



SINTEF

Prosjektrapport

Energikart

Et verktøy for å beregne, visualisere og analysere energibruk i transportsektoren i Norge

Forfattere:

Odd André Hjelkrem, Ola Martin Rennemo, Erlend Dahl, Olav Kåre Malmin, Sahar Babri og Hampus Karlsson

Rapportnummer:

2021:00827 - Åpen

Oppdragsgivere

Statens vegvesen, Nye Veier, Jernbanedirektoratet, Bane NOR, Kystverket, Avinor

Prosjektrapport

Energikart

Et verktøy for å beregne, visualisere og analysere energibruk i transportsektoren i Norge

EMNEORD:

Energimodell
Drivstofforbruk
Utslipp
Visualisering

VERSJON

1.0

DATO

2022-10-11

FORFATTERE

Odd André Hjelkrem, Ola Martin Rennemo, Erlend Dahl, Olav Kåre Malmin, Sahar Babri og Hampus Karlsson

OPPDRAGSGIVERE

Statens vegvesen, Nye Veier, Jernbanedirektoratet, Bane NOR, Kystverket, Avinor

OPPDRAGSGIVERS**REFERANSE**

Oskar Kleven

PROSJEKTNUMMER

102019096

ANTALL SIDER OG**VEDLEGG:**

29+ 1 vedlegg

SAMMENDRAG**Energikart**

Denne rapporten er en dokumentasjon av arbeidet som er gjort i forbindelse med å etablere energikart for Norge, som vist på <http://mobilitet.sintef.no/energikart/>. Energikartet inneholder en grafisk fremstilling av energiforbruk for alle transportformer, i form av både energibehov og energiforbruk i form av nødvendig drivstofforbruk i liter (bensin/diesel), kg (LNG/hydrogen) og kWh (elektrisitet). Den grafiske fremstillingen har tre ulike visningsmodus (varmekart, grid og flate), og alle resultater kan eksporteres i nedlastbart format som også inkluderer estimert CO₂-utslipp. Alle beregninger baseres på teoretiske dynamiske energimodeller kombinert med turdata fra transportmodeller.

UTARBEIDET AV

Odd André Hjelkrem

SIGNATUR

Odd André Hjelkrem

[Odd André Hjelkrem \(Oct 11, 2022 11:13 GMT+2\)](#)

KONTROLLERT AV

Unn Karin Thorenfeldt

SIGNATUR

Unn Karin Thorenfeldt

GODKJENT AV

Erlend Aakre

SIGNATUR

Erlend Aakre

[Erlend Aakre \(Oct 11, 2022 22:10 GMT+2\)](#)

RAPPORTNUMMER

00827

ISBN

978-82-14-
07647-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2022-04-26	Utkast for intern kvalitetssikring
0.2	2022-04-29	Utkast til gjennomlesing av oppdragsgiver
1.0	2022-10-11	Versjon klar for publisering

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
Summary	5
1 Innledning	6
2 Energimodeller for veg, bane, sjø og luft	7
2.1 Et teoretisk rammeverk for energimodeller: universell drivlinjedefinisjon.....	7
2.2 Energiberegning for kjøretøy på hjul	8
2.3 Energiberegning for skip.....	9
2.4 Energiberegning for fly	9
3 Beregningsstruktur	10
3.1 Data fra transportmodeller.....	11
3.2 Definerings av kjøretøy og fartøy.....	12
3.3 Bruk av lenkevis rutebeskrivelse til å produsere segmentliste.....	12
3.3.1 Banenettverk.....	12
3.4 Bruk av fartsmodell og eventuelle sjåførpreferanser til å produsere antatt høyeste inn- og utgangshastighet for hvert segment.....	14
3.5 Implementasjon av energiberegninger.....	14
3.6 Aggregering av energiberegninger	18
3.7 Beskrivelse av energikart på web	19
4 Validering av beregninger	21
4.1 Sammenligning med aggregerte tall.....	21
4.2 Sammenligning av gjennomsnittstall.....	23
4.2.1 Personbiler	24
4.2.2 Tunge kjøretøy	25
4.2.3 Tog.....	26
4.2.4 Skip	27
4.2.5 Fly	28

BILAG/VEDLEGG

Vedlegg A: Teknisk beskrivelse av parametere for kjøretøy og fartøy

Sammendrag

Transportsektoren i Norge gjennomgår en stor omstilling med overgang fra fossile drivstoff til fornybare energibærere, og da spesielt elektrisitet. For å adressere dette spørsmålet er det behov for planleggingsverktøy som sier noe om hvor og når behovet for fylling av fornybart drivstoff vil være i fremtiden. Prosjektet *Energikart for Norge* har blitt gjennomført for å utvikle et slikt planleggingsverktøy, og har som mål å beregne og visualisere fremtidig energibehov, fordelt på ulike energibærere. Oppdragsgiver for prosjektet er NTP-sekretariatet, som vil bruke energikartet og den underliggende metodikken til å gjøre ulike analyser for fremtidsscenarier.

Energikartet baserer seg hovedsakelig på datagrunnlag fra transportmodeller for å estimere fremtidig trafikkomfang. Nasjonale og regionale persontransportmodeller og nasjonal godsmodell kan samlet sett gi en estimert trafikkutvikling for hele transportsektoren i Norge. Det vil si at eventuelle deler av transportsektoren som ikke er dekket av transportmodeller heller ikke er med i energikartet.

Det teoretiske grunnlaget for å beregne energiforbruk er en videreutvikling av energimodellen beskrevet i Hjelkrem m.fl. (2017). Her ble det utviklet en kjøretøybasert energiberegning for vegbaserte kjøretøy, som beregner energiforbruk, drivstofforbruk og utslipp for et gitt kjøretøy på en bestemt rute. Metoden krever en fartsprofil for kjøretøyet på ruten, som i utgangspunktet estimeres fra en fartsmodell. Prinsippet bak energiberegningene er å beregne de fysiske kreftene som virker på kjøretøyet gitt en fartsprofil, og bruke informasjon om drivlinje til å konvertere energibehov til energiforbruk og drivstofforbruk. På grunn av at prinsippet er generaliserbart til alle transportformer, er det mulig å beregne energiforbruk for et vilkårlig fremkomstmiddel.

