid for bl.a. veglysanlegg, rekker og viltgjerder. Veglysmastene plasseres med 40 meters mellomrom.

Tabell 9-8: Tidsavhengig energi- og klimabelastning fra asfalt og øvrige materialer

Per vegmeter	Anlegg		Årlig tillegg	
	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Tofelts: Dagstrekning *	1 064	227	22,85	4,67
Tofelts: Tunnel	989	208	20,70	4,18
Tofelts: Vegbru	1 098	240	17,83	3,71
To-/trefelts: Dagstrekning *	1 588	346	32,94	6,83
To-/trefelts: Tunnel	2 228	471	46,53	9,40
To-/trefelts: Vegbru	1 595	354	25,66	5,40
Firefelts: Dagstrekning *	2 546	558	53,43	11,10
Firefelts: Tunnel	2 228	471	46,53	9,40
Firefelts: Vegbru	2 451	537	40,18	8,38

* Gjelder også vegandel med kryssende bru

Tabell 9-9: Bruksavhengig energi- og klimabelastning fra asfalt

	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Per mill. bruttotonnmeter	2,42	0,49

9.5 Total energi- og miljøbelastning: Oppsummeringstabeller og -figurer

Tabell 9-14 og 9-15 oppsummerer den tidsavhengige energi- og klimabelastningen for de ulike vegtypene og delprosessene som inngår der. Med *drift* menes gjennomsnittlig årlig belastning utover den som oppstår i anleggsfasen. Den årlige summen er funnet ved å dele anleggsbelastningen på 100 år, tillegg gjennomsnittlig årlig driftsbelastning. I sistnevnte belastning teller "Drift 2020" 10 prosent, mens "Drift 2030" teller 90 prosent.

Tabell 9-16 viser tidsavhengig energi- og klimabelastning de ulike banetypene samt for "standardvegen" og to alternative vegkombinasjoner.

Tabell 9-10: Forutsetningen om tunnel- og bruandeler m.m. for "standardvegen" og to alternative vegkombinasjoner

	Dag-strekning	Tunnel	Vegbru	Kryssende bru
<i>Tofelts og to-/trefelts</i>				
"Standardvegen"	92,8 %	5,0 %	2,0 %	0,2 %
Variant 1	95,8 %	2,0 %	2,0 %	0,2 %
Variant 2	87,8 %	10,0 %	2,0 %	0,2 %
<i>Firefelts</i>				
"Standardvegen"	84,5 %	10,0 %	5,0 %	0,5 %
Variant 1	91,5 %	5,0 %	3,0 %	0,5 %
Variant 2	76,5 %	15,0 %	8,0 %	0,5 %

Tabell 9-17 viser bruksavhengig energi- og klimabelastning for "standardvegen" og de to alternative vegkombinasjonene, mens tabell 9-18 viser hvilke andeler av energi- og klimabelastningen for "standardvegen" som skyldes ulike delprosesser, gitt forskjellige trafikkmengder.

Figur 9-1 og 9-2 viser hvordan energi- og klimabelastningen per trafikkert bruttotonn varierer, avhengig av hvor mye trafikk det er på vegen. Vi regner her tall for gjennomsnittlig årlig belastning over 100 år.

Tabell 9-11: Materialforbruk for tofeltsveg, per meter veg av ulik type

		Anleggsfasen								Drift, i løpet av 100 år							
		Trasé					Øvrig			Trasé					Øvrig		
		Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru	Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru
Aluminium	kg						0	0	0						0	1	0
Betong	kg	170	10 131	47 700	37 158	33 658	52		10		12 923				77		16
Kalk	kg	3			14	14											
Kobber	kg						0	0	0						0	0	0
Limtre	kg					7 400	4		4						6		6
Mineralull	kg						1		1						1		1
Plastikk	kg	1	16			1	2	3	2		23				2	3	2
Polyeten	kg		15								23						
Pukk	kg														15 200	15 200	
Sand	kg						3 800	3 800							15 200	15 200	
Sement	kg	3	324		14	14					81						
Sprengstoff	kg	19	148		19	19											
Stål	kg	21	317	3 074	2 029	3 429	11	4	37		237				16	5	56
Vegsalt	kg														520	520	520
Asfalt, veg	m ²						10	10	10						10	10	10

Kun materialer som tilføres anlegget, er tatt med. Pukk som knuses lokalt, regnes ikke som tilført materiale

Tabell 9-12: Materialforbruk for to-/trefeltsveg, per meter veg av ulik type

		Anleggsfasen								Drift, i løpet av 100 år							
		Trasé					Øvrig			Trasé					Øvrig		
		Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru	Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru
Aluminium	kg						0	2	0						1	3	1
Betong	kg	209	23 782	95 400	44 199	37 699	52		10		19 987				77		16
Kalk	kg	4			18	18											
Kobber	kg						0	1	0						0	1	0
Limtre	kg					8 300	4		4						6		6
Mineralull	kg						1								1		1
Plastikk	kg	2	35			2	2	8	1		53				2	10	2
Polyeten	kg		29								44						
Pukk	kg														20 800	33 880	
Sand	kg						5 200	8 470							20 800	33 880	
Sement	kg	4	616		18	18					154						
Sprengstoff	kg	27	294		27	27											
Stål	kg	21	746	6 148	2 029	3 839	11	9	72		332				66	10	108
Vegsalt	kg														676	1 073	676
Asfalt, veg	m ²						14	22	14						10	22	14

Kun materialer som tilføres anlegget, er tatt med. Pukk som knuses lokalt, regnes ikke som tilført materiale

Tabell 9-13: Materialforbruk for firefeltsveg, per meter veg av ulik type

		Anleggsfasen								Drift, i løpet av 100 år							
		Trasé					Øvrig			Trasé					Øvrig		
		Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru	Dagstrekning	Fjelltunnel	Miljøtunnel	Vegbru	Kryssende bru	Dagstrekning	Tunnel	Vegbru
Aluminium	kg						1	2	1						3	3	3
Betong	kg	305	23 782	95 400	74 589	43 284	208		10		19 987				312		17
Kalk	kg	5			25	25											
Kobber	kg						0	1	0						1	1	1
Limtre	kg					9 600	4		4						6		6
Mineralull	kg						1		1						1		1
Plastikk	kg	2	35			2	5	8	5		53				5	10	5
Polyeten	kg		29								44						
Pukk	kg														33 880	33 880	
Sand	kg						8 470	8 470							33 880	33 880	
Sement	kg	5	616		25	25					154						
Sprengstoff	kg	65	294		65	65											
Stål	kg	44	746	6 148	4 127	4 483	55	9	84		332				83	10	125
Vegsalt	kg														1 073	1 073	1 073
Asfalt, veg	m ²						22	22	22						22	22	22

Kun materialer som tilføres anlegget, er tatt med. Pukk som knuses lokalt, regnes ikke som tilført materiale

Tabell 9-14: Tidsavhengig primærenergiforbruk per meter veg av ulik type

kWh		Tofeltsveg				To-/trefeltsveg				Firefeltsveg			
		Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år
Dagstrekning	Bygging av vegtrasé	1 490			14,9	2 086			20,9	5 066			50,7
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		5,69	5,11	5,2		7,40	6,65	6,7		11,74	10,54	10,7
	Elenergi i driftsfasen		11,89	9,12	9,4		24,02	18,43	19,0		63,53	48,73	50,2
	Materialer til vegtrasé	188			1,9	238			2,4	422			4,2
	Asfalt og øvrige materialer	1 064	22,85	22,85	33,5	1 588	32,94	32,94	48,8	2 546	53,43	53,43	78,9
	Sum	2 742	40,43	37,08	64,8	3 911	64,36	58,01	97,8	8 034	128,69	112,70	194,6
Tunnel	Bygging av vegtrasé	3 107	2,73	2,73	33,8	6 189	4,89	4,89	66,8	6 189	4,89	4,89	66,8
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		5,69	5,11	5,2		7,40	6,65	6,7		11,74	10,54	10,7
	Elenergi i driftsfasen		11,89	9,12	9,4		24,02	18,43	19,0		63,53	48,73	50,2
	Materialer til vegtrasé	6 679	36,72	36,72	103,5	14 543	55,30	55,30	200,7	14 543	55,30	55,30	200,7
	Asfalt og øvrige materialer	989	20,70	20,70	30,6	2 228	46,53	46,53	68,8	2 228	46,53	46,53	68,8
	Sum	10 775	77,73	74,38	182,5	22 959	138,14	131,79	362,0	22 959	181,98	165,99	397,2
Vegbru	Bygging av vegtrasé	6 295			62,9	7 648			76,5	11 960			119,6
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		5,69	5,11	5,2		7,40	6,65	6,7		11,74	10,54	10,7
	Elenergi i driftsfasen		11,89	9,12	9,4		24,02	18,43	19,0		63,53	48,73	50,2
	Materialer til vegtrasé	18 319			183,2	21 927			219,3	36 793			367,9
	Asfalt og øvrige materialer	1 098	17,83	17,83	28,8	1 595	25,66	25,66	41,6	2 451	40,18	40,18	64,7
	Sum	25 712	35,41	32,06	289,5	31 170	57,08	50,73	363,1	51 204	115,45	99,46	613,1
Kryssende bru	Bygging av vegtrasé	3 107			31,1	6 189			61,9	6 189			61,9
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		5,69	5,11	5,2		7,40	6,65	6,7		11,74	10,54	10,7
	Elenergi i driftsfasen		11,89	9,12	9,4		24,02	18,43	19,0		63,53	48,73	50,2
	Materialer til vegtrasé	44 413			444,1	49 782			497,8	57 785			577,8
	Asfalt og øvrige materialer	1 064	22,85	22,85	33,5	1 588	32,94	32,94	48,8	2 546	53,43	53,43	78,9
	Sum	48 584	40,43	37,08	523,3	57 558	64,36	58,01	634,2	66 519	128,69	112,70	779,5

Tabell 9-15: Tidsavhengig klimagassutslipp per meter veg av ulik type

kg CO ₂ -ekv.		Tofeltsveg				To-/trefeltsveg				Firefeltsveg			
		Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/ år
Dagstrekning	Bygging av vegtrasé	325			3,3	455			4,6	1 105			11,1
	Tapt karbonlagring	269			2,7	385			3,8	570			5,7
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		1,23	1,02	1,0		1,60	1,33	1,4		2,55	2,11	2,1
	Elenergi i driftsfasen		1,49	0,54	0,6		3,01	1,08	1,3		7,96	2,86	3,4
	Materialer til vegtrasé	79			0,8	79			0,8	199			2,0
	Asfalt og øvrige materialer	227	4,67	4,67	6,9	346	6,83	6,83	10,3	558	11,10	11,10	16,7
	Sum	900	7,39	6,23	15,3	1 265	11,44	9,23	22,1	2 431	21,60	16,06	40,9
Tunnel	Bygging av vegtrasé	515	2,73	1,43	6,7	1 029	4,89	2,62	13,1	1 029	4,89	2,62	13,1
	Tapt karbonlagring	40			0,4	58			0,6	85			0,9
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		1,23	1,02	1,0		1,60	1,33	1,4		2,55	2,11	2,1
	Elenergi i driftsfasen		1,49	0,54	0,6		3,01	1,08	1,3		7,96	2,86	3,4
	Materialer til vegtrasé	2 413	36,72	36,72	60,9	5 225	55,30	55,30	107,6	5 225	18,51	18,51	70,8
	Asfalt og øvrige materialer	208	4,18	4,18	6,3	471	9,40	9,40	14,1	471	9,40	9,40	14,1
	Sum	3 177	46,35	43,88	75,9	6 783	74,21	69,73	138,0	6 811	43,30	35,49	104,4
Vegbru	Bygging av vegtrasé	1 200			12,0	1 458			14,6	2 280			22,8
	Tapt karbonlagring	108			1,1	154			1,5	228			2,3
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		1,23	1,02	1,0		1,60	1,33	1,4		2,55	2,11	2,1
	Elenergi i driftsfasen		1,49	0,54	0,6		3,01	1,08	1,3		7,96	2,86	3,4
	Materialer til vegtrasé	6 017			60,2	7 200			72,0	12 103			121,0
	Asfalt og øvrige materialer	240	3,71	3,71	6,1	354	5,40	5,40	8,9	537	8,38	8,38	13,8
	Sum	7 565	6,43	5,26	81,0	9 165	10,02	7,81	99,7	15 148	18,88	13,34	165,4
Kryssende bru	Bygging av vegtrasé	515			5,2	1 029			10,3	1 029			10,3
	Tapt karbonlagring	269			2,7	385			3,8	570			5,7
	Drivstoff- og saltforbruk, drift		1,23	1,02	1,0		1,60	1,33	1,4		2,55	2,11	2,1
	Elenergi i driftsfasen		1,49	0,54	0,6		3,01	1,08	1,3		7,96	2,86	3,4
	Materialer til vegtrasé	10 316			103,2	11 568			115,7	13 468			134,7
	Asfalt og øvrige materialer	227	4,67	4,67	6,9	346	6,83	6,83	10,3	558	11,10	11,10	16,7
	Sum	11 327	7,39	6,23	119,6	13 328	11,44	9,23	142,7	15 625	21,60	16,06	172,9

Tabell 9-16: Tidsavhengig energi- og klimabelastning for ulike vegtyper og vegkombinasjoner

Per vegmeter	Tofelts				To-/trefelts				Firefelts			
kWh kg CO ₂ -ekv.	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år	Anlegg	Drift 2020	Drift 2030	Sum/år
<i>Primærenergiforbruk</i>												
Dagstrekning	2 742	40,43	37,08	64,8	3 911	64,36	58,01	97,8	8 034	128,69	112,70	194,6
Tunnel	10 775	77,73	74,38	182,5	22 959	138,14	131,79	362,0	22 959	181,98	165,99	397,2
Vegbru	25 712	35,41	32,06	289,5	31 170	57,08	50,73	363,1	51 204	115,45	99,46	613,1
Kryssende bru	48 584	40,43	37,08	523,3	57 558	64,36	58,01	634,2	66 519	128,69	112,70	779,5
<i>Klimagassutslipp</i>												
Dagstrekning	900	7,39	6,23	15,3	1 265	11,44	9,23	22,1	2 431	21,60	16,06	40,9
Tunnel	3 177	46,35	43,88	75,9	6 783	74,21	69,73	138,0	6 811	43,30	35,49	104,4
Vegbru	7 565	6,43	5,26	81,0	9 165	10,02	7,81	99,7	15 148	18,88	13,34	165,4
Kryssende bru	11 327	7,39	6,23	119,6	13 328	11,44	9,23	142,7	15 625	21,60	16,06	172,9
<i>Primærenergiforbruk</i> "Standardvegen"	3 695	42,19	38,84	76,1	5 516	67,90	61,56	117,4	11 977	133,36	117,37	238,7
Variant 1	3 454	41,07	37,73	72,6	4 945	65,69	59,34	109,4	10 368	130,96	114,97	220,2
Variant 2	4 097	44,06	40,71	82,0	6 469	71,59	65,24	130,6	14 019	135,62	119,64	261,4
<i>Klimagassutslipp</i> "Standardvegen"	1 168	9,32	8,09	19,9	1 759	14,55	12,23	30,1	3 571	23,63	17,87	54,2
Variant 1	1 100	8,15	6,96	18,1	1 558	12,67	10,42	26,2	2 946	22,42	16,82	46,8
Variant 2	1 282	11,27	9,97	22,9	1 999	17,69	15,25	35,5	4 171	24,64	18,76	61,1

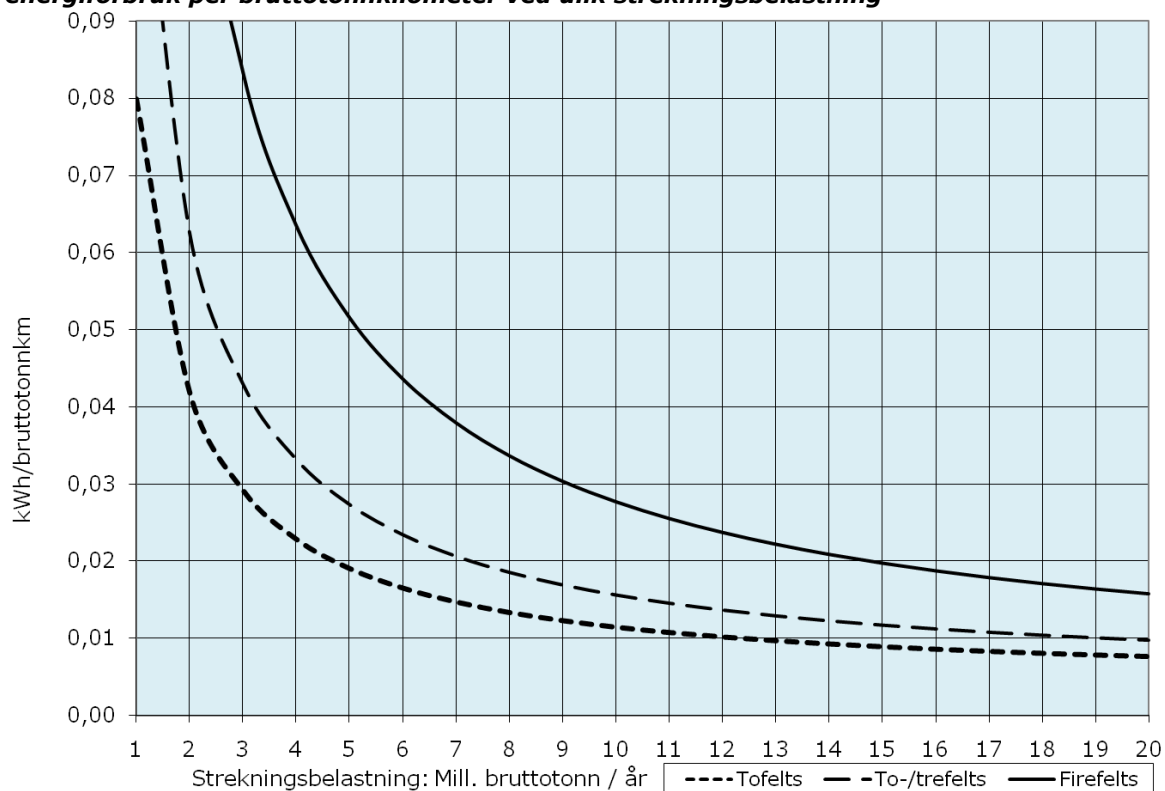
Tabell 9-17: Bruksavhengig energi- og klimabelastning for ulike vegkombinasjoner

Per mill. bruttotonnmeter	Tofeltsveg		To-/trefelts		Firefelts	
kWh / kg CO ₂ -ekv.	2020	2030	2020	2030	2020	2030
<i>Primærenergiforbruk</i>						
"Standardvegen"	3,24	3,12	3,24	3,12	4,06	3,82
Variant 1	2,75	2,70	2,75	2,70	3,24	3,12
Variant 2	4,06	3,82	4,06	3,82	4,88	4,52
<i>Klimagassutslipp</i>						
"Standardvegen"	0,59	0,53	0,59	0,53	0,69	0,57
Variant 1	0,53	0,50	0,53	0,50	0,59	0,53
Variant 2	0,69	0,57	0,69	0,57	0,80	0,61

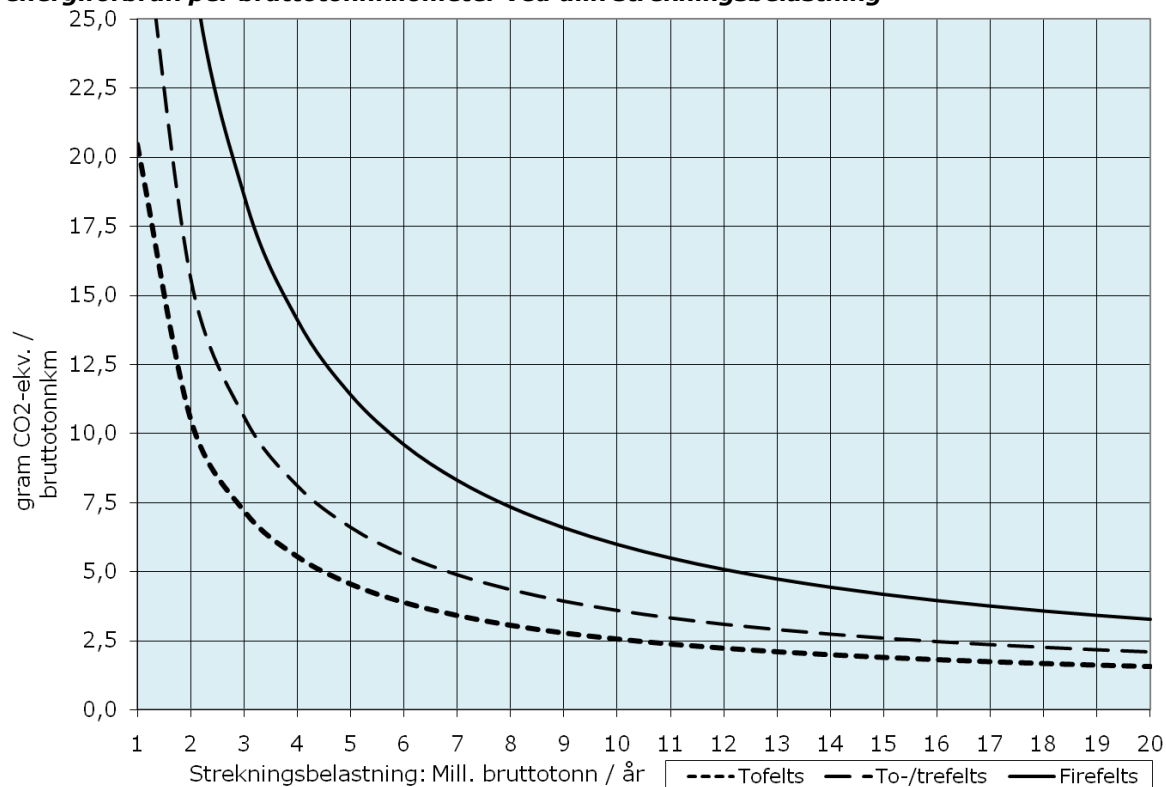
Tabell 9-18: Andel energi- og klimabelastning for ulike delprosesser for "standardvegen", avhengig av trafikkmengde

		Primærenergiforbruk									Klimagassutslipp								
		Tofelts			To-/trefelts			Firefelts			Tofelts			To-/trefelts			Firefelts		
		0	6,39	12,78	0	12,78	19,17	0	12,78	19,17	0	6,39	12,78	0	12,78	19,17	0	12,78	19,17
		0	5'	10'	0	10'	15'	0	10'	15'	0	5'	10'	0	10'	15'	0	10'	15'
Dagstrekning	Trafikk, mill. bruttotonn	0	6,39	12,78	0	12,78	19,17	0	12,78	19,17	0	6,39	12,78	0	12,78	19,17	0	12,78	19,17
	ÅDT (3,5 bruttotonn/kjøretøy)	0	5'	10'	0	10'	15'	0	10'	15'	0	5'	10'	0	10'	15'	0	10'	15'
	Bygging av vegtrasé	18 %	15 %	13 %	16 %	13 %	12 %	18 %	14 %	13 %	15 %	13 %	11 %	14 %	11 %	10 %	17 %	15 %	14 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13 %	11 %	9 %	12 %	10 %	9 %	9 %	8 %	7 %
	Drivstoff- og saltforbruk, drift	6 %	5 %	4 %	5 %	4 %	4 %	4 %	3 %	3 %	5 %	4 %	4 %	4 %	3 %	3 %	3 %	3 %	3 %
	Elenergi i driftsfasen	11 %	10 %	8 %	15 %	12 %	11 %	18 %	14 %	13 %	3 %	3 %	2 %	4 %	3 %	3 %	5 %	5 %	4 %
	Materialer til vegtrasé	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	4 %	3 %	3 %	2 %	2 %	2 %	3 %	3 %	3 %
Asfalt og øvrige materialer		41 %	34 %	29 %	38 %	30 %	28 %	28 %	22 %	20 %	32 %	28 %	24 %	32 %	26 %	24 %	26 %	23 %	22 %
Sum		79 %	66 %	56 %	77 %	61 %	55 %	69 %	55 %	50 %	72 %	61 %	53 %	68 %	55 %	51 %	64 %	56 %	53 %
Tunnel	Bygging av vegtrasé	2 %	2 %	2 %	3 %	2 %	2 %	3 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %	2 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Drivstoff- og saltforbruk, drift	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Elenergi i driftsfasen	1 %	1 %	0 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %
	Materialer til vegtrasé	7 %	6 %	5 %	9 %	7 %	6 %	0 %	0 %	0 %	15 %	13 %	11 %	18 %	15 %	13 %	13 %	11 %	11 %
	Asfalt og øvrige materialer	2 %	2 %	1 %	3 %	2 %	2 %	3 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	3 %	2 %	2 %
	Sum	12 %	10 %	9 %	15 %	12 %	11 %	17 %	13 %	12 %	19 %	16 %	14 %	23 %	19 %	17 %	19 %	17 %	16 %
Vegbru	Bygging av vegtrasé	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	3 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Drivstoff- og saltforbruk, drift	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Elenergi i driftsfasen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Materialer til vegtrasé	5 %	4 %	3 %	4 %	3 %	3 %	8 %	6 %	6 %	6 %	5 %	5 %	5 %	4 %	4 %	11 %	10 %	9 %
	Asfalt og øvrige materialer	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	1 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %
	Sum	8 %	6 %	5 %	6 %	5 %	4 %	13 %	10 %	9 %	8 %	7 %	6 %	7 %	5 %	5 %	15 %	13 %	13 %
Kryssende bru	Bygging av vegtrasé	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Tapt karbonlagring	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Drivstoff- og saltforbruk, drift	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Elenergi i driftsfasen	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Materialer til vegtrasé	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %
	Asfalt og øvrige materialer	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
	Sum	1 %	1 %	1 %	3 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %	2 %	2 %	1 %	1 %
Bruks-avhengig	Tunnelventilasjon		5 %	8 %		6 %	8 %		6 %	8 %		1 %	2 %		2 %	2 %		2 %	3 %
	Asfaltslitasje		12 %	21 %		15 %	20 %		15 %	20 %		13 %	23 %		17 %	23 %		10 %	14 %
	Sum		17 %	29 %		21 %	28 %		21 %	28 %		15 %	26 %		19 %	25 %		12 %	17 %

Figur 9-1: Primærenergiforbruk ved bruk av "standardvegen". Sum av tids- og bruksavhengig energiforbruk per bruttotonnkilometer ved ulike strekningsbelastning



Figur 9-2: Klimabelastning ved bruk av "standardvegen". Sum av tids- og bruksavhengig energiforbruk per bruttotonnkilometer ved ulike strekningsbelastning



9.6 Referanseinfrastruktur

Også for vegnettet er det interessant å finne ut hvor stor energi- og klimabelastning som oppstår ved å opprettholde en gitt vegstandard som er etablert. Vi gjør omtrent de samme justeringene her som vi har gjort for å finne jernbanens referanseinfrastruktur, bortsett fra at vi ikke endrer på tunnel- eller bruandelene:

- Tall for bygging av vegtrasé er skjønnsmessig redusert med 90 prosent for dagstrekning og tunnel og med 10 prosent for vegbru og kryssende bru.
- Tall for materialer til vegtrasé er fratrasket sprengstoff og borstål.