I dette prosjektet er det definert energimodeller for transportmidlene tog, skip og fly, slik at energikartet kan beregne energiforbruk for majoriteten av energikrevende transportformer. For å kunne anvende energimodellene kreves det input i form av transportnettverk, kjøretøypark, fartsmodeller og trafikkmengde. I prosjektet er det utviklet metodikk for alle nødvendige komponenter, i tillegg til en plattform for å sette sammen beregningene og visualisere resultatene. En midlertidig versjon er tilgjengelig på <http://mobilitet.sintef.no/energikart/>, samt at metodikken er implementert i en applikasjon i Regionale Transportmodeller (RTM) for å beregne energiforbruk fra de transportformer som modelleres der.

Hovedformålet til energikartet er å kunne gi en oversikt over energiforbruket- og behovet for hele transportsektoren i Norge, både i dag og for prognosesituasjoner. Resultatene er tilgjengelig både i tekstformat og som en kartvisualisering.

Summary

The transport sector in Norway is undergoing a major transformation with a transition from fossil fuels to renewable energy carriers, and in particular electricity. To address this question, there is a need for planning tools that say something about where and when the need for refueling will be in the future. The Energy Map for Norway project has been implemented to develop such a planning tool, and aims to calculate and visualize future energy needs, distributed among different energy carriers. The client for the project is the NTP secretariat, which will use the energy map to make various analyzes for future scenarios.

The energy map is mainly based on data from transport models to estimate future traffic volume. National and regional passenger transport models and the national freight model can together provide an estimated traffic development for the entire transport sector in Norway. This means that any parts of the transport sector that are not covered by transport models are also not included in the energy map.

The theoretical basis for calculating energy consumption is a further development of the energy model described in Hjelkrem et al. (2017). Here, a vehicle-based energy calculation was developed for road-based vehicles, which calculates energy consumption, fuel consumption and emissions for a given vehicle on a specific route. The method requires a speed profile for the vehicle on the route, which is basically estimated from a speed model. The principle behind the energy calculations is to calculate the physical forces acting on the vehicle given a speed profile, and use driveline information to convert energy needs into energy consumption and fuel consumption. Due to the fact that the principle is generalizable to all modes of transport, it is possible to calculate energy consumption for any means of transport.

In this project, energy models have been defined for the means of transport trains, ships and aircraft, so that the energy map can calculate energy consumption for the majority of energy-intensive modes of transport. In order to be able to use the energy models, input is required in the form of transport networks, vehicle fleets, speed models and traffic volume. The project has developed a methodology for all necessary components, in addition to a platform for compiling the calculations and visualizing the results. A temporary version is available at <http://mobilitet.sintef.no/energikart/>, and the methodology is implemented in an application in Regional Transport Models (RTM) to calculate energy consumption from the modes of transport modeled there.

The main purpose of the energy map is to be able to provide an overview of energy consumption and the need for the entire transport sector in Norway, both today and for forecast situations. The results are available both in text format and as a map visualization.

1 Innledning

Transportsektoren i Norge gjennomgår en stor omstilling med overgang fra fossile drivstoff til fornybare energibærere, og da spesielt elektrisitet. Den mest markante endringen ser man i personbilsegmentet, hvor andelen batterielektriske biler har gått fra 12,5 % av nybilsalget i 2014 til over 50 % i 2020. Samtidig øker utvalget av elektriske biler, også for varebilsegmentet. I 2019 utgjør batterielektriske varebiler ca 5 % av nybilsalget, men dette er forventet å øke, bl.a. på grunn av en ny støtteordning fra Enova ved kjøp av ny elektrisk varebil. Innen kollektivtransporten drives stadig flere busslinjer av batterielektriske busser. Tyngre lastebiler drives fortsatt i stor grad av diesel, med noen unntak i form av testprosjekter for batteri- eller hydrogendrevne distribusjonsbiler. Innen båtsegmentet er det høyt fokus på elektrifisering av ferger og hurtigbåter, samt utbygging av landstrøm for drift av båter som ligger til kai. Samtidig er det utprøving av batterielektriske fly for bruk på kortere flygninger, det vurderes fornybare energibærere på de deler av jernbanen som ikke er elektrifisert, og det er økende grad av elektrifisering innen mikromobilitetssegmentet, med eksempler som elektriske sykler og sparkesykler.

Overgangen til fornybare energikilder er forventet å øke i årene som kommer. Dette er spesielt tydelig i de politiske mål som er satt for transportsektoren. I nasjonal transportplan er dette konkretisert for hvert segment. Innen 2025 er det lagt til grunn alle nye personbiler og varebiler skal være nullutslippskjøretøy, nye busser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass. For 2030 er det tilsvarende mål om at alle nye tyngre varebiler er nullutslippskjøretøy, 75 % av nye langdistansebusser og 50 % av nye lastebiler, og at varedistribusjonen i de største bysentra skal være tilnærmet nullutslipp. For luftfart er målet at 30 % av drivstoffet skal være bærekraftig biodrivstoff innen 2030. For jernbane legges det til grunn at alle fremtidige offentlige anskaffelser skal være nullutslippsløsninger. Samtidig vil det bli utviklet en handlingsplan for fossilfrie byggeplasser/anleggsplasser relatert til transportsektoren.

Omstillingen til mer bruk av elektrisitet vil også påvirke tilbudssiden, som i stor grad omfatter kraftbransjen og dens evne til å levere elektrisitet der det er behov for det, og når det er behov for det. Tidligere utredninger viser til at det samlede kraftbehovet fra samferdselssektoren vil øke (Spilde, 2016), men at fremtidens kraftproduksjon vil være i stand til å levere nok energi i form av strøm til å dekke dette behovet. Allikevel kan det oppstå problem når elektrisiteten skal fordeles fra kraftnettet til kjøretøy, og da spesielt med tanke på samtidighet. Dagens kraftnett er ikke nødvendigvis dimensjonert for en så potensielt stor og tilfeldig endring i tidspunkt og lokasjon for leveranse av elektrisitet som en fremtid med fossilfri transportsektor innebærer.