Vi får da en tidsavhengig energi- og klimabelastning for referanseinfrastrukturen, uttrykt som gjennomsnitt over 100 år, som vist i tabell 9-19.

Tabell 9-19: Tidsavhengig energi- og klimabelastning for referanseinfrastrukturen, for de enkelte vegtypene samt som sum for "standardveg"

Per vegmeter	kWh _{primær} /år	kgCO _{2ekv} /år
Tofelts: Dagstrekning	50,2	11,9
Tofelts: Tunnel	153,2	70,3
Tofelts: Vegbru	282,0	79,3
Tofelts: Kryssende bru	520,1	118,5
Tofelts: Sum "standardveg"	60,9	16,4
To-/trefelts: Dagstrekning	77,2	17,2
To-/trefelts: Tunnel	304,6	127,4
To-/trefelts: Vegbru	353,6	97,5
To-/trefelts: Kryssende bru	626,3	140,9
To-/trefelts: Sum "standardveg"	95,2	25,0
Firefelts: Dagstrekning	144,7	29,1
Firefelts: Tunnel	337,2	92,4
Firefelts: Vegbru	596,8	161,2
Firefelts: Kryssende bru	769,0	170,0
Firefelts: Sum "standardveg"	189,7	42,7

For deler av vegnettet – i spredtbygde strøk mellom landsdelenes hovedsentre, f.eks. gjennom deler av Østerdalen og over Dovrefjell – er trafikkmengdene så små at overføring av trafikk fra veg til bane neppe vil påvirke infrastrukturens dimensjoner. Energi- og klimabelastningen fra overført trafikk på disse strekningene vil da kun tilsvare den bruksavhengige belastningen, som vist i tabell 9-17. Dette drøftes nærmere i kapittel 11.2.

10 Flyplass

Vi har mangelfulle data over ressursforbruket til flyplasser. For bygging og vedlikehold støtter vi oss i stor grad på Uppenberg mfl. (2003), som i sin forholdsvis enkle studie i stor grad har brukt data som er relatert til Göteborg Landvetter Airport. For driftsfasen støtter vi oss på data fra et utvalg flyplasser.

I motsetning til for jernbaner og veger deler vi ikke energi- og klimabelastningen for flyplasser inn i tidsavhengig og bruksavhengig belastning. Vi antar at mellomstore og store flyplasser i større grad enn jernbaner og veger kan dimensjoneres i tråd med trafikkmengden, i og med at størrelsen på terminaler og antallet rullebaner kan varieres. Vi forutsetter at flyplassene utnyttes noenlunde effektivt, noe som sannsynligvis er tilfelle siden Avinor planlegger å utvide flere av de større flyplassene.

I kapittel 7 drøftes energi- og klimabelastningen fra bygging og vedlikehold av transportmidlene. Hangarer og verksteder er derfor skilt ut og inngår ikke som en del av flyplassen i dette kapitlet. Dette samt utskilling av ikke-flyrelaterte aktiviteter som restauranter, kafeer, tilbringertransport (inkl. parkeringsarealer) er gjort skjønnsmessig basert på noen fakta om de enkelte flyplassene. Også direkte fraktrelatert virksomhet er holdt utenom denne studien, som vi forutsetter utgjør 5 prosent av aktiviteten på en flyplass.

10.1 Bygging og vedlikehold

Ved bygging av Landvetter var masseforflytningene store, kanskje større enn hva vi må regne med for en gjennomsnittsflyplass. Vi har derfor sett bort fra opplysningene i Uppenberg mfl. (2003) om dette og forutsatt at det ved flyplassbygging må graves ut to kubikkmeter masse for hver kvadratmeter areal som går med til rullebaner, oppstillingsplasser, terminalbygg m.m. Blandingsforholdet mellom fjell og jord er det samme som ved jernbane- og vegbygging, dvs. 64 prosent fjell. Vi bruker samme energi- og klimagassfaktorer til masseforflytting og anlegg for flyplasser som for dagstrekninger på jernbane og veg.

Bygningsmassen på Landvetter er på ca. 70 000 m² gulvareal. Dette inkluderer kommersiell virksomhet, som vi ikke har gode tall på. For Oslo Lufthavn, Sandefjord Lufthavn Torp og Trondheim lufthavn Værnes har vi derimot fått mer eller mindre gode anslag på hvor stor andel av arealet som går med til ikke-transportrelaterte formål.⁶⁷ Dersom vi deler gulvarealet på antall passasjerer årlig, ligger de to førstnevnte flyplassene omtrent likt, med ca. 0,01 m² gulvareal per passasjer, noe vi forutsetter i våre beregninger. Værnes ligger noe lavere enn dette. Også for flyplasser bruker vi standardfaktorene om energiforbruk og klimagassutslipp for bygninger fra tabell V3-1. Det er verd å understreke at dette er en stor kilde til usikkerhet da det kan være store forskjeller mellom ulike bygningstyper.

Vi bruker samme arealmengder som oppgitt i Uppenberg mfl. (2003) for rullebaner, internveger og flyoppstillingsplasser. For flyoppstillingsplasser av betong har vi forutsatt at det går med en halv kubikkmeter betong per kvadratmeter areal. For rullebaner, internveger og oppstillingsplasser av asfalt legger vi inn samme materialforbruk per flateenhet som for veg, bortsett fra at vi halverer behovet for grunnforsterkning, og at vi bruker andre faktorer for energiforbruk og klimagassutslipp for asfalt.

Øvrig materialforbruk er lagt inn med samme mengder som brukt i Uppenberg mfl. (2003).

⁶⁷ Basert på tall mottatt av Sofie Bruun i Oslo Lufthavn, Lars Guren i Sandefjord Lufthavn og Arne-Ingolf Norwich i Trondheim lufthavn Værnes, alle april 2008.

I vår studie ser vi på ressursforbruket i et 100-årsperspektiv. Uppenbergt mfl. har sett på totalt ressursforbruk over 60 år. Vi har gjort skjønnsmessige betraktninger for å fordele forbruket mellom bygge- og levetidsfasen og for å ta høyde for ytterligere utskiftninger i løpet av 100-årsperioden.

Totalt materialforbruk fordelt på byggefasen og flyplassens levetid er vist i tabell 10-4. Primærenergiforbruk og klimagassutslipp per passasjer er vist i tabell 10-1.

Tabell 10-1: Energi- og klimabelastning fra bygging og vedlikehold av flyplass

Per passasjer	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Flyplass, anlegg	0,39	0,07
Flyplass, vedlikehold	0,43	0,09

10.2 Tapt karbonlagring i skog og jordbunn

Også for flyplass regner vi med en klimaeffekt som følge av at arealer bygges ned. Uttrykt per passasjer årlig regner vi med at det beslaglegges 0,5 m² areal der vegetasjonen fjernes og ytterligere 0,1 m² areal der jorda graves opp eller omrøres. Beregningsmetoden er den samme som er beskrevet i kapitlet om jernbane.

Tabell 10-2: Tapt karbonlagring som følge av arealbruk

Per passasjer	kgCO _{2ekv.}
Flyplass	0,04

10.3 Flyplassdrift

For å finne tall om energiforbruk og klimagassutslipp fra flyplassdrift har vi forsøkt å få et bilde av situasjonen i 2006 og 2007 for seks aktuelle flyplasser, nemlig Oslo Lufthavn, Bergen lufthavn Flesland, Trondheim lufthavn Værnes, Sandefjord Lufthavn Torp, Stockholm Arlanda Airport og Göteborg Landvetter Airport.

Det har vært utfordrende å fordele miljøbelastningen mellom transportrelaterte og ikke-transportrelaterte formål. For Oslo Lufthavn har vi brukt tall over energiforbruk fra deres miljørapport (Oslo Lufthavn 2008) og fordelt forbruket proporsjonalt etter en arealbruks-oversikt (se kapittel 10.1). En slik metode tar ikke høyde for at noen arealer er mer energikrevende enn andre. For Torp har vi gjort noe tilsvarende.⁶⁸ Tall for Værnes er stipulert på bakgrunn av spesifikke forbrukstall kombinert med skjønnsmessig fordeling med støtte i en arealbruksoversikt.⁶⁹ Miljørapporten for Arlanda (Luftfartsverket u.å.) oppgir energiforbruk fordelt på Luftfartsverkets egne aktiviteter og kunders, dvs. leietakeres, aktiviteter. Tilsvarende informasjon har vi fått om Landvetter.⁷⁰ Vi anslår skjønnsmessig at hhv. 10 og 20 prosent av leietakernes energiforbruk er transportrelatert på disse flyplassene. For Flesland støtter vi oss på forbrukstall mottatt av Avinor⁷¹, og vi har skjønnsmessig forutsatt at 80 prosent av totalt energiforbruk er transportrelatert. For noen av flyplassene har vi kun totaltallet på energiforbruk i bygninger m.m. Der har vi fordelt forbruket med skjønnsmessig 40 prosent til varmemål og 60 prosent til øvrige formål. Alt dette illustrerer at det er stor usikkerhet i beregningene.

Også når det gjelder drivstofforbruk til kjøretøy på flyplassene, er det vanskelig å finne tall som dekker alt. Tall over flyplassseienes drivstofforbruk er lett tilgjengelig.⁷² Arlanda oppgir i tillegg drivstofforbruk for leietakeres kjøretøy, og vi forutsetter at 90 prosent av dette er transportrelatert.

⁶⁸ Sandefjord Lufthavn (2008) samt e-post fra Lars Guren i Sandefjord Lufthavn, april 2008.

⁶⁹ E-post fra Arne-Ingolf Norwich i Trondheim lufthavn Værnes, mars-april 2008.

⁷⁰ Luftfartsverket (2007) samt e-post fra Inge Fägerskiöld i Luftfartsverket, februar 2008.

⁷¹ E-post fra Elin Anita Hansen i Oslo Lufthavn, november 2007, samt fra Olav Mosvold Larsen i Avinor, mars 2008.

⁷² Oslo Lufthavn (2008), Avinor (2008), Luftfartsverket (u.å.) og Luftfartsverket (2007) samt e-post fra Lars Guren i Sandefjord Lufthavn, april 2008.

For å finne drivstofforbruk til leietakerne for øvrige flyplasser støtter vi oss på tall mottatt av SAS Ground Services, fordelt på Oslo Lufthavn og summen av øvrige flyplasser i Norge som selskapet betjener.⁷³ Det er verd å understreke at denne aktiviteten ikke kan defineres som infrastruktur i snever forstand, men som en støttefunksjon til flytrafikken. I studien inkluderer vi også forbruk av avisingsvæsker for fly og rullebaner, i hovedsak glykol og formiater. Vi har ikke lyktes å framskaffe informasjon om energi- og klimabelastningen for produksjon av formiater. Vi forutsetter derfor at alle avisingsvæsker som brukes, gir en energi- og klimabelastning tilsvarende som for propylenglykol. Det er verd å understreke at vi ikke har kalkulert inn klimagassutslipp fra nedbryting av avisingsvæskene, til tross for at dette oppstår når væskene brytes ned i naturen.

I forhold til nåsituasjonen regner vi med 20 prosent lavere strøm- og varmemeforbruk i bygningsmassen og 15 prosent lavere drivstofforbruk for kjøretøy i 2020. Bruken av avisingsvæsker regner vi med reduseres med 40 prosent, bl.a. som følge av oppsamling og gjenvinning av kjemikaliene. Også for drivstoff brukt til brannøvelser regner vi med en tilsvarende reduksjon. Vi regner med ytterligere 10 prosent reduksjon i alt forbruk fra 2020 til 2030.

I tabell 10-3 viser vi et gjennomsnitt av miljøbelastningen per passasjer fra de seks flyplassene, der Oslo Lufthavn teller 50 prosent, mens de øvrige teller 10 prosent hver. Vi har brukt trafikk tall som tilsvarer et grovt gjennomsnitt for den perioden vi har opplysninger om (i hovedsak 2006 og 2007).

Tabell 10-3: Energi- og klimabelastning per passasjer, 2020 og 2030, flyplassdrift

Flyplass:	OSL	Flesland	Værnes	Torp	Arlanda	Landvetter	Snitt
Mill. pass. per år:	18,0	4,5	3,4	1,4	17,5	4,3	
Vekting:	50 %	10 %	10 %	10 %	10 %	10 %	
2020							
Sluttenergi strøm + varme kWh	3,4	1,8	2,8	2,5	6,7	6,6	3,4
Sluttenergi drivstoff kWh	0,7	0,9	0,9	0,3	1,3	0,8	0,7
Primærenergi kWh	7,7	5,8	6,9	6,7	14,8	12,8	7,7
Klimagassutslipp kgCO _{2ekv.}	0,9	0,8	0,9	0,8	1,8	1,5	0,9
2030							
Sluttenergi strøm + varme kWh	3,0	1,5	2,6	2,2	6,0	5,9	3,0
Sluttenergi drivstoff kWh	0,7	0,8	0,8	0,3	1,2	0,6	0,7
Primærenergi kWh	6,1	4,4	5,2	5,2	11,7	10,2	6,1
Klimagassutslipp kgCO _{2ekv.}	0,5	0,5	0,5	0,4	0,9	0,7	0,5

Forbruk ved brannøvelser mangler for Landvetter og Torp. For Flesland og Værnes er det lagt inn gjennomsnittstall for Avinors flyplasser av drivstofforbruk for kjøretøy, forbruk av avisingsvæsker samt drivstofforbruk ved brannøvelser

10.4 Total energi- og miljøbelastning: Oppsummering

Vi ser at det er driftsfasen som dominerer energiforbruk og klimagassutslipp fra flyplasser. Bygging og vedlikehold av realkapitalen har forholdsvis liten innflytelse på sluttresultatet.

En flypassasjer som reiser mellom to flyplasser, får et forbruk som tilsvarer to flyplass-besøk. Infrastrukturbelastningen for ei flyreise fordelt på bygging og vedlikehold, tapte karbonlagring og flyplassdrift – og andelene disse står for av den totale infrastrukturelbelastningen for flytransport – er vist i tabell 10-5 for både 2020 og 2030. Tabell 10-6 viser infrastrukturelbelastningen fordelt på flydistansen slik at belastningen kan relateres til utført transportarbeid.

⁷³ E-post fra Ove Helgerud i SAS Ground Services, juni–juli 2008.

Tabell 10-4: Materialforbruk for flyplass, sum over 100 år

Flyplass, 4,3 mill. pass. årlig		Anlegg	Årlig tillegg
Aluminium	tonn	17	43
Betong u. armering	tonn	39 493	
Kalk	tonn	272	
Kobber	tonn	13	53
Plastikk	tonn	138	174
Pukk	tonn		1 296 923
Sand	tonn	324 231	1 296 923
Sement	tonn	272	
Sprengstoff	tonn	1 280	
Stål	tonn	390	823
Asfalt, flyplass	m ²	658 000	658 000
Bygninger	m ²	43 000	43 000

Tabell 10-5: Energi- og klimabelastning fra bruk av flyplass

Per flyreise	Primærenergiforbruk		Klimagassutslipp	
	kWh _{primær}	Andel	kgCO _{2ekv.}	Andel
2020				
Bygging og vedlikehold	1,6	9 %	0,3	12 %
Tapt karbonlagring	-	-	0,1	3 %
Flyplassdrift	17,0	91 %	2,2	84 %
Sum	18,6		2,6	
2030				
Bygging og vedlikehold	1,6	11 %	0,3	23 %
Tapt karbonlagring	-	-	0,1	6 %
Flyplassdrift	13,4	89 %	1,0	71 %
Sum	15,0		1,4	

Tabell 10-6: Energi- og klimabelastning fra bruk av flyplass

Per passasjerkilometer	kWh _{primær}	kgCO _{2ekv.}
Distansekat. 280 km, 2020	0,067	0,009
Distansekat. 280 km, 2030	0,054	0,005
Distansekat. 350 km, 2020	0,053	0,007
Distansekat. 350 km, 2030	0,043	0,004

11 Sammenlikning av infrastrukturen

11.1 Energi- og klimabelastning fordelt på transportarbeid

Vi vil her sammenlikne infrastrukturens energi- og klimabelastning for de ulike transportformene. For jernbane og veg har vi i de forutgående analysene sett på person- og gods-transport under ett og fordelt den ikke-bruksavhengige belastningen på bruttovekt. Nå vil vi se på persontransporten eksplisitt, og vi gjør noen forutsetninger om hvor stor andel av totalbelastningen som persontransporten står for.

Å fordele hele infrastrukturens ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastning på hhv. person- og godstransport ved hjelp av hvor mange bruttotonn som persontransporten og godstransporten trafikkerer jernbane- og vegnettet, vil etter alt å dømme gi gods-transporten en urettmessig stor andel av energi- og klimabelastningen. Infrastrukturens dimensjoner bestemmes bl.a. av de transportmengdene samfunnet ønsker at skal utføres. Men infrastrukturen kan utnyttes svært forskjellig. Infrastrukturens utnyttelse påvirkes i stor grad av antall enheter (tog eller kjøretøy) som trafikkerer den, ikke hvor mange passasjerer eller tonn gods som er om bord i hver enhet. Eksempelvis opptar et lite tog på 100 tonn omtrent like stor kapasitet som et godstog på 1000 tonn.

Å fordele infrastrukturens ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastning ved hjelp av antall enheter som trafikkerer den, kan være fristende. Men en slik metode har også betydelige svakheter. Infrastrukturen bygges nemlig ut etter politiske prioriteringer, som kan være basert på ulike vurderinger av hvor samfunnsnyttig hhv. gods- og persontransporten er. Dersom det f.eks. er et politisk ønske å bygge ut jernbaner og veger for at folk skal komme hurtigere fram, uten at godstransporten har noe reelt behov for dette, vil det f.eks. bli feil å tillegge godstransporten en ekstra energi- og klimabelastning som følge av den nye infrastruktur som den kanskje er nødt til å bruke, men ikke har "bedt om". Tilsvarende kan vi finne eksempler på det motsatte – at veger bygges ut av hensyn til godstransporten, uten at persontransporten har noe reelt behov for dem.

Vi ender opp med å fastsette noen sjablongmessige regler for hvordan energi- og klimabelastningen skal fordeles på hhv. person- og godstransport. For normale jernbaner og hovedveger mellom landsdelene iletter vi persontransporten 70 prosent og godstransporten 30 prosent av den ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastningen. For jernbaner som ikke brukes av godstog mellom landsdelene, og som følgelig i all hovedsak trafikkeres av persontog, lar vi persontransporten få 95 prosent av den ikke-bruksavhengige belastningen.

Tilsvarende kan vi drøfte hvordan den ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastningen for jernbane og veg skal fordeles mellom ulike tog-/kjøretøystørrelser. Skal et sete i et langt tog ilegges samme ikke-bruksavhengig belastning som et sete i et kort tog? Og hva med personbiler kontra busser? Vi velger å ikke gjøre ytterligere differensieringer her og regner belastningen per "gjennomsnittsete".

For jernbane og veg viser vi den ikke-bruksavhengige belastningen i form av setekilometer ved ulike trafikkbelastning, uttrykt som seter per dag, sum begge retninger. Utgangspunkt for beregningene er tabell 8-18 og 9-16. For fly viser vi belastningen per personkilometer. Siden infrastrukturbelastningen for fly i stor grad er relatert til det å behandle passasjerer til/fra fly, finner vi det vanskelig å operere med belastning per setekilometer her. For fly varierer belastningen avhengig av flydistanse. Korte flyturer får et forholdsvis høyere forbruk siden flyplassbelastningen skal fordeles på færre personkilometer. Tall for fly er tatt fra tabell 10-6.

For å finne den *bruksavhengige* energi- og klimabelastningen per sete for jernbane- og vegtransport tar vi utgangspunkt i tabell 8-19 og 9-17 og regner vi med at et togsetts vekt per sete er 0,85 tonn, mens tilsvarende tall for personbil og buss er 0,30 tonn. Vi regner da med vekt av passasjer med bagasje ved 50 prosent belegg.

Tilbringertransporten forutsettes skje etter samme transportmiddelfordeling som beskrevet i kapittel 3.6, der vi forutsetter at veger og jernbaner har en belastning på 60 000 seter, uten at vi legger til noe ekstra for parkeringsplasser, parkeringshus, bussterminaler etc. Resultater er vist i tabell 11-1 og 11-2.

Tabell 11-1: Primærenergibelastning fra infrastruktur i 2020 og 2030, per setekilometer for jernbane og veg og per personkilometer for fly

kWh		2020				2030			
Antall seter per dag:		7500	15 000	30 000	60 000	7500	15 000	30 000	60 000
= Antall persontog à 300 seter:		25	50	100	200	25	50	100	200
= Antall personbiler à 5 seter:		1500	3000	6000	12 000	1500	3000	6000	12 000
Jernbane, enkeltspor	Bruksavh.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Ikke-bruksavh.	0,039	0,019	0,010	0,005	0,039	0,019	0,010	0,005
	Sum	0,041	0,021	0,011	0,007	0,041	0,021	0,011	0,007
Jernbane, dobbeltspor	Bruksavh.	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	Ikke-bruksavh.	0,048	0,024	0,012	0,006	0,048	0,024	0,012	0,006
	Sum	0,050	0,026	0,014	0,008	0,050	0,026	0,014	0,008
Veg, tofelts	Bruksavh.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Ikke-bruksavh.	0,019	0,010	0,005	0,002	0,019	0,010	0,005	0,002
	Sum	0,020	0,011	0,006	0,003	0,020	0,011	0,006	0,003
Veg, to-/trefelts	Bruksavh.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Ikke-bruksavh.	0,030	0,015	0,008	0,004	0,030	0,015	0,008	0,004
	Sum	0,031	0,016	0,008	0,005	0,031	0,016	0,008	0,005
Veg, firefelts	Bruksavh.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Ikke-bruksavh.	0,061	0,031	0,015	0,008	0,061	0,031	0,015	0,008
	Sum	0,062	0,032	0,016	0,009	0,062	0,032	0,016	0,009
Fly, 280 km	Sum (pers.km)	0,067	0,067	0,067	0,067	0,054	0,054	0,054	0,054
Fly, 350 km	Sum (pers.km)	0,053	0,053	0,053	0,053	0,043	0,043	0,043	0,043
Tilbringertr.	Sum (pers.km)	0,024	0,024	0,024	0,024	0,023	0,023	0,023	0,023

Tabell 11-2: Klimagassbelastning fra infrastruktur i 2020 og 2030, per setekilometer for jernbane og veg og per personkilometer for fly

kg CO ₂ -ekv.		2020				2030			
Antall seter per dag:		7500	15 000	30 000	60 000	7500	15 000	30 000	60 000
= Antall persontog à 300 seter:		25	50	100	200	25	50	100	200
= Antall personbiler à 5 seter:		1500	3000	6000	12 000	1500	3000	6000	12 000
Jernbane, enkeltspor	Bruksavh.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ikke-bruksavh.	0,010	0,005	0,003	0,001	0,010	0,005	0,003	0,001
	Sum	0,011	0,006	0,003	0,002	0,011	0,006	0,003	0,002
Jernbane, dobbeltspor	Bruksavh.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ikke-bruksavh.	0,013	0,006	0,003	0,002	0,013	0,006	0,003	0,002
	Sum	0,013	0,007	0,004	0,002	0,013	0,007	0,004	0,002
Veg, tofelts	Bruksavh.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ikke-bruksavh.	0,005	0,003	0,001	0,001	0,005	0,003	0,001	0,001
	Sum	0,005	0,003	0,001	0,001	0,005	0,003	0,001	0,001
Veg, to-/trefelts	Bruksavh.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ikke-bruksavh.	0,008	0,004	0,002	0,001	0,008	0,004	0,002	0,001
	Sum	0,008	0,004	0,002	0,001	0,008	0,004	0,002	0,001
Veg, firefelts	Bruksavh.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Ikke-bruksavh.	0,014	0,007	0,003	0,002	0,014	0,007	0,003	0,002
	Sum	0,014	0,007	0,004	0,002	0,014	0,007	0,004	0,002
Fly, 280 km	Sum (pers.km)	0,009	0,009	0,009	0,009	0,005	0,005	0,005	0,005
Fly, 350 km	Sum (pers.km)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,004	0,004	0,004	0,004
Tilbringertr.	Sum (pers.km)	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006

For jernbane på strekninger uten vesentlig godstrafikk må den ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastningen økes, f.eks. med 36 prosent dersom persontransportens andel av jernbanens belastning øker fra 70 til 95 prosent.

11.2 Faktorer for marginalbetraktninger av trafikkoverføring

Når vi skal gjøre konkrete beregninger av nettoendringer i infrastrukturens energi- og klimabelastning ved overføring av transport fra veg til jernbane, blir det upresist å bruke tall fra tabell 11-1 og 11-2 for å finne redusert belastning fra veginfrastrukturen.

Endringer i vegtrafikkmengden vil ikke alltid resultere i endringer i infrastrukturen, heller ikke på lang sikt. På noen strekninger er trafikkmengden så lav at en tofeltsveg vil dekke kapasitetsbehovet nærmest "uansett". Det gjelder f.eks. store deler av rv. 3 gjennom Østerdalen og på mange av fjellovergangene mellom landsdelene. Redusert vegtrafikk her vil neppe gjøre at vegnettet på disse strekningene dimensjoneres annerledes.