Det finnes et stort antall og mangfold av metoder og modeller for å beskrive både energiforbruk, drivstofforbruk og utslipp. De kan klassifiseres etter flere aspekter, som for eksempel detaljnivå, transparens og bruksområde. Hvis man klassifiserer etter transparens, slik det er definert av DMCS (2019), deler man modeller inn i white-box, grey-box og black-box. Her er en white-box definert som en modell utelukkende basert på teoretiske sammenhenger, mens en black-box er tilsvarende kun basert på eksperimentelle målinger. En grey-box er en mellomting av de to, og inkluderer både teori og målinger. Detaljnivå henger delvis sammen med bruksområde, da det er ofte hensiktsmessig å redusere detaljnivået ved overordnede beregninger. Dette kan være på grunn av for eksempel beregningstid og usikkerheter i inndata ved store beregninger. Energikartet er et eksempel på en grey-box, og har basert seg på metodikken for å beregne energiforbruk som er beskrevet i Hjelkrem m.fl. (2017). Her er det beskrevet en versjon av såkalt longitudinal dynamikk, som er en matematisk beskrivelse av energiforbruk på grunn av akselerasjon, luftmotstand, rullemotstand og gravitasjon. Videre i dokumentet er først gitt en beskrivelse av grunnlaget for energikartet i form av energimodeller (kapittel 2) og beregningsstruktur (kapittel 3). Til slutt er det presentert resultater for validering av energikartet i kapittel 4.

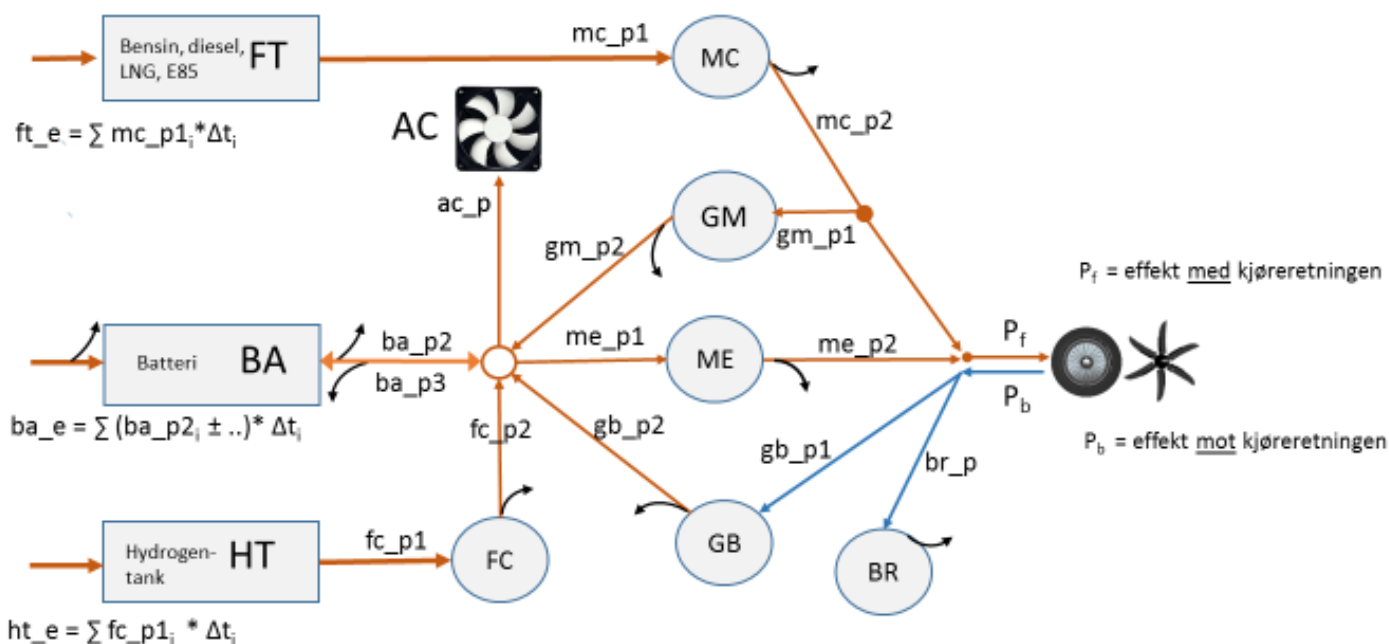
2 Energimodeller for veg, bane, sjø og luft

En modell av et kjøretøy kan i prinsippet være en svart boks hvor det er en fast sammenheng mellom input (kjøretøyegetegenskaper) og output (energiforbruk), men at sammenhengen ikke detaljert tilsvarer de prosessene som faktisk foregår i kjøretøyet. Prinsippet som ligger til grunn for energimodellen er at man benytter seg av henholdsvis kjente sammenhenger og svarte bokser der det er hensiktsmessig, for å oppnå en balanse mellom fleksibilitet, beregningstid og validitet. Hovedprinsippet er allikevel at energiberegningene baserer seg på matematiske representasjoner av de fysiske krefter som virker på et transportmiddel, slik at det er mulig å beregne hvor mye arbeid som må tilføres via fremdriftskomponenten. I det videre er det presentert et generelt teoretisk rammeverk for energimodeller, samt en spesifikk energimodell for kjøretøy på veg og bane, fartøy, og luftfartøy.

2.1 Et teoretisk rammeverk for energimodeller: universell drivlinjedefinisjon

Kjernen i energiberegningene er en fysisk modell av drivlinjen i et transportmiddel, hvor et transportmiddel i denne konteksten er et fremkomstmiddel med en energibærer, motor og et middel (f.eks. hjul eller propell) for overføring av krefter mellom fremkomstmiddelet og omgivelsene. Denne generelle definisjonen muliggjør en modellering av hvilket som helst transportmiddel, både med og uten sjåfør.

Det er drivlinjen som skal levere den fremdrifts- og bremskraft som kan avledes fra rutedefinisjon, fartsmodell, vekt, form og fysiske lover. Som en innledning til datamodellen, følger her en drivlinjedefinisjon som dekker alle antatte drivlinjekonfigurasjoner for bil, tog, båt og fly:



Figur 1: Universell drivlinjedefinisjon for transportmiddel, som viser samspillet mellom energibærere, motor og fremdriftsmiddel.

I figuren over er følgende komponenter inkludert:

- Drivstofftank (FT): Tank for flytende drivstoff. Beskriver kapasitet på tank i liter, samt type drivstoff (bensin, diesel, LNG, E85)
- Batteri (BA): Lagring av elektrisk strøm. Beskriver brutto kapasitet på batteri i Wh.
- Hydrogentank (HT): Lagring av hydrogen. Beskriver kapasitet i kg.
- Støttesystem (AC): Beskriver effektbehov fra støttesystem i W, fra f.eks. ventilasjon, oppvarming, lys o.l.
- Brenselscelle (FC): Beskriver virkningsgraden og maksimal effekt til en brenselscelle.
- Forbrenningsmotor (MC): Beskriver virkningsgraden og maksimal effekt til en forbrenningsmotor.
- Dynamo/generator (GM): Beskriver virkningsgraden til en dynamo som leverer strøm til støttesystemer.
- Elektrisk motor (EM): Beskriver virkningsgraden og maksimal effekt til en elektrisk motor.
- Regenerative bremsere (GB): Beskriver virkningsgraden til en dynamo som leverer strøm til BA, gitt energioverskudd.
- Bremsedium (BR): Beskriver effekten til et bremsedium, gitt energioverskudd minus eventuelt bidrag til GB.
- Fremdriftsmedium (symbol for hjul og propell): Beskriver effektbehov fra fremdriftsmedium langs en gitt rute.

Alle virkningsgrader som inngår i komponentene beskrevet over, kan enten være konstante eller som en funksjon av en variabel, for eksempel benyttet motoreffekt. Hver linje i figuren representerer en fysisk sammenheng som har en matematisk beskrivelse. Ved å ta utgangspunkt i hvor mye effekt som kreves, enten med eller mot kjøreretningen, kan man regne seg bakover til energikilde for å beregne energiforbruk langs en rute. Denne relativt abstrakte måten å definere en drivlinje på gjør at den i prinsippet kan tilpasses til å beskrive alle mulige kombinasjoner av energibærere og fremkomstmiddel.

2.2 Energiberegning for kjøretøy på hjul

Totalt arbeid utført på et karosseri langs en segmentert rute kan uttrykkes som $W_f = \sum_i (F_i \cdot \Delta L_i)$, hvor F kan uttrykkes som:

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha + m_e \cdot a + m \cdot g \cdot C_r \cdot \cos \alpha + \rho \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D$$

, hvor:

v er gjennomsnittsfart på segmentet,

m er masse,

m_e er ekvivalent masse, som kompenserer for effekten av rotasjonstregghet under akselerasjon,

g er tyngdeakselerasjon (9,81 m/s²),

α er helning,

C_r er koeffisient for rullemotstand,

ρ er lufttetthet (1,25 kg/m³ ved 7°C på havnivå),

A er kjøretøyets frontareal,

C_D er koeffisient for luftmotstand,

a er akselerasjon.

I tillegg kommer energi til faste laster uttrykt som $AC \cdot \Delta t$, som vist i drivlinjebeskrivelsen. Energiforbruket beregnes ved å bruke drivlinjedefinisjonen og regne bakover fra drivhjul til tank, med utgangspunkt i P_f og P_b , beregnet som $F \cdot v$, og drivlinjens komponenter. Formelen over baserer seg på at kjøreruten er delt inn i

segmenter av passende lengde slik at man får relativt uniforme verdier på parametere på hvert segment. I tillegg er den følsom for at det benyttes riktig kjørefart. I energimodulen er fart et resultat av fartsmodeller som estimerer en fartsprofil for kjøreruten. For mer detaljer rundt beregningsmetodikken henvises det til Hjelkrem m.fl. (2017).

Energimodellen som er implementert for tog har samme formulering som vegbaserte kjøretøy. I forbindelse med bruk av energikartet i korridorberegninger for NTP ble det gjort et arbeid med å estimere parametersett for den norske togparken. Ved å sammenligne detaljerte forbruksmålinger på banestrekninger i Norge ble det gjort en optimalisering med forbruk per togtype per banestrekning som måltall. På grunn av at forbruksmålingene er gradert som konkurransesensitiv informasjon har det ikke vært mulig å gjengi detaljer fra dette arbeidet i rapporten, men resultatet kan finnes i kjøretøyparken i Vedlegg A.

2.3 Energiberegning for skip

Det er flere åpenbare forskjeller mellom kjøretøy på hjul og fartøy i vann, men også noen likheter. Både kjøretøy og fartøy opplever en luftmotstand for de delene som er i kontakt med luft, og dette kan uttrykkes på samme måte i energiberegninger. Men, der kontakten mellom underlag og kjøretøy skjer ved friksjon på hjul, vil tilsvarende være i form av kontakt mellom vann og skrog for fartøy. I stedet for at det er hjul som må drives fremover av en motor, er det for fartøy en propell som står for fremdriften. Dette fører til følgende formulering av krefter utført på et skrog langs en segmentert rute:

$$F = m_e \cdot a + \rho_w \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A_w \cdot C_w + \rho_a \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A_a \cdot C_a$$

Her står w for vann og a for luft. Mange andre faktorene inngår også, men regnes som konstanter innenfor bruksområdet: Vannets tetthet og viskositet, faktor for beregning av våt overflate, friksjonsmotstandstall, tabeller for restmotstandstall.