Vi ønsker derfor å estimere noen generell faktorer som kan brukes for å anslå endringer i veginfrastrukturens ikke-bruksavhengige energi- og klimabelastning når transportmengden endres. Vi forutsetter da at trafikkmengden ikke påvirker vegnettets dimensjoner på halvparten av veglengden mellom landsdelene, bortsett fra i IC-trianglet og langs sørlandskysten. På resten av veglengden forutsetter vi at vegdimensjonene påvirkes "trinnløst" av trafikkmengden: Hvert ekstra kjøretøy vil føre til at vegen må utvides noe. I praksis skjer dette i rykk og napp, men som gjennomsnitt over lengre strekninger mener vi at dette er en grei forutsetning.

Vi forutsetter at tofeltsveg i referansealternativet representerer et vegnett "vi må ha uansett", og at dette gjelder inntil trafikken er på ÅDT 5000. Vi forutsetter også her at 70 prosent av infrastrukturbelastningen tilskrives persontransport, og at 95 prosent av dette er personbiler. Vi forutsetter også at 85 prosent av trafikkmengden er personbiler med 5 seter.

Vi ønsker å vise den gjennomsnittlige veksten i ikke-bruksavhengig energi- og klimabelastning for vegnettet (altså ikke per kjøretøy) når trafikken øker utover ÅDT 5000. For å få et begrep på dette tar vi utgangspunkt i energi- og klimabelastningen for firefeltsveger og anslår at dette gjelder for ÅDT 15 000. Gjennomsnittlig endring per kjøretøy blir da differansen mellom firefeltsveg og tofeltsveg delt på 10 000.⁷⁴ Dette gjelder i tilfeller der veger utvides fra to til flere felt. Ofte bygges det isteden en ny veg når trafikken øker, mens den opprinnelige vegen opprettholdes som lokalveg. Vi anslår at sistnevnte oppstår ved halvparten av veglengden som utvides. Da bruker vi tall for nybygging av firefeltsveg uten å trekke fra tall for tofeltsveg, før vi deler på 10 000.

Vi har også gjort beregninger for marginale endringer av godstransport, der vi forutsetter at godstransporten er ansvarlig for 30 prosent av infrastrukturens energi- og klimabelastning. Videre forutsetter vi at 15 prosent av trafikkmengden er relatert til godstransport, og at hvert kjøretøy veier gjennomsnittlig 15 tonn. Vi regner med at det for å frakte 1 tonn last trengs 2,9 tonn bruttovekt godstog og 2,3 tonn bruttovekt vogntog.

Tabell 11-3: Redusert ikke-bruksavhengig energi- og klimabelastning ved endringer i vegtrafikken

	IC og Sørlandet		Øvrig	
	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.	kWh _{primær}	kgCO ₂ ekv.
Per setekilometer	0,0082	0,0018	0,0041	0,0009
Per tonnkilometer last	0,0232	0,0051	0,0116	0,0026

For transport til og fra flyplasser regner vi i gjennomsnitt halve tall av personbil.

⁷⁴ Her bruker vi energi- og klimabelastningen fra referansealternativet til både tofeltsveg og firefeltsveg, for å ta høyde for at vegnettet for en stor del er bygd ut alt.

12 Overføringspotensial i persontransporten

Til nå i denne rapporten har vi sett på de ulike transportformenes energi- og klimaegenskaper og fastsatt energiforbruks- og utslippsfaktorer som kan bruke til f.eks. å estimere miljøgevinsten av å overføre transport fra veg og luft til bane.

For å kunne få et inntrykk de totale klima- og energikonsekvensene på makronivå burde vi hatt tilgang til detaljerte modellberegninger. Det inngår ikke i rammene av dette prosjektet, så vi nøyer oss med å drøfte temaet og basere de etterfølgende beregningene på gitte forutsetninger, med henvisning til andre studier som kan ha relevans. Beregningene må derfor tolkes med stor grad av usikkerhet.

Våre beregninger er gjort for to transportkorridorer⁷⁵ i Norge:

- Oslo–Lillehammer–Åndalsnes/Trondheim
- Oslo–Tønsberg–Kristiansand

12.1 Hva kan påvirke?

Først vil vi ramse opp noen relevante konsekvenser på trafikkomfanget av kraftige forbedringer av jernbanetilbudet i en gitt transportkorridor. Lista under er ikke uttømmende, men den viser noen konsekvenser som vi i mer eller mindre grad tar hensyn til i beregningene:

1. Trafikk overføres til jernbane i samme transportkorridor fordi togtilbudet blir bedre enn konkurrerende transportalternativer i korridoren.
2. Trafikk overføres til jernbane fordi et bedre togtilbud muliggjør økt bruk av restriktive virkemidler i den aktuelle transportkorridoren.
3. Trafikk overføres til jernbane fordi et bedre togtilbud muliggjør økt bruk av restriktive virkemidler generelt, f.eks. økte drivstoffavgifter.
4. Trafikk overføres til jernbane fordi et bedre togtilbud endrer folks reisemønster, f.eks. fordi det blir mer attraktivt å bosette seg og/eller velge arbeidsplasser i nærheten av jernbanen.
5. Trafikk overføres til jernbane fordi vegnettet ikke bygges ut, eller fordi flytilbudet reduseres som følge av et bedre togtilbud.
6. Ny trafikk oppstår fordi togtilbudet åpner for nye reisemuligheter som tidligere ikke har vært aktuelle.
7. Ny trafikk oppstår fordi flere flytter nær jernbanen og dermed får flere reisemuligheter tilgjengelig.
8. Endring av bosted som følge av et bedre togtilbud kan påvirke de lokale reisevanene i positiv eller negativ retning. Dersom folk flytter fra spredtbygde strøk til stasjonsbyer som følge av et bedre togtilbud, vil det kunne bli mer gange, sykling og kollektivtransport på lokale reiser framfor bilbruk. Dersom et bedre togtilbud resulterer i at folk flytter fra sentrale strøk til mer usentrale områder som følge av bedre pendlingsmuligheter med tog (drevet av f.eks. lavere eiendomspriser), vil det kunne bli mer bilbruk lokalt.

I denne studien ser vi ikke på konsekvensene av punkt (3) og (8). Dersom tiltak som beskrevet i punkt (3) vil bli gjennomført, vil de positive miljøeffektene kunne bli store, i og med at effektene vil oppstå flere steder enn der jernbanen bygges ut. Det er derimot svært vanskelig å gjøre antakelser om hva som eventuelt vil skje på dette området som følge av et bedre jernbanetilbud. Konsekvensene som beskrevet i punkt (8) er svært avhengige av lokale forhold.

⁷⁵ Lokal trafikk på delstrekningene Oslo–Eidsvoll og Oslo–Drammen er ikke inkludert.

Konsekvensene som beskrevet i punkt (5) og (7) er også svært avhengige av lokale forhold. Effektene av ikke å bygge ut vegene er implisitt inkludert i overføringsandelen, men her kan effektene bli større enn hva vi regner med (se nærmere drøfting i kapittel 14.2). Konsekvensene av et dårligere flytilbud vises dels i overføringsandelen og dels som negativ nyskapt flytrafikk.

12.2 To scenarier

I denne rapporten skisserer to scenarier for trafikkoverføring som følge av nye jernbanestrekninger. Som referansealternativ forutsetter vi at dagens jernbanenett videreføres med bare mindre utbedringer og tilbudsforbedringer, mens vegnettet og flyplassene bygges ut for å ta unna antatt etterspørsel. I både referansealternativet og i de to scenariene forutsetter vi at strenge miljøkrav generelt har bidratt til økt pris på utslipp av klimagasser og annen miljøbelastning fra transport, og at det generelt er økt miljøfokus innen arealplanlegging m.m. Bruken av brukerbetaling av deler av vegnettet forutsettes videreført.

Det første scenariet baserer seg i hovedsak på at endringene i transportomfang og transportmiddelfordeling utløses som følge av endringer i togtilbudet og ringvirkninger av det. Vi forutsetter også at økt jernbanesatsing har som konsekvens at det er lettere å innføre restriktive virkemidler som køprising, parkeringsrestriksjoner, flyavgifter etc. i de transportkorridorene der jernbanen bygges ut, og at dette i noe omfang brukes som virkemiddel. Det føres også en bevisst arealpolitikk som styrker kollektivtransporten og reduserer det totale transportomfanget.

Det andre scenariet innebærer at jernbanen bygges ut i samme omfang som i det første scenariet, men at dette gjøres som ledd i en nasjonal dugnad for å løse klimautfordringene, som innebærer en langt større bruk av restriktive virkemidler for å begrense miljøbelastningen fra transport. Arealpolitikken bygger i enda sterkere grad opp om eksisterende byer og tettsteder og om jernbanen som grunnstammen i kollektivsystemet. I dette scenariet forutsetter vi også at arbeidet med å utvide vegnettet og flyplassene bremses. Mer togtrafikk kan gi rom for et enda bedre togtilbud, som igjen styrker togets konkurransekraft. I dette scenariet overføres så godt som all flytrafikk som går parallelt med et nytt høyhastighetstogtilbud. Også når det gjelder overføring fra bil til tog, er det ambisiøst, men det vil fortsatt være potensial for ytterligere overføring.

I denne analysen er det overføring av trafikk fra personbil til tog i IC-trianglet og mellom landsdelene samt overføring av trafikk fra fly til tog som analyseres. I tillegg kommer nyskapt trafikk, som drøftes nærmere i vedlegg 5. Vi forutsetter ingen endringer i buss-trafikken.

12.3 Tre enkle regnestykker

Vi har satt opp tre enkle regnestykker, der det første gjelder endringer i biltrafikk i det såkalte IC-trianglet, mens det andre ser på endring i biltrafikk mellom landsdelene. Det siste regnestykket tar for seg endringer i flytrafikk. Alle regnestykkene tar høyde for en viss nyskapt og negativ nyskapt trafikk, som gjør at summen av endringer i bil-, fly- og togtrafikken ikke er konstant.

Regnestykket for IC-området tar utgangspunkt i en bilmatrise for stasjonene på Østlandet fra 2005, mottatt av NSB.⁷⁶ Bilmatrisen inneholder bilreiser som starter og slutter inntil 30 km fra stasjonene, noe som betyr at den inkluderer mye trafikk som det er urealistisk å overføre til tog. Overføringsandelene vi bruker, må ses i sammenheng med det. For biltrafikken mellom fylkene bruker vi en bilmatrise for 2006 som vi har mottatt fra Vegdirektoratet⁷⁷, som viser alle bilreiser på over 100 km mellom fylkene. For

⁷⁶ E-post fra Tony Clay i NSB, april 2008.

⁷⁷ Bilmatrise fra den nasjonale transportmodellen NTM5, mottatt av Oskar Kleven i Vegdirektoratet, januar 2008.

flytrafikken bruker vi passasjertall for de ulike relasjonene i 2006 fra Avinor, som inkluderer transitttrafikk. For å beregne transportarbeidet ved overflytting av trafikk fra personbil til tog regner vi med at transportdistansen forblir den samme. Ved overflytting fra fly til tog korrigerer vi for faktisk flydistanse som oppgitt i SAS' miljøkalkulator.⁷⁸

For å få et bilde av trafikkoverføringspotensialet i 2020 og 2030 sett i forhold til tall og matriser fra 2005/2006, må vi gjøre antakelser om generell trafikkvekst. Forarbeidet til Nasjonal transportplan (NTP) 2010–2019 presenterer prognoser for dette (Voldmo, Norang og Hamre 2007). Biltrafikken er der differensiert på korte reiser (under 10 mil) og lange reiser (over 10 mil). For lange bilreiser og flytrafikk regner vi med at den generelle trafikkveksten blir noe lavere enn prognosene viser, da vi forutsetter høyere energikostnader samt at det iverksettes generelle klima-/miljøtiltak som bidrar til å dempe veksten i forhold til prognosene. NTP-prognosene viser en betydelig lavere vekst for korte bilreiser enn for lange, men vi gjør ikke forskjell på dette i våre beregninger. Siden en del av trafikken i IC-området er på under 10 mil, betyr dette at vi kanskje overvurderer den generelle biltrafikkveksten og dermed overføringspotensialet i IC-området.

Tabell 12-1 viser veksten som er oppgitt i NTP-prognosene (Voldmo, Norang og Hamre 2007) som gjennomsnitt for hele landet, sett i forhold til 2006, samt hvilken trafikkvekst vi legger til grunn som referanse i våre beregninger.

Tabell 12-1: Forutsatt trafikkvekst i referansealternativet

	NTP-prognoser		Våre forutsetninger	
	2020	2030	2020	2030
Personbil, korte reiser	16 %	22 %	20 %	35 %
Personbil, lange reiser	24 %	42 %	20 %	35 %
Fly	25 %	42 %	20 %	35 %

Overføringspotensialet vi beskriver i dette kapitlet, gjelder endringer som utløses av et bedre togtilbud som krever ny infrastruktur.

IC-området

I regnestykket for IC-området differensierer vi trafikkoverføringspotensialet på bakgrunn av om reisene går til/fra Oslo eller mellom stasjoner som ikke ligger i Oslo. Oslo er i denne sammenhengen definert som stasjonene Oslo S, Nationaltheatret, Skøyen og Lysaker. Vi regner en betydelig større overføringsmulighet for trafikk til/fra Oslo pga. en forholdsvis konsentrert arealpolitikk. Større kjøproblemer, færre parkeringsplasser og høyere kostnad med å bruke vegnettet i Oslo-området trekker i samme retning.

For å ta høyde for at toget har større problemer med å være konkurransedyktig på enkelte reiserelasjoner har vi lagt inn noen faktorer som justerer ned overføringsandelen, sett i forhold til hva som er oppgitt som overføringsandel til/fra Oslo og til/fra øvrige stasjoner i tabell 12-2 og 12-3. Dette gjelder trafikk på følgende reiserelasjoner:

- 0,50 Brumunddal–Hamar, Hamar–Stange, Stange–Tangen, Oslo–Skoppum, Nationaltheatret–Skoppum, Lysaker–Skoppum, Asker–Skoppum, Drammen–Skoppum, Sande–Holmestrand, Skoppum–Sandefjord, Skoppum–Larvik, Skoppum–Porsgrunn, Skoppum–Skien, Tønsberg–Stokke, Stokke–Torp, Torp–Sandefjord
- 0,20 Drammen–Sande, Sande–Skoppum, Holmestrand–Skoppum, Skoppum–Tønsberg, Skoppum–Stokke, Skoppum–Torp, Porsgrunn–Skien

Et bedre togtilbud vil kunne bidra til at folk forandrer sine reisemønstre, f.eks. gjennom endring av bosted eller arbeidsplass, slik at togtrafikk erstatter bilturer som tidligere gikk i andre korridorer enn de vi analyserer. For å ta høyde for dette legger vi til skjønnsmessig 10 prosent av overført trafikk, under kategorien "overført fra andre korridorer".

⁷⁸ SAS' utslippskalkulator: <http://sasems.port.se/EmissionCalc.cfm?sid=geninfo&lang=2&utbryt=0>

Våre matriser inneholder kun reiser som starter og slutter på strekningene Lillehammer–Drammen og Gardermoen–Skien. Faktoren "synergieffekt" er ment å ta skjønnsmessig høyde for at det vil bli mer attraktivt å reise med tog også "på tvers" av strekningene, f.eks. fra Hamar til Larvik eller Fredrikstad. Også denne trafikken er uttrykt som et skjønnsmessig tillegg (på 10 prosent) til den overførte trafikken.

For å ta høyde for nyskapt trafikk som følger av et bedre togtilbud, forhøyer vi veksten i togtrafikken med 25 prosent i scenario 1. I scenario 2 regner vi med et tillegg for nyskapt trafikk på 10 prosent for den overførte trafikken som er høyere enn i scenario 1.

Tabell 12-2: Trafikkoverføring av ny bane Gardermoen–Lillehammer, per år

	Totaltrafikk Mill. pkm	Scenario 1		Scenario 2	
		Andel	Mill. pkm	Andel	Mill. pkm
<i>Overført internt i korridoren</i>					
Til/fra Oslo		30 %	48	50 %	80
Til/fra øvrige stasjoner		10 %	31	25 %	77
Sum	488	16 %	78	32 %	156
<i>Overført fra andre korridorer</i>			8		16
<i>Synergieffekt</i>			8		16
Sum endring biltrafikk, 2020			-113		-225
Sum endring biltrafikk, 2030			-127		-253
Sum endring togtrafikk, 2020			141		264
Sum endring togtrafikk, 2030			159		297

Tabell 12-3: Trafikkoverføring av ny bane Drammen–Skien, per år

	Totaltrafikk Mill. pkm	Scenario 1		Scenario 2	
		Andel	Mill. pkm	Andel	Mill. pkm
<i>Overført internt i korridoren</i>					
Til/fra Oslo		30 %	77	50 %	128
Til/fra rest		10 %	75	25 %	188
Sum	1 251	12 %	152	25 %	315
<i>Overført fra andre korridorer</i>			15		32
<i>Synergieffekt</i>			15		32
Sum endring biltrafikk, 2020			-218		-454
Sum endring biltrafikk, 2030			-246		-511
Sum endring togtrafikk, 2020			273		532
Sum endring togtrafikk, 2030			307		599

Homleid (2006) har gjort beregninger av mulige trafikkenringer i IC-området under gitte forutsetninger, men det er ingen alternativer som er direkte sammenliknbare med våre. Det ser likevel ut til at vårt scenario 1 er vesentlig mer ambisiøst når det gjelder trafikkoverføring fra veg til bane, enn hva som oppnås i det såkalte maksimums-alternativet i Homleids beregninger.

Biltrafikk mellom landsdelene

I beregningene over biltrafikk mellom landsdelene differensierer vi trafikkoverføringspotensialet på bakgrunn av hvilke fylker reisene går mellom, avhengig av fylkenes nærhet til jernbanetilbudet. Skjønnsmessige faktorer er brukt for å beregne overføringspotensialet sett i forhold til trafikken i 2006. Nyskapt trafikk er lagt inn med de samme faktorene som i beregningene for IC-området.

For trafikk i korridoren Oslo–Kristiansand er overføringsandelene satt med tanke på at en betydelig del av trafikken er ferietrafikk til/fra hytter m.m., som kan være vanskelig å overføre til tog. Lokal trafikk mellom Aust-Agder og Vest-Agder er i liten grad inkludert i bilmatrisene da disse kun omfatter reiser på 100 km eller mer. Vi har skjønnsmessig lagt inn en årstrafikk på 3 mill. personer på bakgrunn av trafikktellinger på E 18.

Det er verd å være klar over at vi for overført biltrafikk kun regner overføring som skjer internt i korridorene Oslo–Trondheim/Åndalsnes og Oslo–Kristiansand. Vi tar ikke høyde for at passasjerer vil reise kollektivt f.eks. mellom Vestfold til Oslo og mellom Trondheim og Nord-Trøndelag, til/fra høyhastighetstoget. Vi tar heller ikke høyde for at en del av passasjerene vil bruke egen bil eller bli kjørt til/fra på- og avstigningsstasjonene.

Tabell 12-4: Trafikkoverføring av ny bane Gardermoen–Trondheim, per år

Mellom fylker	1000		Mill. pkm	Overføringsandel		Overført, mill. pkm	
	reiser	Km		Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2
Øs-MR	48	440	21	7 %	15 %	1	3
Øs-ST	82	500	41	18 %	30 %	7	12
Øs-NT	25	500	13	12 %	23 %	2	3
Ak-MR	86	440	38	10 %	20 %	4	8
Ak-ST	170	500	85	25 %	40 %	21	34
Ak-NT	44	500	22	18 %	30 %	4	7
Os-MR	176	440	77	10 %	20 %	8	15
Os-ST	325	500	162	25 %	40 %	41	65
Os-NT	95	500	47	18 %	30 %	8	14
He-MR	115	315	36	4 %	10 %	1	4
He-ST	347	350	122	10 %	20 %	12	24
He-NT	75	350	26	7 %	15 %	2	4
Op-MR	215	265	57	7 %	15 %	4	9
Op-ST	338	355	120	18 %	30 %	21	36
Op-NT	68	355	24	12 %	23 %	3	5
Bu-MR	84	440	37	7 %	15 %	3	6
Bu-ST	133	500	67	18 %	30 %	12	20
Bu-NT	43	500	21	12 %	23 %	3	5
Ve-MR	36	440	16	7 %	15 %	1	2
Ve-ST	63	500	32	18 %	30 %	6	9
Ve-NT	18	500	9	12 %	23 %	1	2
Te-MR	34	440	15	4 %	10 %	1	1
Te-ST	55	500	28	10 %	20 %	3	6
Te-NT	17	500	8	7 %	15 %	1	1
Sum endring biltrafikk, 2020						-201	-355
Sum endring biltrafikk, 2030						-226	-399
Sum endring togtrafikk, 2020						252	420
Sum endring togtrafikk, 2030						283	473

Tabell 12-5: Trafikkoverføring av ny bane Drammen–Porsgrunn–Kristiansand, per år

Mellom fylker	1000		Mill. pkm	Overføringsandel		Overført, mill. pkm	
	reiser	Km		Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1	Scen. 2
Os-AA	438	260	114	18 %	30 %	20	34
Os-VA	192	325	62	18 %	30 %	11	19
Ak-AA	228	260	59	18 %	30 %	10	18
Ak-VA	107	325	35	18 %	30 %	6	10
He-AA	33	260	8	10 %	20 %	1	2
He-VA	40	325	13	7 %	15 %	1	2
Op-AA	40	260	11	10 %	20 %	1	2
Op-VA	44	325	14	7 %	15 %	1	2
Bu-AA	198	220	44	12 %	23 %	5	10
Bu-VA	140	225	32	12 %	23 %	4	7
Ve-AA	255	160	41	18 %	30 %	7	12
Ve-VA	194	225	44	18 %	30 %	8	13
Te-AA	218	110	24	12 %	23 %	3	5
Te-VA	303	175	53	12 %	23 %	6	12
AA-VA	3 000	50	150	18 %	30 %	26	45
Sum endring biltrafikk, 2020						-133	-232
Sum endring biltrafikk, 2030						-150	-261
Sum endring togtrafikk, 2020						166	275
Sum endring togtrafikk, 2030						187	310

Flytrafikk

For å beregne overføringspotensialet fra fly til tog tar vi utgangspunkt i tall for 2006 over antall passasjerer på de aktuelle flydestinasjonene, som inkluderer passasjerer som kommer fra eller reiser videre med et annet fly. Andelen overført trafikk fra fly til tog i begge scenariene er skjønnsmessig satt på bakgrunn av antatt konkurransesituasjon, med støtte i Banverket (2006, s. 14). Gode overgangsmuligheter mellom tog og fly på Oslo Lufthavn tilsier at det bør være mulig å overføre også en betydelig del av trafikken som i dag går med fly f.eks. Trondheim–Oslo og videre med andre fly derfra. På strekningen Oslo–Kristiansand forutsetter vi at toget blir så konkurransedyktig at flytilbudet i praksis legges ned.

Vi forutsetter at færre flypassasjerer bidrar til å redusere antall flyavganger slik at flytilbudet blir mindre attraktivt. Dette bidrar til de forholdsvis høye overføringsandelene som brukes i begge scenariene. I tillegg oppstår noe vi kaller negativ nyskapt trafikk, dvs. at noen lar være å reise fordi flytilbudet blir dårligere. Det betyr at nedgangen i flytrafikken blir større enn trafikken som overføres fra fly til tog. Vi anslår denne ekstra trafikknedgangen til å utgjøre et tillegg på 10 prosent av overført trafikk. Dette betyr at en overføringsandel på 90 prosent på strekningen Oslo–Trondheim, som vi forutsetter i scenario 2, i praksis betyr at flytrafikken legges ned her. Nyskapt trafikk som følge av bedre togtilbud er lagt inn etter samme prinsipp som for overføring av biltrafikk til tog.

Beregningene gjelder reiser fra sentrum til sentrum. Det betyr at trafikk til/fra flyplassene beregnes er tatt med. På destinasjonene Sandefjord–Trondheim, Oslo–Ålesund, Oslo–Molde, Ålesund–Trondheim og Molde–Trondheim er det lagt inn trafikk til/fra hhv. Oslo S og Åndalsnes, som nærmeste stasjon på det nye togtilbudet. I tabellene over endringer i personkilometer (pkm) er det nettoendringene for trafikk til/fra flyplasser og stasjoner som vises.

I beregningene over trafikkendringer som følge av nytt togtilbud Oslo–Kristiansand er det også lagt inn en viss overgang fra fly til tog på destinasjonene Oslo–Stavanger og Sandefjord–Stavanger da vi forutsetter at reisetidsforkortinger Oslo–Kristiansand gir forbedringer også for toget mellom Østlandet og Rogaland.