2.4 Energiberegning for fly

Formelverket for fly har flere likheter med de foregående, men skiller seg ut ved at det er fokus på krefter for luftmotstand som inngår i løft:

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot a + D_p + D_i$$

, hvor D_p er parasittisk drag, dvs. luftmotstand uavhengig av løft, og D_i er indusert drag som bieffekt av nødvendig løft. Sistnevnte er mer komplisert å beskrive, og er avhengig av vingeprofil, flyhastighet og vekt. Formelen for parasittisk drag tilsvarer luftmotstandskomponenten for andre typer kjøretøy:

$$D_p = \rho_a \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A_a \cdot C_a$$

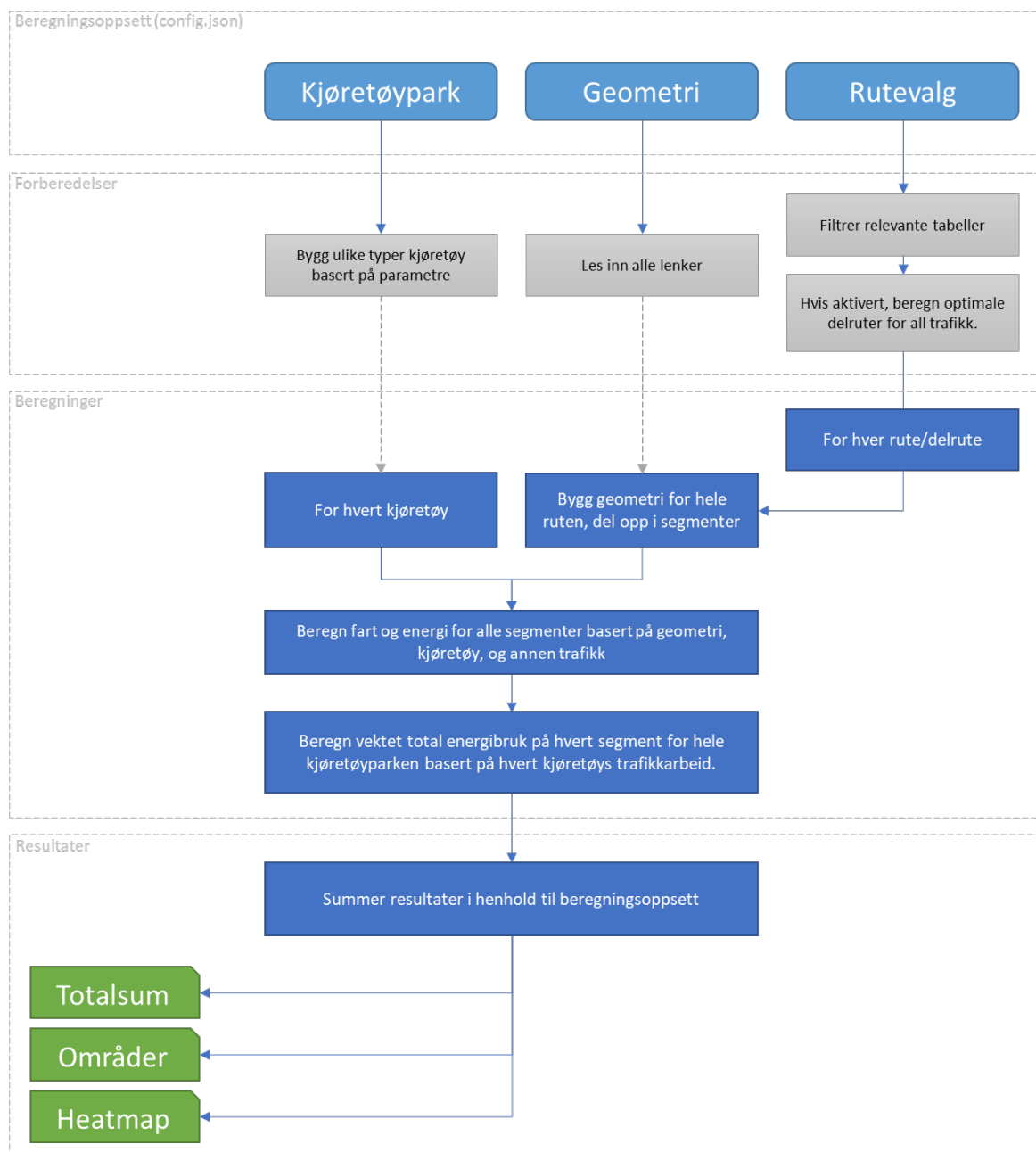
, mens indusert drag har følgende formulering:

$$D_i = \rho_a \cdot 0,5 \cdot v^2 \cdot A_w \cdot \frac{C_L^2 \cdot A_w}{\pi \cdot S^2 \cdot e}$$

Her er C_L løftkoeffisient, A_w vingereale, S er vingespenn og e er en belastningsavhengig faktor. For propellfly har vi en motorvirkningsgrad for konvertering av drivstoff til akselarbeid, og en propellvirkningsgrad for konvertering av akselarbeid til skyvekraft, likt med skip. Dette skillet er en forutsetning for å kunne definere alternative drivlinjer. For motorer hvor hele eller deler av skyvkraften kommer fra eksosgassen, blir det vanskelig å skille mellom disse to, og alt inkluderes i motorvirkningsgraden.

3 Beregningsstruktur

En viktig del av arbeidet med energikartet har vært å koble sammen data, modeller og resultater til et helhetlig kart. Grunnprinsippet har vært å benytte energimodellene som er presentert i forrige kapittel for alle turer som er estimert i transportmodeller. Fordi det ikke finnes én transportmodell som dekker all transport for hele landet, har det blitt utviklet metodikk for å kombinere regionale og nasjonale transportmodeller, inklusiv godstransportmodell. I dette kapittelet er det beskrevet en dokumentasjon av beregningsflyten for å vise hvilke elementer som er med i beregningen og i hvilken rekkefølge beregningene er gjort. Figuren under viser en overordnet skisse av beregningsflyten.



Figur 2: Flytskjema for beregninger i energikartet.

3.1 Data fra transportmodeller

Data fra transportmodellene består av nettverk og utlagt trafikk for hver region eller hvert område for hvert år som beregnes. Nettverket er eksportert som en GDB-database, som inneholder noder og lenker for hele regionen, inkludert detaljert veggeometri for lenkene, og felter som beskriver hvilke noder og lenker som er knyttet sammen.

Trafikken er eksportert som en PATH-fil, som inneholder noder, lenker og rutedefinisjoner. En rutedefinisjon består av en sekvens av noder, og et desimaltall som angir trafikkmengden som kjørte denne ruten. For hver slik rute må det bygges opp en fullstendig geometribeskrivelse ved å hente inn lenkene mellom hvert nodepar i rutedefinisjonen.