Tabell 12-6: Forutsetninger om flypassasjerer, distanser og overføringsandel

	Passasjerer 2006	Distanser (km)				Overføringsandel	
		Fly	Til/fra fly	Tog	Til/fra tog	Scen. 1	Scen. 2
Oslo–Trondheim	1 477 942	361	75	510	0	70 %	90 %
Oslo–Ålesund	429 627	373	60	430	120	20 %	30 %
Oslo–Molde	290 402	348	60	430	60	30 %	50 %
Sandefjord–Trondheim	86 675	474	35	510	120	30 %	50 %
Ålesund–Trondheim	105 755	263	35	300	120	10 %	20 %
Molde–Trondheim	30 343	200	35	300	60	15 %	25 %
Oslo–Kristiansand	412 374	280	65	320	0	90 %	90 %
Oslo–Stavanger	1 194 395	340	70	555	0	15 %	25 %
Sandefjord–Stavanger	89 486	265	30	435	0	40 %	70 %

Tabell 12-7: Trafikkoverføring av ny bane Gardermoen–Trondheim, per år

Mill. personkilometer	Scenario 1 Endring				Scenario 2 Endring			
	Fly 280	Fly 350	Til/fra	Tog	Fly 280	Fly 350	Til/fra	Tog
Oslo–Trondheim		-411	-85	660		-528	-110	825
Oslo–Ålesund		-35	7	46		-53	10	67
Oslo–Molde		-33	1	47		-56	1	74
Sandefjord–Trondheim		-14	3	17		-23	5	26
Ålesund–Trondheim	-3		1	4	-6		2	7
Molde–Trondheim	-1		0	2	-2		0	3
Sum endring, 2020	-5	-592	-88	930	-9	-791	-110	1 203
Sum endring, 2030	-5	-666	-99	1 046	-11	-890	-124	1 354

Tabell 12-8: Trafikkoverføring av ny bane Drammen–Porsgrunn–Kristiansand, per år

Mill. personkilometer	Scenario 1 Endring				Scenario 2 Endring,			
	Fly 280	Fly 350	Til/fra	Tog	Fly 280	Fly 350	Til/fra	Tog
Oslo–Kristiansand	-114		-27	148	-114		-27	148
Sandefjord–Stavanger	-10		-1	19	-18		-2	32
Oslo–Stavanger		-67	-14	124		-112	-23	197
Sum endring, 2020	-150	-80	-50	351	-159	-134	-62	454
Sum endring, 2030	-168	-90	-56	394	-179	-151	-70	510

12.4 Etter 2030

På samme måte som vi ikke har fastsatt energiforbruks- og utslippsfaktorer som gjelder seinere enn 2030, har vi valgt å ikke gjøre noen antakelser om endringer i trafikken etter 2030. Det er ikke usannsynlig av det vil bli en vesentlig trafikkvekst som øker trafikkoverføringspotensialet fra veg og luft til bane etter 2030, f.eks. som følge av en kraftigere befolkningsvekst. Men det vil ikke være rimelig å regne med dette som en ytterligere gevinst for jernbanen så lenge vi ikke regner med eventuelle ytterligere teknologiske miljøforbedringer av de konkurrerende transportformene.

13 Overføringspotensial i godstransporten

Utbygging av nye jernbaner kan styrke jernbanens konkurransekraft i godstrafikken på flere måter: Enten i form av at de nye banene muliggjør hyppigere og raskere godstog på disse. Eller at de nye banene frigjør kapasitet på eksisterende baner og dermed åpner opp for flere godstog her. Det kan også tenkes kombinasjoner av begge effektene.

Overføring fra veg til bane

For å beregne brutto overføringspotensial for godstrafikk til jernbane tar vi utgangspunkt i godsmatriser stilt til disposisjon av Vegdirektoratet, som viser antall tonn gods som gikk på veg mellom landets fylker i 2006.⁷⁹ Deretter estimerer vi et mulig overføringspotensial mellom enkelte fylker og multipliserer med distansen, slik at vi finner overføringspotensialet målt i tonnkilometer, som vist i tabell 13-1. I tillegg må vi justere for antatt vekst i den totale godstrafikken, uavhengig av eventuelle nye jernbaner. Til dette bruker vi prognosene fra arbeidet med Nasjonal transportplan 2010–2019 (Hovi 2007), uten at vi differensierer på fylker/regioner, som gir 22 prosent vekst i perioden 2006–2020 og 40 prosent i perioden 2006–2030.

Vi understreker at denne metoden kun gir et skjønnsmessig bilde av overføringspotensialet, basert på grove vurderinger. Kjøring til og fra godsterminalene er ikke tatt i betraktning, noe som betyr at overføringspotensialet kan være noe overestimert, i form av at det vil gjenstå noe mer bilkjøring etter overføring enn det som framkommer i beregningene her. Heller ikke overføringspotensial på tilstøtende strekninger (unntatt Nordlandsbanen) – og synergieffekter av utbygging av flere baner – er tatt med i beregningene, noe som betyr at overføringspotensialet kan være undervurdert noe.

Et bedre tilbud for godstransport på jernbane kan gi nyskapt trafikk, noe vi ikke tar hensyn til i denne enkle analysen.

Vi regner ikke inn noen effekt av at jernbanen styrker seg i konkurransen om transporter på korte distanser (under ca. 200 km), men vi forutsetter muligheter for konkurranse-dyktige transporter f.eks. fra Hamar/Lillehammer og nordover. Overføring på kortere distanser, f.eks. Oslo–Vestfold/Grenland, Oslo–Hamar/Lillehammer osv., må regnes som en tilleggsopsjon.

Et viktig spørsmål er hvor stor andel av overføringseffekten som skyldes nye baner. Hvor mye vil kunne overføres uansett, gjennom mindre utbedringer av dagens baner, økonomiske virkemidler m.m.? Det er vanskelig å svare på spørsmålet. Nye baner vil kunne ha mye ledig kapasitet nattetid, når etterspørselen etter godsfrakt er stor. På disse tidene vil det kunne oppstå betydelige kapasitetsutfordringer på dagens banenett. Det er også et poeng at nye baner gir kortere framføringstid, som gir større attraktivitet og lavere kostnader. Vi anslår grovt at halvparten av overføringspotensialet skyldes nye baner, mens resten er sannsynlig at kan realiseres gjennom utbedringer av dagens baner. Dette tallet er nærmest for gjetting å regne, men det bør kunne bidra til å indikere hvilke størrelser vi snakker om.

Overføring fra fly til bane

Vi regner med at nye høyhastighetsbaner vil erstatte all postfrakt med fly på de strekningene det bygges nye baner. Med støtte i tall over dagens postfrakt med fly i Norge⁸⁰ estimerer vi at jernbanen vil ta over transporter fra 15 postfly, tilsvarende 10 tonn post, hver retning per uke på strekningene Oslo–Trondheim, Oslo–Molde/Ålesund, Oslo–Stavanger og Oslo–Bergen. Vi forutsetter ingen trafikkvekst, og vi ser bort fra endringer i lastebiltransport som følge av disse endringene. Når vi beregner energi-

⁷⁹ Godsmatrisene er såkalte transportmiddelfordelte basismatriser fra Logistikkmodellen (ukalibrert modell) som gjelder for 2006, mottatt av Oskar A. Kleven i Vegdirektoratet, mars 2008.

⁸⁰ E-post fra Per Inge Norli i Posten Norge, juni 2008.

og klimaeffektene, regner vi med at den totale transportdistansen for overført gods fra fly til tog øker med 40 prosent pga. lengre transportdistanser på bakken enn i lufta.

Tabell 13-1: Overføring fra lastebil til tog per år, basert på godsmengder i 2006

Strekning	Mellom fylker	1000 tonn	Km	Mill. tonnkm	Andel overført	Mill. tonnkm overført
Oslo-Trondheim	Øs, Ak, Os, Bu, Ve, Te <-> ST, NT	1 504	490	737	80 %	589
	He, Op <-> ST, NT	560	375	210	40 %	84
	Øs, Ak, Os, Bu, Ve, Te <-> No	655	490	321	40 %	128
	Sum			1 268		802
Oslo-Åndalsnes	Øs, Ak, Os, Bu, Ve, Te <-> MR	673	440	296	80 %	237
	He, Op <-> MR	222	280	62	40 %	25
	Sum			358		262
Oslo-Kr.sand	Øs, Ak, Os <-> AA	446	275	123	40 %	49
	Øs, Ak, Os <-> VA	619	330	204	60 %	123
	Bu, Ve, Te <-> VA	747	230	172	40 %	69
	Sum			499		240
Oslo-Stavanger	Øs, Ak, Os <-> Ro	1 444	550	794	80 %	635
	Bu, Ve, Te <-> Ro	615	450	277	60 %	166
	Sum			1 071		801
Kr.sand-Stav.	AA, VA <-> Ro	1 946	220	428	40 %	171
	Sum			428		171
Oslo-Bergen	Øs, Ak, Os <-> Ho	1 596	485	774	80 %	619
	Bu, Ve, Te <-> Ho	731	400	292	60 %	175
	Sum			1 066		795

14 Korridorregnskap og drøfting av funn

14.1 Korridorregnskap

Vi har valgt å oppsummere effektene av høyhastighetstog som trafikkerer to korridorer:

- Oslo–Skien/Kristiansand
- Oslo–Lillehammer–Trondheim/Åndalsnes

Strekningene er valgt fordi begge har innslag av ulike trafikktyper: persontransport over korte/mellomlange avstander (spesielt i IC-området) der tog konkurrerer med personbil, persontransport over lengre avstander der togets hovedkonkurrent er fly, samt gods-transport over lengre avstander, der togets hovedkonkurrent er lastebil. Vi får dermed en mulighet til å se effektene av ulike typer trafikkoverføring.

Alle endringer uttrykkes som nettoendringer i forhold til en referansesituasjon. Det betyr at det er effektene av den overførte trafikken som analyseres. I referansesituasjonen forutsetter vi at dagens banenett videreføres. For å finne energi- og klimabelastningen fra infrastruktur må vi derfor bruke energi- og klimabelastningen fra ny infrastruktur og deretter trekke fra belastningen fra infrastruktur som denne fortrenger (både jernbane, veg og lufthavn).

Alle endringer vises som gjennomsnitt per år over 100 år. Trafikkendringene er nærmere beskrevet i kapittel 12.3 samt 13. Beregningene som gjelder den første korridoren, er delt i to. Først ser vi på Drammen–Skien isolert. Så ser vi effektene av full utbygging Drammen–Skien/Kristiansand:

- *Drammen–Skien:* Vi forutsetter 120 km nytt dobbeltspor sør for Drammen og regner med at ny bane Drammen–Skien ikke påvirker godstransportene. Endringene som oppstår som følge av baneutbygging på strekningen Drammen–Skien, er vist i tabell 14-1.
- *Porsgrunn–Kristiansand:* Dette er en forlengelse av ny bane Drammen–Skien. Vi forutsetter at det bygges et 170 km langt nytt dobbeltspor, som erstatter 150 km enkeltspor. Endringene som oppstår som følge av baneutbygging på strekningen Porsgrunn–Kristiansand, er vist i tabell 14-2.
- *Gardermoen–Trondheim:* Vi forutsetter at det bygges 460 km nytt dobbeltspor som erstatning for dagens bane via Dombås. Vi forutsetter også at strekningen Dombås–Åndalsnes elektrifiseres. Det er verd å understreke at vi i dette regnestykket ikke tar hensyn til endringer som dobbeltsporet gir for bil- og flytrafikk til/fra Rørosbanen. Vi regner ikke med noen endringer i godstransporter lokalt på Østlandet. Endringene som oppstår som følge av baneutbygging på strekningen Gardermoen–Trondheim, er vist i tabell 14-3.

Tabell 14-1: Endring i energi- og klimabelastning ved jernbaneutbygging Drammen–Skien, gjennomsnitt per år over 100 år

Tabell 2.1.2 Endring i energi- og klimabelasting ved jernbanetrafikk i Drammen–Skien, gml. og dobbeltspor per år over 100 år														
		Primærenergiforbruk (GWh per år)						Klimagassutslipp (1000 tonn CO ₂ -ekv. per år)						
		Scenario 1			Scenario 2			Scenario 1			Scenario 2			
	Km	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	Merknad
Drammen–Skien, ref.	15			2,2			2,2			0,6			0,6	A
Drammen–Skien, dobbeltspor	120			22,5			22,5			6,0			6,0	
Drammen–Skien, gml.	-150			-8,4			-8,4			-2,0			-2,0	
Tog, trafikk		58,7	50,7	51,5	114,4	98,8	100,4	7,4	3,1	3,5	14,4	6,0	6,8	
Tog, bruksavh. infrastruktur		1,2	1,3	1,3	2,3	2,5	2,5	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,8	
Tog, materiell		3,1	3,0	3,0	6,1	5,8	5,9	0,5	0,3	0,3	1,0	0,6	0,6	
Sum endring jernbane				72,1			125,1			8,9			13,0	
Personbil, trafikk		-74,9	-68,5	-69,1	-156,0	-142,3	-143,6	-16,8	-12,1	-12,5	-35,0	-25,0	-26,0	B
Personbil, infrastruktur		-6,0	-6,7	-6,7	-12,5	-14,0	-13,9	-1,3	-1,4	-1,4	-2,7	-3,0	-3,0	C
Personbil, materiell		-9,1	-10,5	-10,3	-18,9	-21,8	-21,5	-1,9	-2,5	-2,4	-4,0	-5,2	-5,1	D
Sum endring personbil				-86,1			-179,0			-16,4			-34,1	
Netto endring				-14,1			-53,9			-7,5			-21,1	

(A) Gjelder Sande-parsellen

(B) Eldriftsandel på 5 prosent i 2020 og 30 prosent i 2030

(C) Verdier for brukavhengig belastning gjelder firefeltsveg

(D) Andel elbil eller plug-in-hybrid på 0 prosent i 2020 og 50 prosent i 2030

Tabell 14-2: Endring i energi- og klimabelastning ved jernbaneutbygging Porsgrunn–Kristiansand, gjennomsnitt per år over 100 år

		Primærenergiforbruk (GWh per år)						Klimagassutslipp (1000 tonn CO ₂ -ekv. per år)						
		Scenario 1			Scenario 2			Scenario 1			Scenario 2			
	Km	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	2020	2030	Gj.sn.	Merknad
Porsgrunn–Kr.sand, d.spor.	170			31,9			31,9			8,5			8,5	
Skorstøl–Kristiansand, gml.	-150			-8,4			-8,4			-2,0			-2,0	
Persontog, trafikk		70,9	61,0	62,0	99,9	80,2	82,2	8,8	3,5	4,0	12,4	4,6	5,4	
Persontog, bruksavh. infrastr.		2,3	2,5	2,4	3,2	3,2	3,2	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	
Persontog, materiell		4,0	3,8	3,8	5,6	5,0	5,0	0,6	0,4	0,4	0,9	0,5	0,5	
Godstog, trafikk		35,7	32,9	33,2	35,7	32,9	33,2	4,3	1,9	2,2	4,3	1,9	2,2	
Godstog, bruksavh. infrastr.		6,3	7,1	7,0	6,3	7,1	7,0	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	
Godstog, materiell		1,1	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Sum endring jernbane				132,9			155,2			15,3			16,9	
Personbil, trafikk		-37,9	-35,7	-35,9	-66,2	-62,4	-62,8	-8,8	-7,3	-7,5	-15,3	-12,8	-13,0	A
Personbil, infrastruktur		-3,0	-3,4	-3,4	-5,3	-6,0	-5,9	-0,7	-0,7	-0,7	-1,1	-1,3	-1,3	
Personbil, materiell		-4,4	-5,1	-5,0	-7,7	-8,9	-8,8	-0,9	-0,9	-0,9	-1,6	-1,6	-1,6	B
Sum endring personbil				-44,3			-77,4			-9,1			-15,9	
Fly, trafikk		-174,9	-150,1	-152,6	-216,7	-188,0	-190,9	-52,3	-42,5	-43,5	-64,7	-53,2	-54,4	
Fly, infrastruktur		-14,2	-12,9	-13,0	-17,7	-16,1	-16,3	-2,0	-1,2	-1,3	-2,5	-1,5	-1,6	
Fly, materiell		-1,8	-1,8	-1,8	-2,3	-2,3	-2,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,4	-0,3	-0,3	
Sum endring fly				-167,4			-209,4			-45,0			-56,3	
Tilbringer, trafikk		-14,0	-12,4	-12,6	-17,3	-15,5	-15,7	-2,5	-1,7	-1,8	-3,1	-2,2	-2,3	
Tilbringer, infrastruktur		-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,8	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
Tilbringer, materiell		-1,0	-1,1	-1,1	-1,3	-1,3	-1,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	
Sum endring tilbringer				-14,2			-17,8			-2,1			-2,6	
Lastebil, trafikk		-63,0	-68,7	-68,1	-63,0	-68,7	-68,1	-14,5	-15,0	-14,9	-14,5	-15,0	-14,9	
Lastebil, infrastruktur		-6,3	-7,1	-7,0	-6,3	-7,1	-7,0	-1,3	-1,4	-1,4	-1,3	-1,4	-1,4	
Lastebil, materiell		-1,9	-2,1	-2,0	-1,9	-2,1	-2,0	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	
Sum endring gods				-77,2			-77,2			-16,8			-16,8	
Netto endring				-170,3			-226,7			-57,7			-74,6	
Netto endring Drammen–Skien + Porsgrunn–Kristiansand				-184,3			-280,6			-65,2			-95,7	

(A) Eldriftsandel på 0 prosent i 2020 og 10 prosent i 2030

(B) Andel elbil eller plug-in-hybrid-bil på 0 prosent i 2020 og 40 prosent i 2030

Tabell 14-3: Endring i energi- og klimabelastning ved jernbaneutbygging Oslo-Trondheim/Åndalsnes, gjennomsnitt per år over 100 år

Tabell 14-3: Endring i energi- og klimabelasting ved jernbanelastning ved jern														
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

(A) Eldriftsandel på 0 prosent i 2020 og 10 prosent i 2030

(B) Andel elbil eller plug-in-hybrid-bil på 0 prosent i 2020 og 40 prosent i 2030

* Langdistansetrafikk

14.2 Drøfting av funn

Mellomdistanse kontra langdistanse

Av tabell 14-1, 14-2 og 14-3 ser vi tydelig at energi- og klimaeffektene av jernbanesatsing er størst i langdistansetrafikken. Dette skyldes at togets energi- og klimafortrinn er større når toget fortrenger fly og lastebil enn når toget bare fortrenger privatbilbruk. I tillegg har toget lettere for å vinne trafikk fra fly enn fra bil, forutsatt at toget tilbyr reisetider og antall avganger som er på linje med flyets. En flypassasjer har alt gitt avkall på privatbilens frihet, noe en bilbruker jo ikke har gjort. Jernbanens potensial i godstrafikken er også størst når godset skal fraktes over lengre avstander, når lastebilkjøring av godset til og fra jernbanes godsterminaler utgjør en liten andel av total transporttid og de totale transportkostnadene.

Vi ser også at energi- og klimaeffektene av å overføre personbilbruk til tog over mellom-lange avstander, dvs. i IC-trianglet, er beskjedne – gitt våre forutsetninger. Dette skyldes at privatbilens energi- og klimabelastning er mindre enn flyets, samtidig som togets beleggsprosent normalt er lavere i mellomdistansetrafikken enn i langdistansetrafikken som følge av ujevn trafikk. Når toget ikke har mulighet til å flytte flytrafikk til jernbane eller vesentlige mengder gods fra veg til bane, blir utnyttelsesgraden av banenettet forholdsvis beskjeden, og da vil infrastrukturens energi- og klimabelastning bety en god del i regnestykket.

Uttrykt per kilometer ny bane (dobbeltspor) som må bygges, ser vi at satsing i korridor-en Gardermoen–Trondheim gir en klimaeffekt som er i størrelsesorden 30–40 prosent høyere enn ved utbygging Drammen–Kristiansand, som følge av mer flytrafikk i korridor-en nordover. Videre utbygging mot Stavanger ville økt effekten av satsing i korridoren sørvestover, men det ville krevd ytterligere ca. 230 km nybygd bane. Poenget her er ikke å framheve én destinasjon framfor en annen, men å få fram hvor stor betydning det har at toget gjøres konkurransedyktig i en korridor med omfattende flytrafikk.

Utbygging av jernbanen i IC-trianglet må gjøres med tanke på at strekningene skal inngå i et banenett som kan konkurrere med fly og bidra til å flytte gods fra veg til bane. Det er derfor viktig at det på disse strekningene ikke aksepteres flaskehalser som kan gjøre fjerntrafikken mindre konkurransedyktig. For at jernbanen skal bygge opp om en arealpolitikk som reduserer transportomfanget og gjør det lettere å reise kollektivt, er det viktig at jernbanestasjonene ikke plasseres utenom etablerte by- og tettstedssentre.

Vi understreker at scenario 2 på ingen måte representerer noe maksimumsalternativ når det gjelder trafikkoverføring fra personbil til jernbane. Skal betydelig større trafikkmengder overføres, kreves det grunnleggende endringer i forståelsen av miljøutfordringene og en helt annen bruk av virkemidler enn vi ser i dag, ikke minst innen arealpolitikken og i form av reguleringer av biltrafikken.

Det er viktig å huske på at denne rapporten ikke drøfter jernbanens rolle i lokaltrafikken rundt de største byene. I byenes umiddelbare pendlingsomland er biltrafikken høy og bilenes utnyttelsesgrad lav, i tillegg til at framkommelighetsproblemer på vegnettet og en viss bruk av restriktive virkemidler mot biltrafikken styrker kollektivtransportens potensial. Energi- og klimaeffektene av jernbanesatsning er derfor sannsynligvis annerledes her enn i resten av IC-trianglet.

Jernbanesatsing som fortrenger vegbygging

Et viktig tema som ikke drøftes grundig i denne rapporten, er effektene på vegtrafikkmengden dersom vegutbygging legges på is som følge av et bedre togtilbud. I scenario 2 forutsetter vi at dette til en viss grad skjer, men det inngår bare som en del av mange forutsetninger. Hva skjer dersom jernbanen bygges ut som erstatning for firefeltsveg på en konkret strekning?

Tidligere studier viser en tydelig sammenheng mellom utbygging av vegnettet og vegtrafikkmengden der vegnettet bygges ut. Tennøy (2008) peker på de komplekse, men likevel logiske og godt dokumenterte sammenhengene som settes i gang når vegkapasiteten utvides, og som medfører økt biltrafikk. Schlaupitz (2007) viser bl.a. til trafikktellinger på E 18 i nordre Vestfold hhv. før og etter åpning av ny E 18. I løpet av fem år økte trafikken med om lag 25 prosent ved et snitt ved Sande. Denne prosentvise trafikkveksten var om lag dobbelt så stor som for hele landet sett under ett og betydelig høyere enn for Vestfold fylke sett under ett. For å kunne sammenlikne med andre hovedveger ut fra Oslo-regionen som ikke er blitt bygd ut, nevner vi at trafikkveksten i samme perioden var på 12 prosent for E 16 ved Sollihøgda, på 15 prosent for E 6 ved Hovinmoen (nær Gardermoen) og på 20 prosent for rv. 2 ved Ulvesund bru (i Nes kommune).

Rapporten *Regeringsoppdrag om hastighetsgränserna på vägarna* (Vägverket 2005) sier det slik:

Utöver den direkta effekten av hastigheten på bränsleförbrukning, energiförbrukning och emissioner har också hastigheten betydelse för trafikarbetet. Ökad hastighet ger minskad restid som möjliggör längre och fler resor och transporter på samma tid som tidigare. Hastighetens effekt på trafikarbetet är ofta minst lika stor som den direkta effekten.

Engebretsen (2008) peker på at en politikk som legger til rette for reduserte reisetider med bil til og fra regionsentrene (såkalt regionforstørring), med stor sannsynlighet vil føre til økt personbiltrafikk og dermed økte utslipp av klimagasser nasjonalt. En rapport for det britiske transportdepartementet (SACTRA 1994) konkluderer med at 1 prosent kortere reisetid i det lange løp fører til at trafikken øker med opp mot 1 prosent.

Enkeltspor kontra dobbeltspor

Ser vi på infrastrukturens energi- og klimabelastning isolert, ser vi at forskjellen mellom enkeltspor og dobbeltspor er forholdsvis beskjeden. Gjennomsnittlig årlig energi- og klimabelastning for dobbeltspor er i størrelsesorden 25–30 prosent høyere enn for enkeltspor. Dette til tross for at kapasiteten på et dobbeltspor kan være flere ganger så stor som for enkeltspor, avhengig av ruteopplegg. For vegnettet er det motsatt: Mer trafikk krever veger med større dimensjoner og mer separering av trafikken. Planfrie kryss krever flere bruer og enda mer asfaltert areal. Økt trafikk krever også flere avbøtende tiltak i form av tunneler/miljøtunneler etc. Overdimensjonering av et veganlegg gir følgelig en større "unødvendig" energi- og klimabelastning fra infrastrukturen enn hva som oppstår dersom jernbanen bygges ut som dobbeltspor på delstrekninger der enkeltspor i første omgang hadde vært tilstrekkelig.

14.3 Usikkerhet om framtidig utvikling

Som nevnt i kapittel 12.4 gjør vi ingen antakelser om verken teknologi- eller transportutvikling etter 2030. Vi gjør dette fordi det uansett er stor usikkerhet om framtidig utvikling, og at vi snakker om to forhold som kan trekke i motsatt retning. Vi forutsetter at 2030-situasjonen videreføres og vil gjelde i 90 prosent av den 100-årige analyseperioden. Dermed forutsetter vi, implisitt, at all teknologiutvikling etter 2030 som kan redusere jernbanens fortrinn overfor andre transportformer, vil oppveies av en generell trafikkvekst som øker potensialet for trafikkoverføring til jernbane. Dette er en svært usikker forutsetning, i og med at det kan oppstå teknologiske trendbrudd som reduserer f.eks. flytrafikkens energiforbruk og/eller drivstoffets klimaintensitet langt mer enn hva som er effekten av endringer i trafikkoverføringspotensialet fra fly til tog som følge av generell trafikkutvikling.

Usikkerhetsmomentet forsterkes av at vi ikke gjør noen forskjell på når energi- og klimabelastningen skjer; vi vektlegger utslipp av ett tonn CO₂ i 2020 like tungt som ett tonn sluppet ut i 2119. Imidlertid er det mye som tyder på at utslippsreduksjoner i dag er viktigere enn tilsvarende utslippreduksjoner seinere. Det kan skyldes flere forhold,

bl.a. at oppvarmende virkninger i dag kan ha ringvirkninger som gir ytterligere oppvarming, som krever større utslippsreduksjoner seinere for å bli kompensert. Også usikkerhet om framtidig teknologi- og transportutvikling kan gjøre det riktig å gi tidlige utslippsendringer større vekt enn tilsvarende utslippsendringer seinere. Dette kan tale for at effektene bør analyseres i et kortere tidsperspektiv, f.eks. 20 eller 50 år framfor 100 år, som vi legger til grunn i denne rapporten.

Dersom alle fordeler og ulemper skal summeres opp over en kortere tidsperiode, ser vi at infrastrukturens bidrag øker, spesielt for jernbane og veg. Vi har gjort noen enkle estimater for jernbane som viser at dersom skinner, master, betongelementer etc. kan gjenbrukes etter demontering, vil den årlige tidsavhengige klimabelastningen fra jernbanens infrastruktur øke med ca. 60 prosent dersom tidsperspektivet reduseres fra 100 til 50 år. Reduseres tidsperspektivet til 20 år, kan vi grovt regne at infrastrukturens gjennomsnittlige årlige klimabelastningen må multipliseres med ca. 3,8, sett i forhold til vår opprinnelige forutsetning om 100 års levetid.