For hvert år som beregnes benyttes det totalt 15 samlinger inndata fra transportmodellene. Et eksempel kan sees i Tabell 1, som viser alle inndata fra transportmodeller som er benyttet for å beregne år 2018 i energikartet. Hver inndatagruppe er definert med en beregningstype, som forteller beregningsprogrammet hvordan inndata skal leses, og hva som skal beregnes.

De to første radene er godstrafikk på sjø og land. De er av typen "Goods", som betyr at de må ha et vegnett definert som GDB eller SHP, pluss en rutedefinisjon i PATH-format. Beregningstype "Goods" betyr også at de leser en dynamisk lastvekt fra PATH-filene, som blir tatt med i kjøretøydefinisjonen for hver individuell rute. Dette betyr at godsberegningene ikke kan benytte seg av delruteoptimaliseringen, og derfor kjører individuelle fulle ruteberegninger. De neste seks radene er kollektivtrafikk. De er av typen "PublicTransport", som betyr at de leser spesielle kollektivtabeller i GDB-en, som beskriver kollektivruter. De benytter dermed ikke PATH-filer, men heller kollektivtabellene og frekvensene definert der til å beregne trafikkmengde per døgn. Den siste kollektivraden benytter en helt egen beregningstype som er beskrevet i detalj i kapittel 3.3.1. De siste seks radene er den lette biltrafikken for alle regioner, pluss lange reiser fra NTM. De benytter seg av vegnett fra GDB og rutedefinisjoner fra PATH, og bruker delruteoptimalisering for økt beregningsfart.

Tabell 1: Eksempel på inndata for en full årsberegning (2018).

	Beregningstype	Kjøretøypark	Ruter	Kjøretøykilometer
Gods-Skip	Goods	Godsskip	9 122	324 386 km
Gods-Veg-Tog	Goods	Godstog, tungbiler	230 771	1 611 666 km
Kollektiv-Nord	PublicTransport	Kollektiv	2 901	614 911 km
Kollektiv-Midt	PublicTransport	Kollektiv	2 209	469 047 km
Kollektiv-Ost	PublicTransport	Kollektiv	6 559	1 259 681 km
Kollektiv-Sor	PublicTransport	Kollektiv	7 846	1 446 023 km
Kollektiv-Vest	PublicTransport	Kollektiv	4 75	890 220 km
Kollektiv-NTM	PublicTransport	Kollektiv	1 032	965 035 km
Kollektiv-Tog	Custom	Kollektiv-tog	133	98 918 km
Nord	SubRoute	Personbiler	547 183	5 265 987 km
Midt	SubRoute	Personbiler	2 113 276	9 685 320 km
Ost	SubRoute	Personbiler	16 467 792	29 733 850 km
Sor	SubRoute	Personbiler	8 769 278	20 121 471 km
Vest	SubRoute	Personbiler	2 976 385	16 204 116 km
NTM	SubRoute	Personbiler	5 432 528	21 217 522 km
Totalt			36 571 632	109 908 153 km

Energikartberegninger er basert på et svært fleksibelt konfigurasjonssystem, slik at det ikke er nødvendig med alle inndatafilene som vist over. Enhver region eller område som oppfyller kravene for den relevante beregningstypen (for eksempel GDB med vegnett og PATH med rutedefinisjoner for beregningstypene FullRoute eller SubRoute for vegtrafikk) kan beregnes for seg selv eller i kombinasjon med andre inndata.

3.2 Definerings av kjøretøy og fartøy.

De ulike kjøretøyene benyttet i energikartberegningene er definert i kjøretøyparker. Hver kjøretøypark angir beregningsparametere for alle relevante kjøretøy, samt kjøretøykilometer per år, slik at beregningsresultatene kan skaleres i henhold til kjøretøyparken. En full beskrivelse av kjøretøyparken er vist i Vedlegg A. De viktigste parameterne inkluderer kjøretøyklasse, drivstofftype, ulike verdier som er viktige for å beregne kjørefart og energibruk, samt hvilken modell som skal brukes til å beregne kjørefart, og i noen tilfeller ekstraparametere som for eksempel felter for kobling mot godstabeller for godskjøretøyene.

3.3 Bruk av lenkevis rutebeskrivelse til å produsere segmentliste

Utgangspunktet for arbeidet med energikartet har vært at transportnettverket som skal benyttes i energiberegningene skal hentes fra transportmodeller. Det har i de siste årene blitt jobbet mye med å etablere et felles vegnett for alle transportmodeller, med geometri på samme format. Dette har medført at den geometriske representasjonen av dagens vegnett foreligger på et velkjent format av god kvalitet. Det har derimot vært noen utfordringer med å etablere transportnettverk for energikartet. Den første utfordringen er knyttet til endringer i vegnettet som blir gjort i transportmodeller, men som ikke ligger inne i NVDB. Dette er i all hovedsak planlagte vegtiltak. Konsekvensen av dette er at veglinjene blir på et overordnet nivå uten detaljert geometri og høydeverdier.

Nettverk for flyruter og skipsleier blir importert fra underliggende transportmodeller og benyttes direkte i beregningene.

3.3.1 Banenettverk

Nettverket for tog som ble levert av Jernbaneverket har måttet tilpasses beregningsmetodikken som er brukt til Energikartet. Energikartet trenger en node for hvert stopp og en lenke mellom, levert nettverk bestod av lenker med flere noder samt at sidespor ikke alltid var definert som en egen lenke.

En shapefil over jernbanestrekningene og stasjoner er levert fra Bane NOR fra kartkatalog hos GeoNorge. Dette er et komplett jernbanenett, men flere viktige strekninger mangler høydeverdier, som for eksempel store deler av Dovrebanen. Høydeprofil er en viktig input til energiberegninger og derfor er manglende høydeverdier kodet på ved å gjøre oppslag mot Høydekart.no, som tilbyr en API tjeneste, for hvert punkt i alle polylinjer som mangler høydeverdier.

I shapefilen som beskriver stasjoner på jernbanenettet er stasjonsnavn oppgitt. I vår versjon av TIOS¹ er imidlertid ikke stasjonsnavn et eget attributt, men stasjonskode benyttes som beskrivelse. Eksempel på stasjonsnavn er Oslo Stasjon eller Trondheim Stasjon, men henholdsvis stasjonskode OSL og TND. Fra Bane NOR fikk vi oversendt en CSV fil med disse koblingene slik at stasjonskodene kunne kodes på shapefil over stasjoner. Det viser seg i denne jobben at noen få stasjonskoder brukes for to ulike stasjoner, men i slike tilfeller var det åpenbart hvilke stasjoner som burde filtreres ut av grunnlaget (f.eks. nedlagt stasjon). Å gi disse en ny unik stasjonskode vil hjelpe lite da vi som sagt gjøre opplag i TIOS mot stasjonskoder.

¹ I bruk i verktøyet utviklet i PRESIS-prosjektet: <https://presis.sintef.no/presis/>

For å muliggjøre energiberegninger på jernbanenettet er det flere pre-prosesseringssteg som er nødvendig å gjennomføre på jernbanenettet.

1. For det første må stasjonene projiseres ned på jernbanenettet. Det vil si, plasseringen til stasjonene i stasjons-shapet må justeres slik at de ligger nøyaktig på en polylinje i bane-shapet.
2. Videre må en ny oppdeling av bane-shapet gjennomføres. I det opprinnelige bane-shapet er det liten korrelasjon mellom oppdelingen av bane-shapet og plasseringen til stasjonene. En algoritme er utviklet for å plassere ekstra "virtuelle" stasjoner i start og slutt punkt av lenker i bane-shapet der det ikke allerede finnes stasjoner fra stasjons-shapet. Videre er en oppdeling foretatt slik at hver lenke i bane-shapet starter og slutter i en stasjon (opprinnelig fra bane-shape eller "virtuelle").
3. Denne oppdelingen justeres så noe ekstra ved å sette inn enda flere ekstra "virtuelle" stasjoner der hvor to baner krysser hverandre.
4. Ved å gjennomføre prosesseringsstegene overfor vil nå jernbanenettet være mottagelig for ruting, det vil si, at vi ved hjelp av GIS-funksjoner pgRouting² kan finne korteste rute mellom to stasjoner. Dette er nødvendig for å kunne beskrive togruter fra TIOS (se neste kapittel), på den formen som er nødvendig for energiberegninger.

SINTEF har en egen database som oppdateres iht. TIOS. Ved å velge alle tog som er kjørt, f.eks. siste måned har vi et godt grunnlag for å si hvilken togtrafikk som beveger seg på jernbanen. For alle togturer registrert i TIOS tar vi ut i hvilken rekkefølge togene passerer registrerte stasjoner. For to påfølgende stasjoner kjører vi pgRouting slik at evt. stasjoner som ligger mellom (både virkelige og våre virtuelle) kan legges inn i rutebeskrivelse. Denne fullstendige "fra node til nærmeste node på ruten"-beskrivelsen er helt nødvendig for å kunne gjennomføre energiberegninger. Fra TIOS får vi også ut kjøretid mellom stasjonene som er opprinnelig registrert i TIOS, som kan sees i sammenheng med utkjørte distanse for å støtte opp hastigheten til togene.

² <https://pgrouting.org/>

3.4 Bruk av fartsmodell og eventuelle sjåførpreferanser til å produsere antatt høyeste inn- og utgangshastighet for hvert segment.

En viktig komponent for å få realistisk energiberegning er metodikk for å estimere kjørefart. Flere av motstandskomponentene i energiberegningen er direkte avhengig av fartsendringer. Derfor har dette vært i stort fokus i arbeidet med energimodellen. Allikevel er det store forskjeller i kravet til detaljer i fartsmodell mellom de ulike transportmodi. De mest krevende modi å modellere er der hvor antall forklaringsvariabler er størst, samt der hvor det er stor variasjon i observert fart. Spesielt gjelder dette personbiler, hvor momenter som stigning, annen trafikk og personlige preferanser kan påvirke utfallet. For to ulike sjåfører kan man observere to vidt forskjellige fartsprofiler på samme strekning og med samme type kjøretøy. For en detaljert beskrivelse av fartsmodeller for personbiler og tunge kjøretøy henvises det til Hjelkrem m.fl (2017).

I andre enden av skalaen har man mer rutebasert fartsatferd, hvor fartsprofilen er mer forutsigbar. Dette kan være for eksempel fly, tog eller båter, som i større grad vil ha en fartsprofil med en akselerasjonsfase, en fase med relativt konstant fart, og en retardsjonsfase. For fly og skip er fartsmodellen kun avhengig av marsjfarten og akselerasjon. For tog er fartsmodellen nærmere fartsmodell for vegbaserte kjøretøy, hvor fartsgrense og banegeometri tas med i fartsberegningen.

Generelt for alle modi er at det beregnes fart på hvert segment i en segmentliste. I tilfelle utgangsfarten på et segment blir større enn ønsket utgangsfart (fordi nødvendig bremskraft ikke er tilgjengelig), må beregningen kjøres segment for segment i baklengs rekkefølge, med ønsket utgangshastighet og tilgjengelig bremskraft som utgangspunkt. Det gjøres inntil korrigeret inngangsfart "tar igjen" et foregående segments inngangsfart. Deretter kan beregningen fortsette.

3.5 Implementasjon av energiberegninger

Energiberegningene som ligger til grunn for energikartet blir gjort ved hjelp av den tidligere utviklede energimodulen, som i løpet av energikartprosjektet ble utvidet til å støtte energiberegninger for tog, skip og fly. Energimodulen er bygd inn i et større beregningsprogram (stort sett kalt "Energikartet"), som tar seg av lesing av inndata, forberedelser av ruter og kjøretøy til energimodulen, og deretter aggregering og lagring av resultater. Beregningsprogrammet er et kommandolinjeprogram som startes med en JSON-konfigurasjonsfil som eneste inndata. Denne konfigurasjonsfilen inneholder én eller flere "input-blokker". Hver rad i Tabell 1 representerer én slik input-blokk. Programmet kan ved å sette opp ulike input-blokker konfigureres til å regne på små delområder, spesielle trafikktyper, eller (som i dette prosjektet) hele Norge.