Dersom det er ønskelig å vurdere konsekvensene i et kortere tidsperspektiv med den begrunnelsen at oppvarmende virkninger i en tidlig fase skal vektlegges høyere enn tilsvarende virkninger seinere, *kan* det samtidig være riktig å bruke en høyere faktor til å beregne tilleggseffektene av flytrafikken. Som nevnt i kapittel 6 vil faktoren øke fra 1,3 til 2,1 dersom vi betrakter klimavirkningene fra flytrafikken i 20-årsperspektiv framfor i et 100-årsperspektiv. En faktor på 2,1 ville gjort at flytrafikkens klimabidrag øker fra 132 til 213 tusen tonn årlig i scenario 2 for strekningen Oslo–Trondheim. Denne økte klimaeffekten av mindre flytrafikk vil overgå den økte belastningen fra infrastrukturen dersom denne nedskrives over en periode på eksempelvis 20 år. Men det er verd å huske på at det er svært stor usikkerhet forbundet med faktorene for tilleggseffekter av flytrafikken. Og det er viktig å være klar over at dersom vi velger å bruke en høyere faktor for tilleggseffektene av flytrafikken, f.eks. betrakte dem i et 20-årsperspektiv, så sier vi samtidig at klimavirkningen av CO₂ ikke har noen betydning etter 20 år. Og det er neppe riktig å gjøre siden klimagassen CO₂ normalt lever svært lenge.

Et kortere tidsperspektiv ville ellers resultert i noe høyere gjennomsnittlig reduksjon i energiforbruk og klimagassutslipp per transportenhet overført fra luft og veg til bane, i og med at effektene av antatt teknologiutvikling da ville vært mindre.

Det er ellers verd å nevne at en trafikkvekst med jernbane som ville krevd lengre tog enn hva vi har forutsatt i denne studien, ville gitt lavere energiforbruk og klimagassutslipp per transportenhet, i og med at det er stordriftsfordeler å hente, både gjennom lavere luftmotstand og fordi infrastrukturens tidsavhengige energi- og klimabelastning kan fordeles på flere transporterte enheter.

15 Usikkerhetsdrøfting

Det er mange kilder til usikkerhet når transportsystemers energi- og miljøkonsekvenser skal analyseres. Vi drøfter dette kort i dette kapitlet.

Det som har mest å si for transportens energi- og miljøbelastning, er transportmidlenes direkte energiforbruk og utnyttelsesgrad samt belastningen fra energiproduksjonen. I denne rapporten har vi måttet gjøre antakelser og forutsetninger om framtidig utvikling på disse områdene, som følgelig bidrar til betydelig usikkerhet. Usikkerhet om teknologiutvikling omtales nærmere i kapittel 14.3.

Den ekstra klimaeffekten av flytrafikk i høyere luftlag utgjør en betydelig andel av flyets klimabelastning. Faktorene vi bruker, er svært usikre. Vi etterlyser mer kunnskap om denne klimaeffekten, differensiert på bl.a. ulike flydistanser og geografiske områder.

Det er forholdsvis stor usikkerhet i beregningene av energi- og klimakonsekvensene av produksjon og vedlikehold av transportmidlene, særlig for fly. Men denne delen av flyets totale energi- og klimabelastning utgjør ingen vesentlig del av flyets totale belastning og er derfor ikke noe stort usikkerhetsmoment.

Når det gjelder infrastrukturen, er antakelsene om framtidige utvikling av material- og asfaltproduksjonen et vesentlig usikkerhetsmoment, som påvirker en betydelig andel av infrastrukturens belastning (i størrelsesorden 30–60 prosent for jernbane og veg). Til beregning av energiforbruk ved bygging av infrastruktur har vi brukt forholdsvis usikre kilder, spesielt om bygging av dagstrekninger for jernbane og veg. For veg utgjør sistnevnte i størrelsesorden 10–15 prosent av infrastrukturens belastning med de forutsetningene vi har gjort, og er derfor noe som bør undersøkelses nærmere. For infrastrukturen er det også betydelig usikkerhet i hvordan energi- og klimakonsekvensene skal fordeles mellom ulike kjøretøytyper, bl.a. mellom persontransport og godstransport.

Materialmengdene ved bygging og vedlikehold av tunneler vil kunne variere mye fra tunnel til tunnel. Våre forutsetninger er derfor usikre og kan kanskje forbedres gjennom mer inngående studier. For jernbane betyr materialforbruket til tunneler mye, i størrelsesorden 25–30 prosent av infrastrukturens totale klimabelastning.

Material- og energiforbruk til bygging og vedlikehold av flyplasser er kun analysert svært grovt og må tolkes deretter, men utgjør heller ingen vesentlig del av flyets totale energi- og klimabelastning. Drift av flyplasser betyr en del, men dette har vi til gjengjeld fått en bedre oversikt over. Usikkerhet om framtidige konsekvenser av energiproduksjonen slår inn også her.

Klimaeffekten av å beslaglegge areal som følge av tapt karbonlagring i jord og skogbunn er fastsatt på en svært usikker metode. Dette bør undersøkes nærmere.

Forutsetningene om generell trafikkutvikling⁸¹ og trafikkoverføringspotensial har en avgjørende betydning på jernbanens mulighet til å redusere energi- og klimabelastningen. Om dette er det stor usikkerhet, og mer kunnskap er nødvendig, der flere virkemidler og også langsiktige arealbruksendringer ses i en sammenheng. Det er særlig overføringspotensialet fra privatbil til jernbane og fra lastebil til jernbane som følge av høyhastighetsbaner som vi mener det er størst usikkerhet om.

Vi savner mer kunnskap om hvilken nyskapt trafikk utbygging av jernbaner, veger og flyplasser vil kunne gi. Det samme gjelder effektene av jernbaneutbygging som erstatning for utvidelser av veger og/eller flyplasser.

⁸¹ Fotnote satt inn i mars 2009: Forutsetningene om generell trafikkutvikling tar ikke høyde for en eventuell nedgang eller lavere vekst som følge av den såkalte finanskrisa.

16 Oppsummeringstabeller

Tabell 16-1: Oppsummeringstabell: Direkte energiforbruk, primærenergiforbruk og klimaeffekter. Se kapittel 3 for nærmere omtale

	Direkte energi- forbruk (kWh)		Primærenergiforbruk (kWh)			Klimabelastn. (kg CO ₂ -ekv.)			Klimabelastn. + tilleggseff. (100 år) (kg CO ₂ -ekv.)		
	2020	2030	2020	2030	2030*	2020	2030	2030*	2020	2030	2030*
Per setekilometer											
Høyhastighetstog, mellomdist.	0,043	0,039	0,086	0,066	0,059	0,011	0,004	0,002	0,011	0,004	0,002
Høyhastighetstog, langdist.	0,041	0,037	0,082	0,063	0,056	0,010	0,004	0,001	0,010	0,004	0,001
Personbil, gj.snitt	0,092	0,078	0,114	0,097	0,104	0,026	0,021	0,018	0,026	0,021	0,018
Personbil, -25 %	0,069	0,058	0,086	0,072	0,077	0,020	0,016	0,013	0,020	0,016	0,013
Personbil, +33 %	0,122	0,104	0,151	0,129	0,138	0,035	0,028	0,023	0,035	0,028	0,023
Elbil	0,050	0,045	0,105	0,080	0,071	0,013	0,005	0,002	0,013	0,005	0,002
Ekspressbuss	0,053	0,051	0,066	0,063	0,068	0,015	0,014	0,011	0,015	0,014	0,011
Fly, distansekategori 280 km	0,467	0,351	0,579	0,435	0,467	0,133	0,095	0,079	0,173	0,123	0,103
Fly, distansekategori 350 km	0,359	0,287	0,445	0,356	0,382	0,102	0,077	0,065	0,133	0,101	0,084
Per personkilometer											
Høyhastighetstog, mellomdist.	0,108	0,098	0,215	0,165	0,146	0,027	0,010	0,004	0,027	0,010	0,004
Høyhastighetstog, langdist.	0,068	0,062	0,137	0,105	0,093	0,017	0,006	0,002	0,017	0,006	0,002
Personbil, gj.snitt, mellomdist.	0,279	0,236	0,345	0,294	0,314	0,079	0,064	0,053	0,079	0,064	0,053
Personbil, -25 %, mellomdist.	0,209	0,176	0,261	0,218	0,234	0,060	0,047	0,040	0,060	0,047	0,040
Personbil, +33 %, mellomdist.	0,370	0,315	0,458	0,391	0,419	0,105	0,085	0,071	0,105	0,085	0,071
Elbil, mellomdist.	0,152	0,136	0,318	0,242	0,215	0,040	0,014	0,006	0,040	0,014	0,006
Personbil, gj.snitt, langdist.	0,230	0,195	0,285	0,243	0,259	0,066	0,053	0,044	0,066	0,053	0,044
Personbil, -25 %, langdist.	0,173	0,145	0,215	0,180	0,193	0,049	0,039	0,033	0,049	0,039	0,033
Personbil, +33 %, langdist.	0,305	0,260	0,378	0,323	0,346	0,087	0,070	0,059	0,087	0,070	0,059
Elbil, langdist.	0,125	0,113	0,263	0,200	0,177	0,033	0,012	0,005	0,033	0,012	0,005
Personbil, gjennomsnitt, én i bilen	0,460	0,390	0,570	0,485	0,519	0,131	0,105	0,088	0,131	0,105	0,088
Personbil, -25 %, én i bilen	0,345	0,290	0,430	0,360	0,386	0,098	0,078	0,065	0,098	0,078	0,065
Personbil, +33 %, én i bilen	0,610	0,520	0,755	0,645	0,692	0,174	0,140	0,117	0,174	0,140	0,117
Elbil, én i bilen	0,250	0,225	0,525	0,400	0,354	0,066	0,024	0,009	0,066	0,024	0,009
Ekspressbuss	0,133	0,128	0,165	0,158	0,170	0,038	0,034	0,029	0,038	0,034	0,029
Fly, distansekategori 280 km	0,667	0,501	0,827	0,621	0,667	0,190	0,135	0,113	0,247	0,176	0,147
Fly, distansekategori 350 km	0,513	0,410	0,636	0,509	0,545	0,146	0,111	0,092	0,190	0,144	0,120
Tilbringertransport	0,184	0,155	0,279	0,222	0,230	0,050	0,031	0,023	0,050	0,031	0,023
Per tonnkilometer											
Godstog	0,087	0,082	0,174	0,139	0,123	0,022	0,008	0,003	0,022	0,008	0,003
Vogntog	0,260	0,247	0,322	0,306	0,329	0,074	0,067	0,056	0,074	0,067	0,056

* Gjelder elkraft med 80 prosent fornybar strøm og drivstoff med 30 prosent bioandel

Tabell 16-2: Oppsummeringstabell: Primærenergiforbruk fra framdrift av transportmidler (brutto direkte), produksjon og vedlikehold av transportmidler samt infrastruktur

	2020				2030			
kWh	Brutto direkte	Tr.sp.-middel	Infra-strukt.	Sum	Brutto direkte	Tr.sp.-middel	Infra-strukt.	Sum
Per personkilometer								
Høyhastighetstog, mellomdist.	0,215	0,012	0,040	0,267	0,165	0,010	0,040	0,215
Høyhastighetstog, langdist.	0,137	0,008	0,036	0,181	0,105	0,007	0,036	0,148
Personbil, gj.snitt, mellomdist.	0,345	0,040	0,022	0,408	0,294	0,035	0,022	0,352
Personbil, gj.snitt, langdist.	0,285	0,033	0,018	0,337	0,243	0,029	0,018	0,290
Elbil, mellomdist.	0,318	0,056	0,022	0,397	0,242	0,050	0,022	0,314
Elbil, langdist.	0,263	0,047	0,018	0,328	0,200	0,041	0,018	0,259
Ekspressbuss	0,165	0,014	0,018	0,197	0,158	0,012	0,018	0,188
Fly, distansekategori 280 km	0,827	0,008	0,067	0,901	0,621	0,007	0,054	0,682
Fly, distansekategori 350 km	0,636	0,008	0,053	0,697	0,509	0,007	0,043	0,559
Tilbringertransport	0,279	0,020	0,024	0,323	0,222	0,019	0,024	0,264

Tabell 16-3: Oppsummeringstabell: Klimagassutslipp fra framdrift av transportmidler (brutto direkte), produksjon og vedlikehold av transportmidler samt infrastruktur

	2020				2030			
kg CO ₂ ekv.	Brutto direkte	Tr.sp.-middel	Infra-strukt.	Sum	Brutto direkte	Tr.sp.-middel	Infra-strukt.	Sum
Per personkilometer								
Høyhastighetstog, mellomdist.	0,027	0,002	0,011	0,040	0,010	0,001	0,011	0,022
Høyhastighetstog, langdist.	0,017	0,001	0,010	0,028	0,006	0,001	0,010	0,016
Personbil, gj.snitt, mellomdist.	0,079	0,009	0,005	0,093	0,064	0,006	0,005	0,075
Personbil, gj.snitt, langdist.	0,066	0,007	0,004	0,077	0,053	0,005	0,004	0,062
Elbil, mellomdist.	0,040	0,012	0,005	0,057	0,014	0,009	0,005	0,028
Elbil, langdist.	0,033	0,010	0,004	0,047	0,012	0,007	0,004	0,023
Ekspressbuss	0,038	0,002	0,004	0,044	0,034	0,001	0,004	0,039
Fly, distansekategori 280 km	0,247	0,001	0,009	0,258	0,176	0,001	0,005	0,182
Fly, distansekategori 350 km	0,190	0,001	0,008	0,199	0,144	0,001	0,004	0,149
Tilbringertransport	0,050	0,003	0,006	0,059	0,031	0,003	0,006	0,039

Tall for infrastruktur i tabell 16-2 og 16-3 forutsetter at høyhastighetstog går på dobbeltspor som trafikkeres av 25 000 seter daglig (sum begge retninger) i mellomdistansetrafikken og 18 000 seter daglig i langdistansetrafikken. Mellomdistansetrafikk på veg forutsetter vi at utføres på dels firefeltsveg med 12 000 personbiler daglig og dels tofeltsveg med 6000 personbiler daglig. Langdistansetrafikken regner vi med at utføres på dels firefeltsveg med 12 000 personbiler daglig og dels tofeltsveg med 3000 personbiler daglig. Vi forutsetter at persontransporten står for 70 prosent av den tidsavhengige energi- og klimabelastningen for bane og veg. Den tidsavhengige belastningen, som inngår i tall i tabell 16-2 og 16-3, er et gjennomsnitt for infrastrukturens 100-årige levetid. Det er kun den *bruksavhengige* delen som endres fra 2020 til 2030.

Med bakgrunn i tall fra tabell 16-2 og 16-3 samt transportdistansene som er forutsatt i kapittel 12, kan vi beregne energi- og klimabelastningen for bruk av transportmidlene på enkeltrelasjoner. Dette er av interesse der avstandene varierer mellom transportformene. Vi viser tall for reiser Oslo–Kristiansand og Oslo–Trondheim i tabell 16-4.

Tabell 16-4: Energi- og klimabelastning på enkeltrelasjoner, fra sentrum til sentrum

Per reise kWh / kg CO ₂ -ekv.	Oslo–Kristiansand				Oslo–Trondheim			
	Primærenergi		Klimagasser		Primærenergi		Klimagasser	
	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Høyhastighetstog, langdist.	58	47	9	5	92	75	14	8
Personbil, gj.snitt, langdist.	109	94	25	20	168	145	39	31
Elbil, langdist.	107	84	15	8	164	130	24	12
Ekspressbuss	64	61	14	13	98	94	22	20
Fly med tilbringertransport	273	208	76	53	276	222	76	57

Vedlegg 1: Valg av prinsipper for energimiks

I dette vedlegget drøfter vi problematikken rundt valg av energimiks videre, som en fortsettelse av diskusjonen i kapittel 5. Vi tar utgangspunkt i flere prinsipper, med hovedvekt på elkraft, men med noen tilleggskommentarer om drivstoff og varme til slutt.

Faktisk brukt energi som grunnlag for miljøberegninger

Nätverket för Transporter och Miljö (NMT) i Sverige har diskutert hvordan miljøeffektene av eldrevne transportere skal beregnes (Johansson og Johansson 2003). Etter en del debatt kom nettverket til enighet om at det er konsekvensene av den faktisk brukte energien som må ligge til grunn for miljøberegningene. Jernbaneselskap som bruker miljøsertifisert strøm, skal få fordel av dette – på samme måte som f.eks. lastebilselskap som bruker biodiesel eller svovelfri diesel, skal få en gevinst av det.

Vi mener at en viktig forutsetning for at dette sammenlikningsprinsippet skal kunne være relevant, er at miljøvariantene av et produkt (f.eks. grønn strøm kontra vanlig strøm og biodiesel kontra vanlig diesel) omsettes i separate markeder slik at det oppstår egne priser, og at det gis insitamenter som gjør at økt etterspørsel i praksis også fører til en tilsvarende økt produksjon av grønn energi. Dersom dette er oppfylt, enten gjennom markedskreftene eller andre insitamenter, vil dette prinsippet gi et godt bilde av miljøkonsekvensene av ulikt energiforbruk.

Vi mener det er svært viktig at miljømerking, markedsføring og salg av grønn strøm og fornybart drivstoff brukes som virkemiddel for å gjøre energisektoren mer bærekraftig. Kanskje insentivmekanismene etter hvert vil bli velfungerende i det europeiske kraftmarkedet, dvs. at en betydelig vekst i etterspørselen etter grønn elektrisitet vil kunne øke produksjonen av slik elektrisitet betydelig. For flytende drivstoff vil dette også til en viss grad kunne skje, men i en verden med stadig økt etterspørsel etter energi – særlig i den tredje verden – vil det kunne oppstå knapphet på biodrivstoff med et godt klimaregnskap og som produseres etter miljømessig og sosialt forsvarlige metoder.

Utslippsforpliktelsene styrer

Denne tenkemåten legger vekt på at alle land må arbeide for å oppfylle sine utslippskrav, og at det gjennomføres tiltak – verken flere eller færre – slik at forpliktelsene innfris. Med andre ord: Det har ingen betydning om Norge endrer kraftbalansen med sine naboland. Dersom Norge eksporterer mer fornybar kraft, vil dette bare føre til at andre land kan øke sine utslipp på andre områder. Norske strømforbrukere blir da ansvarlige kun for miljøkonsekvensene av norsk strømproduksjon.

Men et land må jo innfri sine utslippsforpliktelser. Dersom dette gjøres i tråd med aksepterte mekanismer i den til enhver tid gjeldende internasjonale klimaavtalen (p.t. Kyoto-protokollen for perioden 2008–2012), vil f.eks. Norge kunne få godskrevet miljøeffekten i andre land som følge av økt eksport av fornybar kraft. Og vi skal heller ikke se bort fra at muligheten for kjøp og salg av kraft over landegrensene kan bidra til at noen land – i en forhandlingssituasjon – påtar seg større utslippsforpliktelser enn det som hadde vært aktuelt uten en slik mulighet.

Europeisk kraftmarked må ses i en sammenheng

Dersom vi forutsetter fri flyt av kraft over landegrensene, noe som til en viss grad er tilfellet i dag, vil strømforbruket i Norge bestå av en miks av kraft produsert på ulike måter og med ulike miljøegenskaper.⁸² Uavhengig av om Norge har kraftbalanse, kraftunderskudd eller kraftoverskudd, sendes det mye kraft til og fra våre naboland slik at det totale kraftsystemet utnyttes så optimalt som mulig. Norsk vannkraft eksporteres

⁸² Vi forutsetter at kraftmarkedet som Norge tar del i, av tekniske og politiske grunner vil begrense seg til EU27 pluss Sveits og Norge, også i et langtidsperspektiv.

for å avhjelpe forbrukstopper i våre naboland, mens kjernekraft og varmekraft importerer når det er nødvendig.

Sett i et miljøperspektiv er det interessant å vite hvordan endringer i strømforbruket i Norge påvirker kraftproduksjonen i det europeiske kraftmarkedet. Sagt på en annen måte: Hvilken type kraftproduksjon er såkalt marginalkraft, dvs. kraftformen som øker eller minker når kraftforbruket i Norge varierer?

Det er svært vanskelig å finne et entydig svar på dette. Kraftmarkedet er komplekst, og det er markedsmessige barrierer, f.eks. nasjonale strømmonopoler og mangel på overføringskapasitet. Ulike virkemidler brukes for å styre markedet, bl.a. EUs kvotesystem for utslipp av klimagasser og støtteordninger for fornybar energi. Det er også andre krefter som påvirker, slik som kull-lobbyen, som kjemper for sine arbeidsplasser, samt hensynet til nasjonal energisikkerhet. Mange land vil sannsynligvis mene at det er riktig å ha en viss kraftbalanse, for å unngå problemer med kraftforsyning i eventuelle politisk ustabile tider. Det kan bety at utslipp fra kraftproduksjonen i ett land i mindre grad styres av hvor mye overskuddskraft andre land tilbyr. Vi ser tendenser til at EU i mindre grad ønsker å gjøre seg avhengig av gass, bl.a. som følge av usikre leveranser fra Russland, og derfor kanskje beholder noen flere kullkraftverk i drift. Det kan bety at det ikke nødvendigvis blir noe mindre kullkraftproduksjon dersom Norge eksporterer mer kraft til Europa.

Dersom Norge f.eks. skulle legge ned jernbanen med tanke på at strømmen isteden skal eksporteres, i håp om at den skal erstatte mer forurensende kraftproduksjon i utlandet, er utfallet uvisst. Vi har vi ingen garantier mot at deler av den frigjorte strømmen i Norge vil øke det totale kraftforbruket eller resultere i at f.eks. svenskene legger på is noen av sine planer om utbygging av fornybar kraft fordi det er mulig å kjøpe denne fra Norge.⁸³

Miljøbelastningen av kraftforbruk avhenger også av strukturen på forbruket. Øker etterspørselen etter kraft bare i kortere perioder, f.eks. på kalde vinterdager, er det sannsynlig at det er mer forurensende kraft som brukes – enn om det er snakk om stabilt forbruk jevnt over året. Jernbanedrift og elbiler kan sies å representere et noenlunde jevnt forbruk over året, en slags grunnlastkraft, og bør da ikke være "ansvarlige" for miljøbelastningen fra gamle kullkraftverk som stort sett opprettholdes for å ta unna forbrukstopper. Som grunnlastkraft i det europeiske kraftmarkedet regnes både kjernekraft, ikke-regulerbar fornybar kraft og varmekraftverk med lave driftskostnader.

Som et forsøk på å anslå miljøbelastningen av kraftforbruk i det europeiske kraftmarkedet kan vi finne ut hva som er langsiktig marginal grunnlastkraft. Svaret her vil imidlertid kunne avhenge av om det totale kraftforbruket i markedet øker eller minker. I en situasjon med stabil eller økende kraftetterspørsel vil det være nye kraftkilder som blir såkalt marginale. Øker kraftbehovet pga. mer jernbanetrafikk, vil dette måtte dekkes inn gjennom ny kraft, det være seg moderne kullkraftverk og gasskraftverk med eller uten CO₂-rensing, fornybar kraft eller kjernekraft. Billigste kraft inkludert byggekostnader vil som regel bli vinneren. I en situasjon der det totale kraftforbruket synker så mye at fullt brukbare kraftverk er i ferd med å bli lagt ned, vil marginale endringer i kraftforbruket kunne bestemme om slike anlegg vil bli stengt eller ikke. Investeringskostnadene har ingen innflytelse, de er "sunk costs", så avgjørelsen om drift bestemmes i prinsippet av kraftprisen og de marginale driftskostnadene.

Selvig (2007a) peker på at det generelt er problematisk å fastslå hvilken marginal som skal benyttes for ulike framtidige tidspunkter, spesielt der hvor tiltaket har effekt over

⁸³ Produksjon av 6 TWh ny gasskraft i Norge vil bidra til at det totale kraftforbruket i det vesteuropeiske kraftmarkedet øker med 1,2 TWh, dvs. 20 prosent av den nyproduserte kraftmengden, ifølge Aune, Golombek og Kittilsen (2004). Vi antar at frigjort kraft som følge av f.eks. nedlegging av elektrisk jernbanedrift vil ha en tilsvarende relativ effekt på kraftforbruket.

lang tid og den marginale produksjonen må forventes å endre seg vesentlig i løpet av tiltakets levetid. Selvig mener derfor det er god grunn til å bruke miljøbelastningen fra en gjennomsnittlig kraftmiks i markedet for å illustrere miljøbelastningen fra kraftforbruk i Norge.

Dersom "marginalprinsippet" skulle gjelde for strøm, mener vi at denne tenkemåten også bør brukes i analyser av miljøbelastningen fra flytende drivstoff – med tilsvarende kompleksitet. Hva er så marginalt drivstoff? Er det f.eks. diesel basert på oljesand i Canada, kull i Sør-Afrika, ulike former for biodrivstoff – eller rett og slett nordsjøolje?

Vi har til nå antatt at det vil bli etablert tilstrekkelig overføringskapasitet mellom Norden og resten av det europeiske kraftmarkedet til å kunne eksportere et eventuelt nordisk kraftoverskudd. Dette er ingen opplagt forutsetning da det er dyrt å bygge ut overføringskapasiteten. Et alternativ er at Norden får et mer eller mindre permanent kraftoverskudd som ikke blir eksportert, noe som vil gi lavere kraftpriser her enn i resten av Europa. Da kan det være nærliggende å tenke seg at deler av dette overskuddet – som har miljøegenskaper som er bedre enn det europeiske gjennomsnittet – kan settes av til f.eks. økt jernbanetrafikk. Det er imidlertid flere andre anvendelsesområder; lavere kraftprisene i Norden kan gjøre det lønnsomt å øke f.eks. aluminiumsproduksjonen i dette området, på bekostning av aluminiumsproduksjon i land der dette gir høyere utslipp. Det kan også oppstå kraftoverskudd i kortere perioder som det ikke er lønnsomt å eksportere eller bruke til økt industriproduksjon.

Aune og Rosendahl (2008) presenterer modellberegninger over hvordan Vest-Europas CO₂-utslipp i perioden 2014–2020 vil endre seg dersom strømforbruket i Norge endres, under forutsetning av at kraftmarkedet er liberalisert og EU ikke har noen klimapolitikk. Beregningene viser at dersom strømforbruket i Norge øker med 1 TWh, f.eks. som følge av elektrifisering av sokkelen, vil Vest-Europas CO₂-utslipp årlig øke med 0,2 mill. tonn CO₂. Dette tilsvarer marginale utslipp på 0,200 kg CO₂ per kilowatttime som gjennomsnitt for perioden 2014–2020, men med store variasjoner fra år til år. Notatet peker på at økt strømforbruk i én sektor vil gi lavere strømforbruk i andre sektorer samt øke strømproduksjonen. Utslippstallet gjelder kun utslipp fra kraftverket og er derfor for lavt dersom vi skal vurdere kraftproduksjonen i et livsløpsperspektiv. En aktiv klimapolitikk kan til gjengjeld påvirke resultatet slik at marginalutslippet blir mindre.

Valg av tilnærmingsmåte

Som nevnt er prinsippet om at faktisk brukt energi bør ligge til grunn for miljøberegningene av en gitt aktivitet, et godt utgangspunkt, særlig dersom økt etterspørsel etter de grønne energitypene bidrar til økt produksjon av disse. Vi finner det likevel vanskelig å bruke dette prinsippet i denne rapporten da det nærmest er umulig å vite hvilke energityper som faktisk kommer til å bli brukt i framtidig veg-, bane- og flytrafikk. Det vil også være store variasjoner fra kjøretøy til kjøretøy, særlig innen vegtransporten. Og vi kjenner ikke prisen på f.eks. grønn strøm og biodrivstoff kontra "vanlig" strøm og vanlig drivstoff i 2020 eller 2030 – ei heller hvilke preferanser forbrukerne vil ha. Noen typer energi kan ha sterkt stigende grensekostnadskurver – og til og med fysiske volumbegrensninger som setter begrensninger for hvor store andeler av etterspørselen som kan dekkes.

Prinsippet om at utslippsforpliktelsene styrer, mener vi at har relevans kun på kort sikt – gitt de faktiske utslippsforpliktelsene som er inngått. På lengre sikt vil endringer i avtaleformer kunne gjøre prinsippet irrelevant.

Vi mener det vil være riktig å vurdere miljøbelastningen fra energiforbruk på bakgrunn av helhetsbetraktninger for de respektive markedene som energien omsettes i. For strøm betyr dette at vi bør ha et europeisk perspektiv, mens vi har et videre perspektiv på drivstoff, siden dette lettere kan fraktes og omsettes globalt. For varme er perspektivet snevrere pga. større transportutfordringer.

Å vurdere miljøbelastningen på bakgrunn av hvilken type energi som er såkalt marginalkraft eller marginalt drivstoff, finner vi svært vanskelig. Det er umulig å fastslå hvilke energityper som til enhver tid vil være "på marginalen" i mange tiår framover. Disse vil kunne variere mye fra dag til dag og år til år. Usikkerhet rundt kraftoverføringskapasiteten gjør det hele enda mer komplisert.

Vi sitter da igjen med å bruke et gjennomsnitt av antatte energityper innen de ulike energiformene, hhv. kraft og drivstoff, som beste tilnærming. Spesielt for kraft vil et gjennomsnitt kunne gi et noenlunde bilde av varierende marginalkrafttyper. Samtidig slipper vi debatten om hvilke anvendelsesområder som er mer "høyverdige" enn andre, som kan oppstå ved marginalbetraktninger.

Vedlegg 2: Energi- og klimabelastningen fra energiproduksjon

For å finne anslått primærenergiforbruk og klimagassutslipp fra energiproduksjon i framtida holder det ikke bare å beregne hvor stor andel av kraftproduksjonen som er fornybar, samt andelen biodrivstoff. Det er nødvendig med kunnskap om klimagassutslipp og primærenergiforbruk for ulike produksjonsmåter i et livsløpsperspektiv – og antakelser om framtidig utvikling. Dette vedlegget redegjør i detalj hvordan vi har kommet fram til energi- og klimafaktorene for kraft, drivstoff og varme som er vist i tabell 5-2. Tillegg for strøm med lavspenning er omtalt i vedlegg 3.

Våre beregninger er basert på forutsetninger som i hovedsak bygger på informasjon fra den åpne databasen Gemis 4.42. Vi tar i denne sammenhengen for gitt at bruk av skog-råstoffer til kraft-, varme- og drivstoffproduksjon ikke reduserer skogens karbonopptak.

Kraftproduksjon i 2020

Når vi tar utgangspunkt kraftmiksen i 2020 i EU25 i visjonsscenariet til Matthes mfl. (2006) – og supplerer med anslag for Romania, Bulgaria, Norge og Sveits⁸⁴ – får vi resultater for EU27, Norge og Sveits, som vist i tabell V2-1, basert på våre utslipps- og primærenergifaktorer for de ulike energikildene i 2020.

Tabell V2-1: Forutsetninger om kraftproduksjonen i 2020 med utgangspunkt i Matthes mfl. (2006)

	Andel 2000	Andel 2020	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Kjernekraft	30 %	19 %	0,030	3,15
Kullkraft	29 %	16 %	0,900	2,15
Gasskraft	16 %	18 %	0,350	1,70
Fornybar kraft	19 %	47 %	0,025	1,30
Total produksjon (TWh)	3028	3344		
Gj.snitt			0,227	1,85
Gj.snitt, inkl. overføringstap			0,238	1,95

Vi har basert våre beregninger på følgende forutsetninger:

- Andelen av kraftproduksjonen i kull- og gasskraftverk som utføres i kraftvarmeverk, dvs. kraftverk som også utnytter spillvarme til varmeproduksjon, er i 2020 forutsatt å være på 30 prosent.
- Fornybar kraft i 2020 er forutsatt sammensatt av følgende energiformer: 25 prosent biodrevne kraftvarmeverk, 35 prosent vannkraft, 35 prosent vindkraft og 5 prosent solkraft m.m. I 2000 er også kraft produsert av avfall inkludert.
- Tillegget for tap i overføringsnettet inkludert transformering, samt behov for energi til bygging, drift og vedlikehold av overføringsnettet, er skjønnsmessig satt til 5 prosent.⁸⁵ Dette gjelder overføring fra kraftverk og fram til inntak til jernbanens strømsystem eller fram til nedtransformering til lavere spenning.

Dersom vi tar utgangspunkt i Aune mfl. (2008), som antyder hvordan kraftproduksjonen vil bli i EU15 samt Norge og Sveits i 2010 dersom markedet liberaliseres og det innføres CO₂-avgift på US\$ 44 per tonn CO₂ i alle de 17 landa, får vi et annet regnestykke. Forut-

⁸⁴ Våre anslag for Romania, Bulgaria, Norge og Sveits er basert på tall fra Eurostat (Eurostat 2007), sveitsisk energistatistikk (BFE 2002) samt Forres 2020 (2005).

⁸⁵ På bakgrunn av Gemis 4.42, som i prinsippet skal inkludere alle tap og slitasjer på realkapital m.m., finner vi at tillegget i Tyskland i 2000 var på i overkant av 1 prosent. Andersson og Lukaszevicz (2006) oppgir et tillegg på 4 prosent som øvre grense på estimer over tap i overføringsnettet fra kraftverk og fram til inntak på jernbanens strømsystem. På bakgrunn av tall over tap i overføringsnettet fra Norges vassdrags- og energidirektorat (e-post fra Vegard Willumsen, september 2008) samt SSBs elektrisitetsstatistikk for 2000–2006 finner vi at tapet i sentral- og regionalnettet ligger på ca. 3 prosent. I de to sistnevnte andelene er slitasje på realkapital og drift av overføringsnettet ikke inkludert.

setningene er ellers de samme som i det forrige regnestykket, bortsett fra at vannkraft-andelen er 10 prosentpoeng høyere. For de 12 EU-landa som ikke er inkludert i regnestykket, har vi gjort noen antakelser. Disse vil ventelig få de samme avgiftene eller krav om kvoter som resten av EU; og sett i lys av at både lønninger og kostnader etter hvert vil jevnes ut, er det grunn til å anta at det ikke vil bli så store forskjeller i utslipp fra kraftproduksjonen i EUs østlige og sørøstlige stater enn lenger vest. Lavere potensial for vindkraft og en mulig aversjon mot å basere kraftproduksjonen på gass fra øst tilsier likevel at vi forutsetter en høyere andel kullkraft enn lenger vest.

Tabell V2-2: Forutsetninger om kraftproduksjonen i 2020 med utgangspunkt i Aune mfl. (2008)

	Andel 2010 u. avgift	Andel 2010 m. avgift	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Kjernekraft	23 %	26 %	0,030	3,15
Kullkraft	41 %	11 %	0,900	2,15
Gasskraft	17 %	29 %	0,350	1,70
Fornybar kraft	19 %	34 %	0,025	1,25
Total produksjon (TWh)	3632	3195		
Gj.snitt			0,218	1,98
Gj.snitt, inkl. øvrige EU-land ⁸⁶			0,234	1,98
Gj.snitt, inkl. overføringstap			0,246	2,08

Det interessant er at vi med begge vinklingene får temmelig like resultater. Gjennomsnittlig utslipp av klimagasser for begge vinklingene blir på 0,242 kgCO₂-ekv./kWh, mens primærenergiforbruket blir på 2,01 (kWh_{primær}/kWh_{slutt}). Dette runder vi av til 0,250 kg/kWh og 2,00 kWh for 2020, som vi bruker videre i denne rapporten.

Vi viser også beregninger som tar utgangspunkt i Aune og Rosendahl (2008). Her presenteres et klimascenario, som er foreslått av Statens forurensningstilsyn, som forutsetter en kostnadseffektiv klimapolitikk med en kvotepris på 800 kroner per tonn CO₂ og et liberalisert kraftmarked. Bruken av kjernekraft vokser med 40 prosent, men vi forutsetter at veksten erstattes av kullkraft med CO₂-rensing og tilhørende deponering (CCS). Modellen tar ikke hensyn til tilpassingskostnader eller forsinkelser og andre praktiske og politiske barrierer. Vi ønsker ikke å basere våre konklusjoner om klimagassutslipp og primærenergiforbruk på langsiktig bruk av kjernekraft i stor skala og finner forutsetningen om omfattende bruk av CCS som urealistisk innen 2020. Scenariet er likevel vist for at vi kan vurdere om konklusjonene er robuste i forhold til alternative utviklingsretninger.

Resultater er vist i tabell V2-3 og gjelder kun EU15 samt Norge og Sveits. Markedsandelene for de ulike produksjonsmåtene er tatt fra figur 1 i Aune og Rosendahl (2008).

Tabell V2-3: Forutsetninger om kraftproduksjonen i 2020 med utgangspunkt i Aune og Rosendahl (2008)

	Andel 2020	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Kjernekraft	24 %	0,030	3,20
Kullkraft uten CCS	0 %	0,900	2,20
Kullkraft med CCS	10 %	0,120	2,55
Gasskraft	24 %	0,350	1,70
Fornybar kraft	42 %	0,025	1,25
Gj.snitt		0,118	1,94
Gj.snitt, inkl. overføringstap		0,124	2,04

⁸⁶ Som korreksjon for de 12 øvrige EU-landa har vi forutsatt at disse – som utgjør ca. 14 prosent av kraftproduksjonen i EU27, Norge og Sveits – vil få en kraftmiks bestående av 20 prosent kjernekraft, 25 prosent kullkraft, 25 prosent gasskraft og 30 prosent fornybar kraft. Til sammenlikning var andelen i 2004/2005 på 21 prosent kjernekraft, 56 prosent kullkraft, 9 prosent gasskraft og 10 prosent fornybar kraft, ifølge statistikk på Det internasjonale energibyråets nettside: <http://www.iea.org/stats/index.asp>

Kraftproduksjon i 2030

I tillegg skisserer vi to langsiktige scenarier, med en andel fornybar kraft på hhv. 60 og 80 prosent. Det første scenariet er i stor grad inspirert av kraftmiksen for 2030 som er beskrevet i Matthes (2005). I tillegg har vi forutsett bruk av CCS i halvparten av den gjenværende ikke-fornybare kraftproduksjonen.

Det siste scenariet illustrerer klima- og energikonsekvensene ved et enda mer ambisiøs politikk. Det er verd å huske på at begge scenariene forutsetter betydelige energisparetiltak som reduserer det totale energiforbruket. Begge scenariene forutsetter at andelen av kraftproduksjonen i kull- og gasskraftverk som utføres i kraftvarmeverk, blir på 40 prosent. Utslippsdata for CCS er estimert på bakgrunn av Viebahn (u.å.).

Det første scenariet forutsetter at fornybar kraft er sammensatt av følgende energiformer: 20,0 prosent biodrevne kraftvarmeverk, 30,0 prosent vannkraft, 40,0 prosent vindkraft og 10,0 prosent solkraft m.m. Beregningene gir resultater som vist i tabell V2-4.

Tabell V2-4: Forutsetninger om kraftproduksjonen i 2030, "normalscenario"

	Andel 2020	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Kjernekraft	10 %	0,025	3,10
Kullkraft med CCS	10 %	0,120	2,55
Gasskraft	20 %	0,330	1,60
Fornybar kraft	60 %	0,020	1,25
Gj.snitt		0,093	1,64
Gj.snitt, inkl. overføringstap		0,097	1,72

Vi runder av klimagassutslipp til 0,100 kgCO₂-ekv./kWh og primærenergiforbruk til 1,70 kWh_{primær}/kWh_{slutt}, som vi bruker videre i denne rapporten for scenariet med 60 prosent fornybar kraft.

Det andre og mer ambisiøse scenariet forutsetter at fornybar kraft er sammensatt av følgende energiformer: 15,0 prosent biodrevne kraftvarmeverk, 22,5 prosent vannkraft, 45,0 prosent vindkraft og 17,5 prosent solkraft m.m. Beregningene gir resultater som vist i tabell V2-5.

Tabell V2-5: Forutsetninger om kraftproduksjonen i 2030, ambisiøst scenario

	Andel 2020	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Kjernekraft	0 %	0,025	3,10
Kullkraft med CCS	10 %	0,120	2,55
Gasskraft med CCS	10 %	0,070	1,85
Fornybar kraft	80 %	0,025	1,20
Gj.snitt		0,035	1,40
Gj.snitt, inkl. overføringstap		0,037	1,47

Vi runder av klimagassutslipp til 0,040 kgCO₂-ekv./kWh og primærenergiforbruk til 1,50 kWh_{primær}/kWh_{slutt}, som vi bruker videre i denne rapporten for scenariet med 80 prosent fornybar kraft.

Drivstoffproduksjon i 2020 og 2030

Vi forenkler og forutsetter at alt flytende drivstoff i 2020 er diesel som inneholder 10 prosent andregenerasjons biodrivstoff. Klima- og energivirkningene av utvinning, raffinering, transport og forbrenning av drivstoff er satt med støtte i Gemis 4.42 (tall for Tyskland i 2020, men det er store variasjoner fra land til land). Når det gjelder framtidig utvikling innen utvinning, raffinering og transport av drivstoff, er det forhold som kan trekke i motsatte retninger. Effektivisering og bedre strømmiks⁸⁷ tilsier lavere utslipp og

⁸⁷ I Urbaniak (2008) antydes det effektiviseringspotensial på i størrelsesorden 12,5–15,5 prosent innen 2020.

energiforbruk. Det europeiske Well-to-Wheels-prosjektet antyder derimot at økt bruk av diesel på bekostning av bensin vil redusere virkningsgraden i raffineringprosessen (vedlegg 3 til Edwards, Larivé og Mahieu 2007)⁸⁸. Prosjektet antyder et tillegg for diesel for utvinning, raffinering og transport i 2013 på 19 prosent. Vi velger derfor å bruke tallet for 2020 fra Gemis 4.42, altså 15 prosent.

På bakgrunn av ulike kilder anslår vi at bioandelen har 80 prosent lavere klimagassutslipp enn fra vanlig diesel. Vi anslår også at primærenergiforbruket er dobbelt så høyt som energiinnholdet i sluttproduktet. For 2030 anslår vi at bioandelen har 90 prosent lavere klimagassutslipp enn vanlig diesel, mens tillegget for primærenergi er på 75 prosent.

Tabell V2-6: Forutsetninger om drivstoff i 2020 og 2030

	Diesel		Drivstoff med bioandel		
	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}	Bioandel	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Drivstoff 2020	0,310	1,15	10 %	0,285	1,24
Drivstoff 2030	0,310	1,15	15 %	0,268	1,24
Drivstoff 2030	0,310	1,15	30 %	0,226	1,33

For 2030 runder vi av klimagassutslipp til hhv. 0,270 og 0,225 kgCO₂-ekv./kWh.

Varmeproduksjon i 2020 og 2030

Vi forutsetter at 40 prosent av varmebehovet dekkes av biomasse. Siden beregningene over varmebehov for bygg i andre deler av denne rapporten delvis baserer seg på erfaringstall på sluttenergiforbruk som er oppgitt i miljørapporter etc. – uten at vi kjenner hvor mye energi som er blitt produsert ved hjelp av varmepumper – mener vi det blir upresist å regne med at hele den resterende varmeandelen målt i sluttenergi kan baseres på varmepumper. Vi ser heller ikke bort fra at direkte bruk av elektrisitet til oppvarming fortsatt vil forekomme, om enn i et lite omfang, f.eks. i deler av bygg. Vi forutsetter derfor at varmepumper dekker 40 prosent av varmebehov, mens direkte bruk av elektrisitet tar 20 prosent. Vi forutsetter at varmepumpene reduserer energiforbruket med 65 prosent i forhold til direkte bruk av elektrisitet. Elektrisitetsandelen inneholder et ekstra energitap på 5 prosent som følge av nedtransformering til, og distribusjon i, lavspenningsnettet.

Tabell V2-7: Forutsetninger om varmeproduksjon i 2020

	Andel 2020	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Biovarme	40 %	0,025	1,20
Varmepumper	40 %	0,092	0,74
Elektrisitet	20 %	0,263	2,10
Gjennomsnitt		0,099	1,19

Tabell V2-8: Forutsetninger om varmeproduksjon i 2030

	Andel 2030	CO ₂ -ekv. (kg/kWh)	kWh _{primær} / kWh _{slutt}
Biovarme	40 %	0,025	1,20
Varmepumper	40 %	0,037	0,62
Elektrisitet	20 %	0,105	1,79
Gjennomsnitt		0,046	1,09

Vi runder av klimagassutslipp til 0,100 kgCO₂-ekv./kWh og primærenergiforbruk til 1,20 kWh_{primær}/kWh_{slutt} for 2020 samt klimagassutslipp til 0,050 kgCO₂-ekv./kWh og primærenergiforbruk til 1,10 kWh_{primær}/kWh_{slutt} for 2030, som vi bruker videre i denne rapporten.

⁸⁸ WTT Appendix 3: Energy requirement and GHG emissions for marginal gasoline and diesel fuel production: http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT_App_3_010307.pdf

Vedlegg 3: Energieffektivisering, kapitalslit og materialforbruk

Generelle effektiviseringssatser

Vi forutsetter generelt at sluttenergiforbruket til kjøretøy samt maskiner og utstyr for anleggsvirksomhet reduseres med 15 prosent i forhold de kildene vi støtter oss til. Vi regner med en ytterligere reduksjon på 10 prosent i driftsfasen. For drift av stasjoner, flyterminaler, anlegg for vedlikehold av transportmidler m.m. regner vi 20 prosent reduksjon i sluttenergiforbruket fram til 2020, med ytterligere 5 prosent innsparing i 2030. For fabrikker som produserer transportmidler, regner vi generelt 15 prosent reduksjon i sluttenergiforbruket fram til 2020, med ytterligere 5 prosent reduksjon i 2030.

Slitasje på realkapital

Til bygging og vedlikehold av infrastruktur brukes det kjøretøy, maskiner og annet utstyr, som ikke bare bruker energi, men som det også har gått med ressurser til å produsere og vedlikeholde. For å ta høyde for dette legger vi skjønnsmessig til 5 prosent av energi- og klimabelastningen fra maskinenes drivstofforbruk.

Også ved materialproduksjon er det slitasje på realkapital. Som beskrevet i teksten om materialforbruk har vi lagt til 10 prosent for noen materialer. Vi har ikke lagt til noe for materialer der data er tatt fra Gemis 4.42 da denne kilden i prinsippet skal inneholde energi- og klimabelastningen fra slitasje på realkapital.

Materialforbruk

For materialer tar vi utgangspunkt i opplysninger om primærenergiforbruk og klimagassutslipp fra ulike kilder, som oppgitt i tabell V3-1. I tall over primærenergiforbruk er materialenes energiinnhold ikke inkludert. Dette skyldes at denne energien i stor grad beholdes i kretsløpet også etter at materialene er brukt. Vi har ikke tatt hensyn til at asfalt og bildekk slites på en slik måte at deler av materialmengden forsvinner ut av kretsløpet. Derimot gjør vi unntak for etanol og propylenglykol, der energimengden er inkludert, i og med at disse frosthindrende væskene forsvinner ut av kretsløpet.

I de tilfellene vi bruker faktorer for primærenergiforbruk og klimagassutslipp direkte fra kildene, nedjusterer vi primærenergiforbruket med 15 prosent og klimabelastningen med 20 prosent, for å ta høyde for generell energieffektivisering en bedre strømmiks samt noe mer bruk av fornybar energi. Kalk er nedjustert med 10 prosent for både primærenergiforbruk og klimabelastning, mens gummi, plastikk og propylenglykol er nedjustert med 20 prosent lavere primærenergiforbruk og 30 prosent lavere klimabelastning. Flere av kildene vi støtter oss til, er basert på data som begynner å bli temmelig gamle, mange fra midten av 90-tallet, noe til og med fra 70- og 80-tallet.

For flere av materialene har vi gjort egne beregninger, enten fordi disse er viktige i det totale energi- og klimaregnskapet, eller fordi vi mangler gode kilder å støtte oss til. Disse materialene er oppført med "Egne" som kilde i tabell V3-1, og de er – sammen med andre materialer som trenger en nærmere beskrivelse – omtalt i teksten som følger.

En svakhet er at våre tall for metaller ikke inkluderer eventuell bearbeiding til sluttprodukt. Vi forutsetter at energi- og klimaegenskapene for f.eks. jernbaneskinner og armeringsstål er de samme som for stål som kommer rett fra stålverket. For plastikk og betongelementer har vi estimert og tatt med et tillegg for bearbeiding til sluttprodukt. For ingen av materialene er emballasje inkludert.

Materialtransporten er inkludert i standardfaktorene for energi- og klimabelastning fra materialforbruk, som vist i tabell V3-1. Tabellen viser også hvilke forutsetninger vi har gjort om transportdistanse og energiforbruks- og klimagassfaktorer ved materialtransport. Denne metoden tar ikke høyde for at det ved f.eks. bygging av flyplasser kan være

kortere transportdistanser enn hva som er tilfelle ved bygging av jernbaner og veger mellom landsdelene.

For materialer som tilføres i infrastrukturens driftsfase, definert som situasjonen i 2030, forutsetter vi ytterligere effektivisering i forhold til belastningen materialene hadde under infrastrukturens anleggsfase. For materialene som ikke er omtalt separat, regner vi med 10 prosent lavere primærenergiforbruk og 20 prosent lavere klimabelastning i forhold til i anleggsfasen. Kalk nedjusterer vi med 5 prosent for både primærenergiforbruk og klimabelastning, mens gummi, plastikk og propylenglykol er nedjustert med 15 prosent lavere primærenergiforbruk og 25 prosent lavere klimabelastning i forhold til i anleggsfasen. I transportleddet regner vi med 10 prosent lavere primærenergiforbruk og 15 prosent lavere klimabelastning for alle materialer i driftsfasen sett i forhold til i anleggsfasen.

Aluminium

Vi tar utgangspunkt i Gemis 4.42 og velger en miks der 30 prosent er produsert av resirkulert materiale og 70 prosent av nytt aluminium produsert i Norge. For resirkulert materiale regner vi med 15 prosent lavere primærenergiforbruk og 25 prosent lavere klimagassutslipp. For nytt aluminium regner vi med 5 prosent energieffektivisering samt antatt strømmiks for 2020 i produksjonsleddet. Klimagassutslipp utover dette strømforbruket er redusert med ytterligere 5 prosent.

For driftsfasen regner vi med 10 prosent lavere primærenergiforbruk og 30 prosent lavere klimabelastning.

Betong

Vi forutsetter at én kubikkmeter betong veier 2350 kg og består av 350 kg sement, 950 kg pukk, 1000 kg sand/grus samt vann. Med utgangspunkt i Stripples (2001) går det med ca. 1,4 liter diesel og ca. 4,6 kWh strøm til å produsere en kubikkmeter betong til vegdekke. Med støtte i Vold (2007) finner vi at det går med ca. 37,5 kWh primærenergi, derav ca. 30 prosent olje, til å produsere 1 tonn veggelementer av betong i Norge. Vi bruker en miks av dette og regner med 10 prosent effektivisering og våre faktorer for diesel og strøm i 2020 og legger til 10 prosent for slitasje på realkapital.

For driftsfasen regner vi med 10 prosent lavere primærenergiforbruk og 15 prosent lavere klimabelastning.

Plastikk

Vi opererer med tre typer plastikk. Den første er en miks av granulater med 50 prosent polyvinylklorid (PVC) og 50 prosent polypropen (PP). Denne miksen bruker vi ved beregning av energi- og klimabelastningen fra materialforbruket til transportmidler. Den andre miksen består av de samme materialene, tillegg et estimat for bearbeiding på 1,0 kWh/kg målt i sluttenergi, basert på tall for produksjon av plastkann (Polimoon 1999) og tilhørende primærenergiforbruk og utslipp av klimagasser. Den siste plastikktypen er skum, som vi regner med at er en miks av 50 prosent polyeten (PE) og 50 prosent ekstrudert polystyrol (XPS). For sistnevnte har vi lagt til 0,8 kWh/kg strøm målt i sluttenergi, basert på tall for produksjon av isolasjonsskum (XPS) (Dow 2000).

Pukk og sand

For pukk og sand støtter vi oss til sluttenergiforbruk som oppgitt i Stripples (2001) og bruker faktorene for strøm og drivstoff i 2020, i tillegg til at vi regner med 15 prosent effektivisering og legger til 10 prosent for slitasje på realkapital. For pukk legger vi også til belastning for bruk av sprengstoff, der vi regner 0,25 kg sprengstoff per tonn pukk, samt noe borstålforbruk. Tall for pukk fra den norske pukkprodusenten Franzefoss ligger i samme størrelsesorden som Stripples tall.⁸⁹

⁸⁹ E-post fra Pål Hafrom i Franzefoss, august 2008.

For driftsfasen regner vi med 15 prosent lavere primærenergiforbruk og 30 prosent lavere klimabelastning.

Sement

Vi tar utgangspunkt i data for anleggssement som produseres ved Norcems anlegg i Brevik (Vold 2007) og korrigerer for antatt strømmiks i 2020 i produksjonsleddet og generelt 10 prosent effektivisering. Vi har også lagt til 10 prosent for å ta høyde for slitasje på realkapital. Vi forutsetter at sementen inneholder 50 prosent klinker og 50 prosent annet materiale (f.eks. flygeaske eller aplitt). I dag består Norcems sement av ca. 90 prosent klinker. I tillegg forutsetter vi at 20 prosent av det prosessrelaterte CO₂-utslippet opptas i betongen i materialets levetid. Vi runder svakt oppover og får tall som vist i tabell V3-1.

For driftsfasen regner vi med 10 prosent lavere primærenergiforbruk og 15 prosent lavere klimabelastning.

Sprengstoff

Vi har estimert tall for emulsjonssprengstoffet TITAN, basert på en miljøkonsekvensbeskrivelse for fabrikken i Gällivare, mottatt av produsenten Orica Mining Services.⁹⁰ Vi understreker at våre tall må regnes som usikre estimat.

Stål

Vi tar utgangspunkt i Gemis 4.42 og velger en miks der 30 prosent av stålet er produsert i moderne elektrostålverk, mens 70 prosent er produsert i såkalte BOF-stålverk som i hovedsak er malmbasert. Dette innebærer at bruken av gjenvunnet stål er på ca. 40 prosent. For begge produksjonsmåte har vi forutsatt 5 prosent energieffektivisering samt en strømmiks tilsvarende 0,3 kgCO₂-ekv./kWh i produksjonsleddet. Klimagassutslipp utover dette strømforbruket er redusert med ytterligere 5 prosent. Vi skiller ikke mellom galvanisert og ikke-galvanisert stål.

For driftsfasen regner vi med 5 prosent lavere primærenergiforbruk og 15 prosent lavere klimabelastning.

Asfalt

Vi tar utgangspunkt i Stripple (2000), som vurderer asfalt for en veg med ÅDT 10 000 i et 40-årsperspektiv. Vi multipliserer med 2,5 for å finne verdier for 100-årsperioden. Vi justerer deretter for effektivisering og slitasje på realkapital samt våre forutsetninger om strømmiks. Tall for anleggsfasen og for resten av vegens levetid er vist separat. Det er verd å understreke at våre tall for asfalt gjelder for det totale forbruket av asfalt ved hhv. første gangs legging (anlegg) og i hele den 100-årige driftsfasen, inkludert energi- og klimabelastningen fra bruken av maskiner til asfالتlegging m.m. For oppmerking av asfalten har vi lagt til 0,15 kg plastikk per kvadratmeter. Ved ÅDT 10 000 forutsetter vi at det må nyoppmerkes 25 ganger i 100-årsperioden.

Med støtte i figur 531.2 i Håndbok 018 (Statens vegvesen 2005) anslår vi at halvparten av asfالتslitasjen er bruksavhengig og den andre halvparten tidsavhengig ved trafikkmengder på ÅDT 10 000, som Stripple forutsetter i sin studie.⁹¹ I tabell V3-1 gjelder tall for driftsfasen kun den tidsavhengige slitasjen. Siden halvparten av slitasjen regnes å være bruksavhengig – inkludert slitasje av asfalt som er lagt i vegens byggefase – er den tidsavhengige belastningen i anleggsfasen kommet i fratrekk i driftsfasen, for å unngå dobbelttelling.

⁹⁰ E-post fra Lars-Gunnar Löfgren i Orica Mining Services, januar 2008.

⁹¹ Sandberg Eriksen mfl. (1999) henviser imidlertid til norsk og dansk empiri som viser at den bruksavhengige vegdekkeslitasjen er på hhv. 60 og 65 prosent.

Den bruksavhengige slitasjen, som er vist i tabell 9-9, er estimert ved å dele den bruksavhengige andelen asfaltslitasje for 1 meter veg (13 m² asfalt, som Stripples opererer med) på trafikkmengden i løpet av 100 år. Trafikkmengden er ÅDT 10 000, og vi regner 3,5 bruttotonn per kjøretøy.

I forhold til Stripples tall regner vi med 10 prosent effektivisering i anleggsfasen og ytterligere 10 prosent i driftsfasen, og vi bruker våre faktorer for strøm og drivstoff og legger til 10 prosent for å ta høyde for slitasje på realkapital.

For asfalt til rullebaner gjør vi det samme regnestykket som over, bortsett fra at vi regner hele slitasjen som tidsavhengig. Vi forutsetter at rullebaner har 30 prosent lavere behov for fornyelse av asfalten enn veger med ÅDT 10 000.

Bygninger

Vi har valgt å operere med generelle tall for energiforbruk og klimagassutslipp fra bygninger. Vi understreker at det er stor variasjon fra bygningstype til bygningstype, men velger i hovedsak tall som gjelder forholdsvis kraftig dimensjonerte bygg, som er relevante for f.eks. vedlikeholdshaller, terminaler etc. Vi støtter oss i hovedsak til tre kilder: Rønning, Nereng, Vold, Bjørberg og Lassen (2007), Hille mfl. (2007) og Selvig (2007b).

Med utgangspunkt i disse kildene og egne antakelser om bl.a. materialsammensetting og energieffektiviseringspotensial lander vi på et tall for primærenergiforbruk i byggefasen inkludert materialer på 850 kWh/m². Forutsetter vi i tillegg en utslippsfaktor for klimagasser (CO₂-ekv.) på 0,3 kg/kWh (inkludert en betydelig andel betong), blir utslippet per arealenhet på 255 kg/m². For vedlikehold/rehabilitering i de påfølgende 100 år viser Rønning mfl. (2007) et tillegg i energiforbruket på ca. 80 prosent av byggeforbruket, som også vi forutsetter her. For denne prosessen bruker vi en utslippsfaktor på 0,26 kg/kWh. Når vi i tillegg regner med 10 prosent lavere energiforbruk i driftsfasen pga. generell effektivisering, finner vi at vedlikehold/rehabilitering over 100 år gir et tillegg i primærenergiforbruket på 615 kWh og et tillegg i klimagassutslippet på 160 kg/m².

Et spørsmål er om våre tall også vil gjelde for store vedlikeholdshaller. En av de store hallene på SAS' tekniske base på Gardermoen er 28 050 m², og det har gått med ca. 4200 tonn stål i konstruksjonsfasen ifølge Norconsult, som har vært engasjert som byggeteknisk og geoteknisk rådgiver.⁹² Bare stålet uten andre materialer eller anleggsaktiviteter ville for denne hallen ført til et energiforbruk på ca. 745 kWh/m², gitt vår primærenergifaktor for stål.

Energi

Forutsetninger om elektrisitet, drivstoff og varme drøftes i kapittel 5 og vedlegg 1 og 2.⁹³ For elektrisitet med lav- og mellomspenning legger vi skjønnsmessig til 5 prosent i forhold til høyspentstrøm, for å ta høyde for strømtap i overføringsnett og transformatorer samt bygging, drift og vedlikehold av det offentlige overføringsnettet inkludert slitasje på realkapital.⁹⁴ Materialforbruk til kabler som tilhører jernbane-, veg- og flyplassinfrastrukturen og ikke er en del av det offentlige strømmettet, er forsøkt inkludert separat.

⁹² Fra Norconsults nettside: http://www.norconsult.no/arch/_img/9053674.pdf

⁹³ Vi forutsetter at energi- og klimafaktorene for energiforbruket i anleggsfasen tilsvarer de vi bruker for 2020, til tross for at anleggsperioden kan være før 2020. Denne forutsetningen betyr at konsekvensene av energiforbruket i anleggsfasen kan være noe undervurdert.

⁹⁴ På bakgrunn av Gemis 4.42, som i prinsippet skal inkludere alle tap og slitasje på realkapital m.m., finner vi at tillegget i Tyskland i 2000 var på i underkant av 2 prosent. På bakgrunn av tall over tap i overføringsnettet fra Norges vassdrags- og energidirektorat (e-post fra Vegard Willumsen, september 2008) samt SSBs elektrisitetsstatistikk for 2000–2006 finner vi at tapet i distribusjonsnettet ligger på i overkant av 3 prosent. I sistnevnte tall er ikke slitasje på realkapital og drift av overføringsnettet inkludert.

Tabell V3-1: Energi- og klimafaktorer for materialproduksjon og materialtransport

		Materialer ekskl. materialtransport Anleggsfasen			Tillegg for transport Anleggsfasen			Materialer inkl. materialtransport Anleggsfasen ** Driftsfasen (2030-)			
		PE kWh	KG g	Kilder ("Egne": se tekst)	Avstand km	PE kWh/kgkm	KG g/kgkm	PE kWh	KG g	PE kWh	KG g
Aluminium	kg	29,00	8 200	Egne; Gemis 4.42	500	0,00025	0,0625	29,13	8 231	26,21	5 767
Betong u. armering	kg	0,18	78	Egne; Strippel (2001) mfl.	100	0,00035	0,0875	0,22	87	0,20	74
Bly	kg	3,63	916	Gemis 4.42	1000	0,00015	0,0375	3,78	954	3,40	765
Etanol	kg	10,71	773	Gemis 4.42	500	0,00015	0,0375	10,79	792	9,71	634
Eten	kg	1,31	1 368	Gemis 4.42	500	0,00015	0,0375	1,39	1 387	1,25	1 110
Glass	kg	2,82	980	Gemis 4.42	500	0,00015	0,0375	2,89	999	2,60	800
Gummi (EPDM)	kg	8,19	2 245	Gemis 4.42	1000	0,00015	0,0375	8,34	2 282	7,10	1 715
Kalk	kg	1,20	970	Gemis 4.42	250	0,00025	0,0625	1,26	986	1,20	935
Kobber (50 % resirk.)	kg	11,66	3 209	Gemis 4.42	2500	0,00015	0,0375	12,04	3 303	10,83	2 647
Limtre	kg	2,62	352	Gemis 4.42	250	0,00025	0,0625	2,69	367	2,42	295
Mineralull	kg	3,47	868	Gemis 4.42	500	0,00025	0,0625	3,60	899	3,24	721
Plastikk (PVC/PP), granulat	kg	5,90	1 991	Gemis 4.42	500	0,00020	0,0500	6,00	2 016	5,11	1 514
Plastikk (PVC/PP), produkt	kg	8,00	2 254	Gemis 4.42, Polimoon (1999)	1000	0,00020	0,0500	8,20	2 304	6,98	1 733
Plastikkskum (LDPE/XPS)	kg	6,45	2 346	Gemis 4.42, Dow (2000)	1000	0,00020	0,0500	6,65	2 396	5,98	1 919
Propylenglykol	kg	17,68	1 478	Gemis 4.42	1000	0,00020	0,0500	17,88	1 528	15,20	1 151
Pukk, annet	kg	0,02	3	Egne; Strippel (2001)	25	0,00035	0,0875	0,03	5	0,02	4
Pukk, jernbane	kg	0,02	3	Egne; Strippel (2001)	75	0,00015	0,0375	0,03	6	0,03	5
Sand	kg	0,00	0	Egne; Strippel (2001)	25	0,00035	0,0875	0,01	2	0,01	2
Sement	kg	0,80	450	Egne; Norcem	250	0,00025	0,0625	0,86	466	0,78	396
Sprengstoff, TITAN	kg	1,50	1 500	Egne; Orica Mining	500	0,00025	0,0625	1,63	1 531	1,46	1 227
Stål	kg	4,72	1 285	Egne; Gemis 4.42	2500	0,00010	0,0250	4,97	1 348	4,47	1 145
Tegl/mur	kg	0,63	157	Gemis 4.42	500	0,00025	0,0625	0,76	188	0,68	152
Vegsalt	kg	0,55	111	Strippel (2001)	500	0,00025	0,0625	0,68	142	0,61	115
Asfalt, veg *	m ²			Egne; Strippel (2000)				87,96	18 102	149,61	29 887
Asfalt, flyplass *	m ²			Egne; Strippel (2000)				87,96	18 102	297,83	59 905
Bygninger *	m ²			Egne				850,00	255 000	615,00	160 000
El, lav-/mellomspenning	kWh			Se kap. 5				2,10	263	1,79	105
Diesel	kWh			Se kap. 5				1,24	285	1,24	270
Varme	kWh			Se kap. 5				1,20	100	1,10	50

PE = primærenergi. KG = klimagasser. Tall for etanol er ikke komplette

* Tall for anlegg og drift for asfalt og bygninger som gjelder for hhv. byggefasen og hele driftsfasen, i sum 100 år, inkludert bruk av maskiner etc. på anleggsplassen

** For el, diesel og varme gjelder tall for anleggsfasen også for drift i perioden 2020–2029

Vedlegg 4: Tunneler – dimensjoner og materialforbruk

Tunneler inngår som en viktig del av jernbane- og veginfrastruktur og vil ofte være nødvendige for å redusere infrastrukturens inngrepsmessige konsekvenser. Likevel står tunnelene for en betydelig del av energi- og klimabelastningen fra infrastrukturen. Dette vedlegget redegjør mer detaljert for forutsetningene som er brukt i våre beregninger.

På linje med infrastrukturen for øvrig er forutsetningene om materialforbruk til tunnelbygging ment å gjelde for et gjennomsnitt for tunneler på lengre jernbane- og vegstrekninger, i hovedsak mellom landsdelene og følgelig i områder med normalt, solid fjell. Tunneler i tettbygd strøk og i spesielt dårlig fjell vil kreve mer materialer til tetting og sikring. Vi baserer beregningene på at tunnelene sprenges. Bruk av tunnelboremaskin kan bli aktuelt ved bygging av lange tunneler, og da vil andre tall gjelde.

For jernbane opererer vi med tre typer tunneler: Enkeltspor i ett løp, dobbeltspor i ett løp samt servicetunnel. Vi forutsetter at 25 prosent av tunneldistansen kan anlegges uten parallell servicetunnel, mens de resterende 75 prosent krever dette. For dobbeltspor betyr dette at 25 prosent av tunnellengden går i tosporstunnel med ett løp, mens det på 75 prosent av distansen anlegges to parallelle tunnellop med hvert sitt spor, med tverrforbindelser imellom for hver 500. m.⁹⁵

For de tre vegkategoriene som studeres i rapporten, har vi valgt ut to tilhørende tunneltyper, som tilsvarer klasse C og E etter Statens vegvesens terminologi. Data om tunnelklassene er tatt fra Håndbok 021 (Statens vegvesen 2006) og supplerende dokumenter.⁹⁶ For tofeltsveg forutsetter vi en tunnel med 9,5 m bredde, mens det for firefeltsveg forutsettes to slike tunneler, én for hver kjøreretning, uansett tunnellengde. For tofeltsveg forutsetter vi at det på 10 prosent av tunneldistansen er nødvendig med parallell servicetunnel for å tilfredsstille sikkerhetskrav.

Forutsetninger om teoretisk sprengningsprofil samt tunnelbuelengde for de ulike tunneltypene er vist i tabell V4-1. Tunnelbuelengden er her definert som den delen av tunnelens overflatesnitt som (eventuelt) må sikres.

Materialforbruk i anleggsfasen

Tunneldriving

Vi forutsetter at det brukes emulsjonssprengstoff, og at det per kubikkmeter utsprengt fjell trengs 2,0 kg for ettspors- og tofeltstunneler, 1,5 kg for tosporstunneler og 2,7 kg for servicetunneler. Vi anslår at borstålforbruket er proporsjonalt med – og ligger på en tredel av – sprengstofforbruket.

Forinjeksjon

For å tette mot vannlekkasje forutsetter vi at det for dobbeltspor- og tofeltstunneler injiseres i størrelsesorden 300 kg sement for hver tunnelmeter. For de øvrige tunneltypene er forbruket justert proporsjonalt med tunnelbuelengden.

Fjellsikring

Vi forutsetter at enkeltspor- og tofeltstunneler fjellsikres med fem bolter à 10 kg per tunnelmeter, og at forbruket for de øvrige tunneltypene justeres proporsjonalt med tunnelbuelengden. Tunnelene sikres med gjennomsnittlig 10 cm sprøytebetong, som påføres hele tunnelhvelvet ned til ca. 1,5 meter over tunnelbunnen på hver side. For servicetunneler forutsetter vi 8 cm sprøytebetong.

⁹⁵ En alternativ løsning for dobbeltspor er bygging av tosporstunnel i ett løp, med parallell servicetunnel.

⁹⁶ Nye og utfyllende bestemmelser (Statens vegvesens NA-rundskriv 2007/3):
<http://www.vegvesen.no/binary?id=15134>

Vann- og frostsikring

Det fins flere metoder å vann- og frostsikre tunneler på, og behovet varierer også – fra tunneltype til tunneltype og avhengige av lokale forhold. Vi forutsetter at jernbanetunneler vann- og frostsikres i halve tunnellengden. Vegtunneler forutsetter vi at frostsikres i halve tunnellengden, mens det sikres mot vann i hele.

Det pågår en betydelig FoU-virksomhet innen brann-, vann- og frostsikring av vegtunneler, som også kan ha overføringsverdi for jernbanetunneler. Statens vegvesen har som mål å utvikle en sikringsmetode som gjør det unødvendig å bruke brennbart materiale, som PE-skum, som har vært vanlig å bruke. Dette betyr ikke at bruken av PE-skum som vann- og frostsikringsmateriale er blitt forbudt. Materialet kan brukes dersom det dekkes til med sprøytebetong.

De nye tunnelene på Askerbanen vann- og frostsikres med sprøytebetong. Samtidig er bruken av prefabrikkerte betongelementer i hele tunnelbuens lengde et aktuelt alternativ for nye jernbanetunneler. Vi velger å bruke sistnevnte løsning, med betongelementer (bredde 15 cm), isolasjonsskum (5 cm, med tetthet 30 kg/m³) og membran (1,3 kg/m²).

Tunneler for tofeltsveger forutsetter vi at vann- og frostsikres med PE-skum (5 cm) i frostsonen og membran i frostfri sone, begge påført sprøytebetong (8 cm). På firefeltsvegene forutsetter vi samme løsning med PE-skum og membran, men vi bruker gjennomgående veggelementer av betong (høyde 3,5 m og bredde 15 cm) og forutsetter at resten av tunnelbuen sikres med enten sprøytebetong eller betongelementer.

Til drenerør forutsetter vi 0,06 m³ betong per tunnelmeter.

Portaler m.m.

Til diverse (portaler, utstøpinger, tekniske rom m.m.) har vi brukt erfaringstall fra to tunneler: den 2,7 km lange Tanumtunnelen (dobbeltspor) på Askerbanen og den 7,8 km lange Eiksundtunnelen (to- og delvis trefelts) på riksveg 653 i Møre og Romsdal.⁹⁷ For å finne portalforbruket tar vi utgangspunkt i forbruket for to portaler og deler på gjennomsnittlig tunnellengde (2500 m). For Eiksundtunnelen får vi da et materialforbruk for portaler, uttrykt per tunnelmeter, på i underkant av 0,3 m³ betong og 30 kg stål. For Tanumtunnelen bruker vi tall for søndre portal og ganger med to (da den i nord er litt spesiell) og deler på gjennomsnittlig tunnellengde. I tillegg deler vi tallet på 1,3 for å finne tall som passer for tunneler med ett spor eller to kjørefelt i ett tunnelløp, noe som gir et materialforbruk på om lag 0,7 m³ betong og 70 kg stål per tunnelmeter.

For andre ting som utstøpinger, tekniske rom osv. bruker vil de oppgitte mengdene og deler på tunnelenes lengde. Også her deler vi forbruker for Tanumtunnelen på 1,3. For denne tunnelen blir det i underkant av 0,1 m³ betong og 10 kg stål per tunnelmeter. For Eiksundtunnelen får vi 0,3 m³ betong og i underkant av 10 kg stål.

Vi bruker gjennomsnittet for begge tunnelene og runder nedover, for å ta høyde for at portalene erstatter andre sikringsmaterialer. Vi får da et tillegg i stål- og betongforbruk for enkeltspor og tofeltstunneler på 0,6 m³ betong og 60 kg stål per tunnelmeter. Mengdene for de øvrige tunneltypene er justert skjønnsmessig i forhold til dette.

Tilførte materialer i anleggets levetid

Materialenes gjennomsnittlige levetid er vist i tabell V4-1. For materialer med levetid f.eks. 80 år regner vi med at det må tilføres materialmengder i driftsfasen tilsvarende 25 prosent av tilført mengde i byggefasen.

⁹⁷ Tall over medgåtte mengder mottatt av Knut Jørgensen i Jernbaneverket, februar 2008, samt Svein Skeide i Statens vegvesen, juni 2008.

Tabell V4-1: Materialmengder per meter tunnel i anleggsfasen

	Tverrsnitt	Buelengde	Betong: Fjellsikring	Betong: Vann - og frostsikring ekskl. betongelementer	Betong: Vann - og frostsikring, betongelementer	Betong: Portaler m.m.	Isolasjonsskum	Plastikk: Vann - og frostsikring	Stål: Boring	Stål: Fjellsikring, bolter	Stål: Fjellsikring, armering i sprøytebetong	Stål: Vann - og frostsikring ekskl. betongelementer	Stål: Vann - og frostsikring, armering i betongelementer	Stål: Portaler m.m.	Sement: Injisering	Sprengstoff
Enhet	m2	m	m3	m3	m3	m3	m3	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Levetid (år)			40	40	80	100	40	40	100	80	40	40	80	100	80	100
Enkeltspor	75,0	19,0	1,90	0,06	1,43	0,60	0,48	12,4	50	50	48		95	60	300	150
Dobbeltspor	132,5	26,0	2,60	0,06	1,95	0,80	0,65	16,9	66	68	65		130	80	411	199
Tofelts *	70,0	19,0	1,90	1,58		0,60	0,48	15,4	47	50	48	95		60	300	140
Firefelts **	73,5	19,5	1,95	0,56	1,95	0,60	0,49	17,7	49	51	49	31	133	60	308	147
Servicetunnel	30,0	15,0	1,20	0,66		0,45	0,38	0,6	27	39	30	38		45	237	81

* Tunnelklasse C (T9,5)

** Tunnelklasse E (T9,5), per løp

Vedlegg 5: Nyskapt trafikk som følge av et bedre togtilbud

Nyskapt trafikk er trafikk som oppstår som følge av at transporttilbudet endres. Det er vanlig å regne med at det oppstår ny trafikk, i form av flere og/eller lengre reiser, når vegnettet bygges ut, når kollektivtilbudet bedres etc.

Sett i et miljøperspektiv kan nyskapt trafikk i utgangspunktet betraktes som uheldig. Noe av det viktigste som sannsynligvis kan gjøres for å dempe miljøbelastningen fra transport, er å redusere transportbehovet. Nyskapt trafikk trekker i motsatt retning. Siden også kollektivtransport bidrar til miljøulemper, er graden av nyskapt trafikk også av interesse for slike transportformer.

Det er ikke åpenbart hvor mye nyskapt trafikk som oppstår når transporttilbudet forbedres. Det kan være delte meninger om hvor mye folks atferd påvirkes av bedringer i transporttilbudet. Og svaret fra ulike studier avhenger også av hvor grensene er satt for hva som er blitt analysert. Ulike studier antyder at nyskapt trafikk som følge av kraftige forbedringer i togtilbudet gir en nyskapt trafikk som tilsvarer et tillegg på i størrelsesorden 20–100 prosent av den overførte trafikken til tog fra andre transportformer. Et tillegg på 100 prosent vil innebære at jernbanens energi- og klimabelastning uttrykt per transportenhet nesten doubles.⁹⁸

Trafikkstudier av den nye Svealandsbanan vest for Stockholm kan tyde på at det oppstår forholdsvis mye nyskapt trafikk. Kortere reisetider har bl.a. gjort det mer attraktivt å pendle og dra på turer til hovedstaden.⁹⁹ Også høyhastighetsutredningene utført for Jernbaneverket (VWI 2007a, VWI 2007b) viser til dels kraftig nyskapt trafikk. Ifølge disse ligger tillegget for nyskapt trafikk på strekningen Oslo–Trondheim på i overkant av 50 prosent av den overførte trafikken. For ny baneløsninger mellom Østlandet og Sørlandet/Vestlandet ligger tallet på i størrelsesorden 70–90 prosent, mens det for strekningen Oslo–Göteborg er på ca. 85 prosent.

Vi er usikre på om det er riktig å regne med en så stor nyskapt trafikk for høyhastighetsbaner som konkurrerer med fly, i og med at flytilbudet i Norge i dag må sies å være svært bra, og at høyhastighetstog dermed ikke bidrar til noe vesentlig bedre tilbud med tanke på reisetid og pris for folk som reiser fra endepunkt til endepunkt, altså mellom de store byene. Mindre oppsiktsvekkende er det at kortere reisetid på mellomlange avstander (100–200 km) bidrar til å gjøre dagpendling attraktivt, f.eks. fra Halden, Lillehammer og Larvik/Grenland mot Oslo.

Dersom vi ser på notatet *Markeds- og trafikkvurderinger, Persontransport i InterCity-området* (Homleid 2006), kan vi anslå at den nyskapte trafikken på IC-strekningene vil være på i størrelsesorden 30–50 prosent av overført trafikk, dersom banenettet bygges ut.

Beregninger som er gjort i svenske Banverkets utredning om høyhastighetsbaner (Banverket 2008) antyder en langt mer beskjeden nyskap trafikk, på i størrelsesorden 20 prosent av den overførte trafikken. Beregningene viser konsekvensene av nye høyhastighetsbaner Stockholm–Göteborg/Malmö/København.

Til tross for at ulike studier viser en forholdsvis stor nyskapt trafikk når f.eks. jernbanen forbedres, trenger det ikke alltid dreie seg om netto nyskapt trafikk. Ikke alle modellberegningene fanger opp at reiser flyttes fra én korridor til en annen, dersom modellen kun ser på endringer i én korridor. Eksempelvis vil modellberegninger av et nytt og bedre

⁹⁸ Vi skriver *nesten doubles*, ikke *doubles*, fordi det ligger visse stordriftsfordeler i økt trafikk, f.eks. at infrastrukturens miljøbelastning kan fordeles på flere transporterte enheter, og at lengre tog gir noe lavere energiforbruk per transportenhet pga. lavere luftmotstand etc.

⁹⁹ Se bl.a. Harders (2001) og Fröidh (2003).

togtilbud mellom Oslo og Lillehammer kunne resultere i en god del mer pendling mot Oslo. Det snevre beregninger kun for reiser i korridoren Oslo–Lillehammer øst for Mjøsa ikke vil fange opp, er at noen går over til å pendle f.eks. Brumunddal–Oslo framfor Brumunddal–Gjøvik. Den økte togtrafikken mellom Brumunddal og Oslo vil slå ut i form av nyskapt trafikk, mens reduksjonen i bil- eller busskjøring mellom Brumunddal og Gjøvik ikke kommer i fratrekk.

Det er gjort beregninger av trafikkendringer i regionen som brukes i eksemplet over. I Statens vegvesens konseptvalgutredning for transportsystemet i Mjøs-regionen fra 2007 er det beskrevet to beregninger, der den ene gjelder lange reiser (100 km eller mer) i og gjennom regionen (Vingan 2007), mens den andre ser på togtrafikken spesifikt (Holden Hoff 2007). Begge beregningene viser en nyskapt togtrafikk på ca. 35 prosent i forhold til overført trafikk som følge av jernbaneutbygging. Beregningene for lange reiser er gjort med den nasjonale transportmodellen (NMT5) og inkluderer endringer i andre transportkorridorer. Holden Hoffs beregninger belyser kun endringer i den aktuelle korridoren.¹⁰⁰

Også for lengre reiser og i ferie- og fritidstrafikken kan endringer i transporttilbudet på en strekning bidra til endringer av reisemål. Blir det f.eks. høyhastighetsbane Oslo–Stockholm, men ikke Oslo–København, er det ikke utenkelig at flere nordmenn reiser på helgetur til Stockholm framfor på fly- eller ferjetur til København. Det er en mulighet for at denne økte trafikken mellom Oslo og Stockholm i modellberegningene vil havne i kategorien nyskapt trafikk, uten at de da tar hensyn til en tilsvarende redusert trafikk mellom Oslo og København.

For å få et godt bilde av om nyskapt kollektivtrafikk er bra for miljøet eller ikke, er det viktig at alle transportformene blir analysert – i et langsiktig perspektiv. Dersom et bedre kollektivtilbud, som riktignok gir noe nyskapt trafikk, bidrar til at en vegstrekning noen år seinere ikke blir bygd ut, vil det ikke bare kunne bidra ytterligere til å overføre trafikk fra bil til kollektivtransport; det vil også bidra til å hindre nyskapt trafikk som ville oppstått dersom vegen hadde blitt bygd ut. I dette tenkte tilfellet kan det også hende at den nyskapte kollektivtrafikken er en forutsetning for å få god nok lønnsomhet til at tilbudet blir etablert.

Det er heller ikke godt å si om nyskapt kollektivtrafikk bidrar til at folk bruker mindre tid på andre aktiviteter med større miljøbelastning. Det er det vanskelig å finne svar på.

Raskere tog vil utvilsomt bidra til at folk kan reise mer for samme tidsbruk. Som nevnt vil det kunne bidra til at folk pendler over lengre distanser slik at transportmengden øker. Men miljøresultatet avhenger av mange flere faktorer. Hvordan folk bosetter seg, er svært viktig. Dersom kommunene som får et bedre togtilbud, fører en streng arealpolitikk som konsentrerer nye boliger og arbeidsplasser rundt eksisterende sentre og i gangavstand fra jernbanestasjonene, kan det være bedre at folk togpendler fra Hamar til Oslo enn at de alternativt bosetter seg f.eks. i Enebakk og bruker bil til jobb i Oslo, som kan bli resultatet dersom det ikke tilbys attraktive, alternative steder å bosette seg. Dersom et nytt togtilbud bidrar til en arealpolitikk som bygger opp om eksisterende sentre, vil det ikke bare legge til rette for at jernbanen får en høy markedsandel i pendlertrafikken, men det kan også bidra til redusert transportbehov og mer gange og sykling på bekostning av bilbruk på lokale reiser. Vi tør derfor å slå fast at jernbanens miljøeffektivitet, i hvert fall i de potensielle pendlingsområdene rundt storbyene, i stor grad avhenger av arealpolitikken som kommunene fører.

Dersom et bedre togtilbud bidrar til å dempe flyttestrømmen til pressområder, kan det gi positive miljøeffekter på andre måter. En ting er at det vil kunne redusere behovet for å bygge ned verdifulle naturområder. En annen ting er effektene som oppstår dersom

¹⁰⁰ E-post fra Annelene Holden Hoff i Transportøkonomisk institutt, august 2008.

behovet for ny realkapital i form av nye boliger, næringsbygg, skoler etc. blir redusert. Det vil igjen kunne redusere miljøbelastningen fra dette området, uten at det er lett å si noe om utfallet, da det er mange faktorer som påvirker i ulike retninger.

Et siste moment som påvirker nyskapt trafikk, er graden av restriktive virkemidler som brukes for å begrense transportomfanget, som igjen kan påvirke kollektivtakstene. Dersom reisetida reduseres, frekvensen økes og kollektivtakstene holdes lave/moderate, vil den nyskapte trafikken etter alt å dømme bli større enn om redusert reisetid og økt frekvens kombineres med restriktive virkemidler på bil og flytrafikken – noe som gjør at kollektivtakstene ikke trenger å være så lave for å oppnå nødvendig trafikkoverføring.

Vi konkluderer med at det er vanskelig å si noe sikkert om miljøeffekten av nyskapt trafikk. Det er usikkerhet om hva den nyskapte trafikken egentlig er, og det er vanskelig å si noe om miljøeffektene, også i tilfeller der det er tale om reell nyskapt trafikk. På bakgrunn av dette velger vi i våre beregninger å legge inn forholdsvis moderate mengder med reell nyskapt trafikk som følge av bedre togtilbud. Det vi derimot legger inn av nyskapt trafikk, slår ut i form av økt energi- og klimabelastning fra togtilbudet.

Litteraturliste

- Andersson, Evert og Pjotr Lukaszevicz (2006): *Energy consumption and related air pollution for Scandinavian electric passenger trains*. Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm: http://www.kth.se/polopoly_fs/1.179879!/Menu/general/column-content/attachment/Energy_060925_full_pdf.pdf
- Arvesen, Anders og Edgard Hertwich (2007): *Utslipp av klimagasser fra flytrafikk. Rapport nr.: 4/2007*. Program for industriell økologi, NTNU, Trondheim: http://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=ee7a6390-60bb-4949-b69f-e68a7bccf788&groupId=10370
- Aune, Finn Roar, Rolf Golombek og Sverre A.C. Kittilsen (2004): *Does Increased Extraction of Natural Gas Reduce Carbon Emissions?* Environmental & Resource Economics 29: 379–400: <http://www.springerlink.com/content/glt16v438u532p38>
- Aune, Finn Roar, Rolf Golombek og Sverre A.C. Kittilsen (2008): *Liberalizing Western European Energy Markets*: http://www.frisch.uio.no/sammendrag/667_eng.html
- Aune, Finn Roar og Knut Erik Rosendahl (2008): *Kraftpris og CO₂-utslipp fram mot 2020. SSB-notat 2008/1*. Statistisk sentralbyrå: http://www.ssb.no/emner/10/08/10/notat_200801/notat_200801.pdf
- Avinor (2008): *Miljørapport 2007*: http://www.abry.no/media/avinor/Avinor_MP_2007.pdf
- Avinor mfl. (2008): *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart – prosjektrapport*. Avinor, NHO Luftfart, SAS, Norwegian og Widerøe: http://www.avinor.no/tridionimages/2008_02_01%20Sluttrapport_FINAL2_tcm181-46693.pdf
- Banverket (2008): *Svenska höghastighetsbanor*: <http://webstaff.itn.liu.se/~clryd/KURSER/TNK027/Referenslitteratur/Banverkets%20rapport-Svenska%20h%C3%B6ghastighetsbanor.pdf>
- BFE (2002): *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2001*, Bundesamt für Energie, Bern: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/08/22/publ.Document.80155.pdf>
- Bombardier (2001): *Environmental Product Declaration – Regina*. Bombardier Transportation
- Bombardier (2006): *TRAXX 4 Environment Environmental Product Declaration: TRAXX F140 MS*. Bombardier Transportation: http://www.bombardier.com/files/en/supporting_docs/TRAXX_MS_EMAS.pdf
- Bows, Alice, Kevin Anderson og Paul Peeters (u.å.): *Technology, Scenarios And Uncertainties*
- Daljord, Øystein Børnes (2003): *Marginalkostnader i jernbanenettet. Rapport 2/2003*. Stiftelsen Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning: http://www.frisch.uio.no/pdf/rapp03_02old.pdf
- Dow (2000): *Byggvarudeklarasjon, yttre och inre miljö – Termisk isolering*: http://www.isolitt.no/filer/isolitt.no/filer/XPS/DOW%20bvd2_dow.pdf
- Edwards, R., J-F. Larivé og V. Mahieu (2007): *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, WELL-TO-TANK Report Version 2c, March 2007*. Concawe, European Council for Automotive R&D og European Commission Joint Research Centre: http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTT_Report_010307.pdf

- Engebretsen, Øystein (2008): *Regionforstørring og utslipp av klimagasser. TØI-rapport 978/2008*. Transportøkonomisk institutt:
<http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2008/978-2008/978-rapport-nett.pdf>
- Eurostat (2007): *Energy – Yearly statistics 2005*. Eurostat, Luxembourg:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-PC-07-001/EN/KS-PC-07-001-EN.PDF
- Fahlgren, Susanne, Lars Hellsvik, Rikard Nilsson og Lena Wieweg (2006): *Underlag till kapitel 6 Avgifter i Banverkets Järnvägsnätsbeskrivning 2008*. Banverket
- Forres 2020 (2005): *FORRES 2020: Analysis of the renewable energy sources' evolution up to 2020. Final Report*. Mario Ragwitz, Joachim Schleich (Fraunhofer ISI), Claus Huber, Gustav Resch, Thomas Faber (EEG), Monique Voogt, Rogier Coenraads (Ecofys), Hans Cleijne (KEMA) og Peter Bodo (REC): <http://www.eu.fhg.de/forres/FORRES-summary.pdf>
- Foss, Bjørn, Svein Bråthen og Jan Husdal (2007): *Sjøtransport og utslipp til luft. Utviklingstrekk 1997–2007. Rapport 0708*. Møreforskning Molde:
<http://www.mfm.no/db/5/2284.pdf>
- Fröidh, Oskar (2003): *Introduktion av regionala snabbtåg. En studie av Svealandsbanans påverkan av resemarknaden, resbeteende och tillgänglighet*. Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm: http://www.kth.se/polopoly_fs/1.87073!/Menu/general/column-content/attachment/03_040_inlaga_ufoto.pdf
- Gemis 4.42: [Energi- og klimaregnskap for materialer og prosesser.] Öko-Institut:
<http://www.iinas.org/gemis-de.html>
- Harders, Cornelius (2001): *Infrastrukturinvesteringars påverkan på regional tillgänglighet – Svealandsbanan*. TrafikKompetens
- Harmelink, Mirjam, Wina Graus, Kornelis Blok og Monique Voogt (u.å.): *Low carbon electricity systems*. Ecofys Utrecht, Nederland:
http://assets.panda.org/downloads/wwf_powerswitch_scenario_eu.pdf
- Heiberg, Eli (1992): *Indirekte energibruk i persontransport. VF-rapport 20/92*. Vestlandsforskning
- Heidelberg (2008): *EcoTransIT: Ecological Transport Information Tool. Environmental Methodology and Data*. Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg:
http://www.ecotransit.org/download/ecotransit_background_report.pdf
- Hille, John, Carlo Aall og Ingun Grimstad Klepp (2007): *Miljøbelastninger fra norsk fritidsforbruk – en kartlegging, VF-rapport 1/07*: Vestlandsforskning og SIFO:
<http://www.vestforsk.no/filearchive/rapport-1-07-fritidsbruk.pdf>
- Hjelle, Harald M. (2004): *Marginal vegslitasjekostnader. Gir nye angrepsvinkler ny viten som er relevant for norske forhold? Rapport 0402*. Møreforskning Molde:
<http://www.mfm.no/db/5/2010.pdf>
- Holden Hoff, Annelene (2007): "Konseptvalgutredning E 6 Kolomoen–Lillehammer. Beregninger av konsekvenser for jernbanetransport i konsept 1 og 4". Transportøkonomisk institutt. I: *Transportsystemet i Mjøregionen. Vedlegg. Konseptvalgutredning*. Statens vegvesen: <http://www.vegvesen.no/binary?id=6331>
- Holtskog, Sigurd (2001): *Direkte energibruk og utslipp til luft fra transport i Norge. 1994 og 1998*. Statistisk sentralbyrå:
http://www.ssb.no/emner/01/04/10/rapp_200116/rapp_200116.pdf

- Homleid, Tor (2006): *Jernbaneverket: Markeds- og trafikkvurderinger Persontransport i InterCity-området*. Visa Analyse
- Hovi, Inger Beate (2007): *Grunnprognoser for godstransport 2006–2040*. TØI-rapport 907/2007. Transportøkonomisk institutt:
http://www.ntp.dep.no/transportanalyser/pdf/20080117_toi_rapport_907_2007.pdf
- Høyer, Karl G. og Eli Heiberg (1993): *Persontransport – konsekvenser for energi og miljø. Direkte og indirekte energibruk og miljøkonsekvenser ved ulike transportmidler*. Rapport 1/93. Vestlandsforskning
- IPCC (1997): *IPCC Special Report on Aviation and the Global Atmosphere*:
<http://www.grida.no/Climate/ipcc/aviation/index.htm>
- Jernbaneverket (2008): *Miljørapport 2007*:
http://www.jernbaneverket.no/PageFiles/1199/Milj_rapport_2007_1821584a.pdf
- Johansson, Lars B. og Thomas B. Johansson (2003): "Om järnvägens miljöeffekter". I: *Vid vägs ände? Järnvägsforum*: http://mp.se/files/77200-77299/file_77278.pdf
- Jørgensen, Morten W. og Spencer C. Sorenson (1997): *Estimating Emissions from Railway Traffic*. Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark:
<http://www.inrets.fr/ur/lte/cost319/MEETDeliverable17.PDF>
- Lechtenböhmer, Stefan, Vanessa Grimm, Dirk Mitze, Stefan Thomas og Matthias Wissner (2005): *Target 2020: Policies and Measures to reduce Greenhouse gas emissions in the EU. A report on behalf of WWF European Policy Office*. Wuppertal Institute:
http://assets.panda.org/downloads/target_2020_low_res.pdf
- Lian, Jon Inge mfl. (2008): *Bærekraftig og samfunnsnyttig luftfart*. TØI-rapport 921/2007. Transportøkonomisk institutt (TØI) og Cicero – senter for klimaforskning:
<http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2007/921-2007/921-hele%20rapporten%20internett.pdf>
- Luftfartsverket (2007): *Miljørapport 2006 Göteborg–Landvetter flygplats*
- Luftfartsverket (u.å.): *Utslipp til luft – Stockholm Arlanda Airport 2007*:
- Matthes, Felix Chr., Sabine Gores, Verena Graichen, Julia Repenning, Wiebke Zimmer (2006): *The Vision Scenario for the European Union*. Öko-Institut:
<http://www.oeko.de/oekodoc/1113/2011-004-en.pdf>
- Norwegian (2008): *Annual Report 2007*. Norwegian Air Shuttle:
http://www.norwegian.no/Global/english/aboutnorwegian/IR/doc/annualreports/Annual_Report_2007.pdf
- NSB (2006): *Miljøregnskap 2005*:
<http://www.nsb.no/getfile.php/www.nsb.no/nsb.no/Vedlegg/Milj%C3%B8regnskap%202005.doc>
- NSB (2008): *Miljøregnskap 2007*:
http://www.nsb.no/getfile.php/www.nsb.no/nsb.no/Bilder/Om%20NSB/Milj%C3%B8/Milj%C3%B8regnskap_2007_rev_juni_08.pdf
- NOU 2006: 18: *Et klimavennlig Norge*: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/NOU-er/2006/NOU-2006-18.html?id=392348>
- Oslo Lufthavn (2008): *Miljørapport 2007*:
http://www.dinamodigital.no/osl/OSL_Miljo_2007.pdf

- Peeters, P.M., J. Middel og A. Hoolhorst (2005): *Fuel efficiency of commercial aircraft. An overview of historical and future trends*. Peeters Advies / National Aerospace Laboratory NLR: <http://www.transportenvironment.org/publications/fuel-efficiency-commercial-aircraft-overview-historical-and-future-trends>
- Phillips, Ross (2006): *Air Pollution Associated with the Construction of Swedish Railways – Norrbotten Case Study*. Banverket: http://www.trafikverket.se/PageFiles/23300/NBB_Air_Emissions.pdf
- Pingel, Lars (2007): *Vergleich der Energiebilanz von PKW und Flugzeug – Studienarbeit*. Hawk Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst. Göttingen: <http://www.grin.com/e-book/81414/vergleich-der-energiebilanz-von-pkw-und-flugzeug>
- Polimoon (1999): *Environmental Declaration [...] Plastkanne (25 kg) i polyetylen (PEHD/HM)*
- Prosam (2005): *Bygrensetellingen 2004 - bil- og kollektivtelling 19. oktober 2004. Rapport nr. 128*. Prosam: <http://www.prosam.org/index.php?page=report&nr=128>
- Prosam (2008): *Bygrensetellingen 2006 - bil- og kollektivtelling 24. oktober 2006. Rapport nr. 162*. Prosam: <http://www.prosam.org/index.php?page=report&nr=162>
- RENFE 2007: *High Speed Trains and Energy Efficiency*
- Rozycki, Christian von, Hans Köser og Henning Schwartz (2003): *Ecology Profile of the German High-speed Rail – Passenger Transport System, ICE*. Scientificjournals.com, LCA Case Studies: <http://www.springerlink.com/content/6251685627776463/>
- Rønning, Anne, Guro Nereng, Mie Vold, Svein Bjørberg og Niels Lassen (2007): *JOMAR - A Model for Accounting the Environmental Loads from Building Constructions*. Østfoldforskning: <http://www.ostfoldforskning.no/uploads/dokumenter/publikasjoner/44.pdf>
- SACTRA (1994): *Trunk Roads and the generation of traffic*. The Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment. The Department of Transport, London: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.dft.gov.uk/pgr/economics/rdg/nataarchivedocs/trunkroadstraftic.pdf>
- Sandberg Eriksen, Knut, Tom E. Markussen og Konrad Pütz (1999): *Marginale kostnader ved transportvirksomhet. TØI-rapport 464/1999*. Transportøkonomisk institutt: <http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/1999/464-1999/T%D8I-rapport-464-1999.pdf>
- Sandefjord Lufthavn (2008): *Årsrapport 2007*: http://www.torp.no/Files/06J05Y-2008J_SL_arsrapport_2007_web.pdf
- SAS (2008): *SAS-konsernens Årsredovisning & Hållbarhetsredovisning 2007*. SAS Group: 2008: http://www.sasgroup.net/SASGROUP_IR/CMSForeignContent/2007se.pdf
- Schlaupitz, Holger (2007): *Transportstrategi for miljø og næringsliv*. Norges Naturvernforbund: http://naturvernforbundet.no/getfile.php/Dokumenter/Rapporter%20og%20faktaark/2008-2007/Transportstrategi_for_miljo_og_naringsliv.pdf
- Schweimer Georg W. og Marcel Levin (u.å.): *Sachbilanz des Golf A4*: http://194.114.33.155/content/vwcorp/info_center/de/publications/2007/01/Golf_A4_Sachbilanz.bin.html/binarystorageitem/file/golfa4_german.pdf
- Selvig, Eivind (2007a): *Klimagasser og transportsektoren i Norge – Forberedende arbeid til NTP 2010–2019*. Civitas: http://www.ntp.dep.no/2010-2019/pdf/20070327_klimagasser_civitas.pdf

- Selvig, Eivind (2007b): *Klimagassregnskap fra utbyggingsprosjekter – Utvikling av et beregningsverktøy og eksempel på et klimagassregnskap for en del av Fornebu*. Civitas: http://www.statsbygg.no/FilSystem/files/prosjekter/fouprosj/miljo/11273_KlimagassregnskapSluttrappJuni07.pdf
- Selvig, Eivind (2007c): "Vedlegg til konseptvalgutredning E6 Kolomoen–Lillehammer: Virkninger for klimagassutslipp i korridoren". I: *Transportsystemet i Mjøregionen. Vedlegg. Konseptvalgutredning*. Statens vegvesen: <http://www.vegvesen.no/binary?id=6331>
- Skog og landskap (2006): *Emissions and removals of greenhouse gases associated by LULUCF in Norway. Documentation of the 2006 submission to UNFCCC. Commissioned report from Norwegian Forest and Landscape Institute 8/06*. Gro Hulen (red.). Norsk institutt for skog og Landskap: <http://www.skogoglandskap.no/filearchive/nettrapport082006.pdf>
- Statens vegvesen (2005): *Håndbok 018 Vegbygging*: <http://www.vegvesen.no/binary?id=31731>
- Statens vegvesen (2006): *Håndbok 021 Vegtunneler*
- Statens vegvesen (2008a): *Håndbok 017 Veg- og gateutforming, Statens vegvesen, 2008*: <http://www.vegvesen.no/binary?id=14121>
- Statens vegvesen (2008b): *Håndbok 264 Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning*: <http://www.vegvesen.no/binary?id=14206>
- Steinsland, Christian og Anne Madslien (2007): *Følsomhetsberegninger for persontransport basert på grunnprognosene for NTP 2010–2019. TØI-rapport 924/2007*. Transportøkonomisk institutt: http://www.ntp.dep.no/transportanalyser/pdf/20080117_toi_rapport_924_2007.pdf
- Strippel, Håkan (2000): *Life Cycle Inventory of Asphalt Pavements*. IVL Svenska Miljöinstitutet
- Strippel, Håkan (2001): *Life Cycle Assessment of Road. A Pilot Study for Inventory Analysis*. IVL Svenska Miljöinstitutet: <http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1210E.pdf>
- Swärd, Karin (2006): *Environmental Performance of the Rail Transport System in a Life-Cycle Perspective - The Importance of Service Life and Reuse in Sweden*. Linköpings universitet, Norrköping: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:21963/FULLTEXT01>
- Tennøy, Aud (2008): *Veibygging er ikke et klimatiltak*. Samferdsel nr. 6 – 2008. Transportøkonomisk institutt: <http://samferdsel.toi.no/article19901-1036.html?view=1>
- Uppenberg, Stefan, Håkan Strippel og Malin Ribbenhed (2003): *Miljödeklarerad infrastruktur - Metodutveckling för miljöbedömning av infrastruktursystem*. IVL Svenska Miljöinstitutet: <http://www3.ivl.se/rapporter/pdf/B1526.pdf>
- Urbaniak, Darek (2008): *Extracting the truth – Oil industry attempts to undermine the Fuel Quality Directive*: http://www.foeeurope.org/corporates/Extractives/Extractingthetruth_April08.pdf
- Vägverket (2005): *Regeringsuppdrag om hastighetsgränserna på vägarna. Rapport augusti 2005. Publikasjon 2005/100*: http://publikationswebbutik.vv.se/upload/2166/2005_100_hastighetsgranser_pa_vagar_na_regeringsuppdrag.pdf

- Viebahn, Peter mfl. (u.å.): *Comparison of carbon capture and storage with renewable energy technologies regarding structural, economical, and ecological aspect*. Peter Viebahn, Ottmar Edenhofer, Andrea Esken, Manfred Fischedick, Joachim Nitsch, Dietmar Schüwer, Nikolaus Supersberger og Ulrich Zuberbühler:
<http://www.lavutslipp.no/artman/uploads/co2-avoided-ghgt-8.pdf>
- Vingan, Anita (2007): "Konseptvalgutredning E 6 Kolomoen–Lillehammer. Dokumentasjon og resultater fra NTM5b". Transportøkonomisk institutt. I: *Transportsystemet i Mjøsregionen. Vedlegg. Konseptvalgutredning*. Statens vegvesen:
<http://www.vegvesen.no/binary?id=6331>
- Vold, Mie (2006): *Environmental Declaration ISO14025. Spenncon. Veggelement*. Stiftelsen Østfoldforskning: http://www.epd-norge.no/getfile.php/PDF/EPD/Byggevarer/NEPD017spenNO_2.pdf
- Vold, Mie (2007): *Miljødeklarasjon for sement fra Norcem i Brevik*. Stiftelsen Østfoldforskning
- Voldmo, Frode, Edel H. Norang og Tom N. Hamre (2007): *Grunnprognoser for persontransport NTP 2010-2019*. Norconsult og Urbanet Analyse:
http://www.ntp.dep.no/transportanalyser/pdf/20080117_grunprg_person_NC_Urb.pdf
- Volvo (u.å.): *Environmental Product Declaration – Volvo 8500 Low Entry*
- Vågane, Liva (2006): *Bilhold og bilbruk i Norge – Den nasjonale reisevaneundersøkelsen 2005. TØI-rapport 856/2006*. Transportøkonomisk institutt:
<http://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%D8I%20rapporter/2006/856-2006/856-hele%20rapporten%20el.pdf>
- VWI (2007a): *Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway. Report Phase 2, oktober 2007*. VWI mfl. for Jernbaneverket:
http://www.jernbaneverket.no/Documents/Prosjekter/h%c3%b8yhastighet/Report_Phase_2_1720588a.pdf
- VWI (2007b): *Feasibility Study Concerning High-Speed Railway Lines in Norway, Report Phase 3, oktober 2007*. VWI mfl. for Jernbaneverket:
http://www.jernbaneverket.no/Documents/Prosjekter/h%c3%b8yhastighet/Report_Phase_3_1720589a.pdf