En input-blokk i konfigurasjonsfilen må angi beregningsmetode ("CalculationMethod"), og de relevante feltene for den valgte beregningsmetoden. For lett vegtrafikk kan det for eksempel se slik ut:

```
{
  "name": "Nord",
  "calculationMethod": "SubRoute",
  "geometry": "RTM\\2018\\Nord\\CUBE_Base_basis2018_RTM.GDB",
  "pth": "2018\\rutevalg_Basis_Nord_2018.pth",
  "pthTables": [1,2,3],
  "vehiclePark": "Nb2019",
  "vehicleClasses": ["PrivateVehicle"]
}
```


Her angis det at beregningen skal være en ruteberegning, nærmere bestemt en delruteoptimalisert beregning ("SubRoute"). Deretter vises det hvor GDB-databasen med veggeometri og PATH-filen med ruter og trafikkmengde ligger. Feltet "PthTables" angir hvilke tabeller i PATH-filen som skal benyttes. Det neste feltet angir hvilken kjøretøypark som skal brukes (i dette tilfellet den innebygde NB2019-parken), og hvilke kjøretøy i parken som skal brukes (i dette tilfellet kun de lette kjøretøyene). For mer kompliserte beregninger er det også mulig å lenke til egendefinerte kjøretøyparker.

De ulike beregningstypene støttet av energikartet er:

- FullRoute: Den enkleste typen, hvor hver rute i PATH-filen blir kjørt gjennom energimodulen slik den er.
- SubRoute: En variant av FullRoute, hvor overlappende ruter blir gruppert sammen, og kjørt i mindre deler på en slik måte at sluttsummen blir tilnærmet identisk (et avvik på mindre enn 0.001% i testberegningene våre). Dette sparer mye tid på store PATH-filer som typisk har store mengder overlappende ruter.
- PublicTransport: Ruter blir lest inn fra kollektivtabellene i GDB-filen, og kollektivfrekvensene brukes til å skalere opp kjørerutene til døgntrafikk. Bruker FullRoute-modus til å kjøre rutene, siden datamengden er såpass lav at SubRoute ikke er nødvendig.
- Goods: Ruter lest fra PATH-filen har ekstradata som angir dynamisk lastvekt på kjøretøyene som kjører ruten. Bruker FullRoute-modus til å kjøre rutene, siden SubRoute ikke gir mening når hvert kjøretøy har ulik lastvekt.

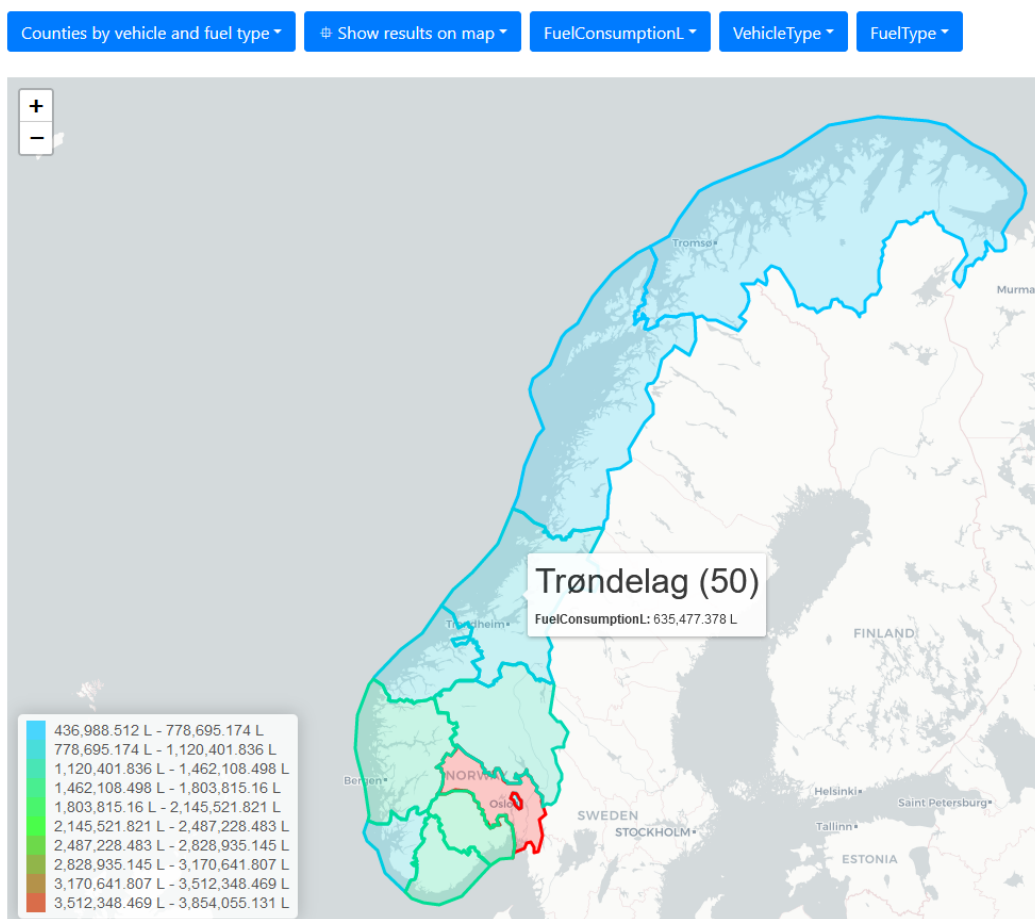
I tillegg til input-blokker må konfigurasjonsfilen også inneholde output-blokker. En output-blokk angir hvordan resultatene skal presenteres, og kan i tillegg til presentasjonsform også inneholde innstillinger for hvordan resultatene skal fordeles, for eksempel hvis det ønskes separate resultater for hvert fylke og/eller hver kjøretøytype. En konfigurasjonsfil må alltid inneholde én eller flere output-blokker. Under vises noen eksempler på hvordan resultater kan vises i beregningsrapporten. Figurene viser fire eksempler: en enkel totalsum, en tabell med summer for hver kjøretøytype, en inndeling i fylker, og til slutt et heatmap.

FuelConsumptionL:	19,979,422
FuelConsumptionKg:	4,096,536
FuelConsumptionWh:	3,685,710,891
EngineConsumptionKwH:	242,662,066
Co2EmissionG:	62,151,609,404
DistanceDrivenM:	109,905,994,366
TimeUsedS:	8,547,998,445
ResultsCount:	1,145,007,009

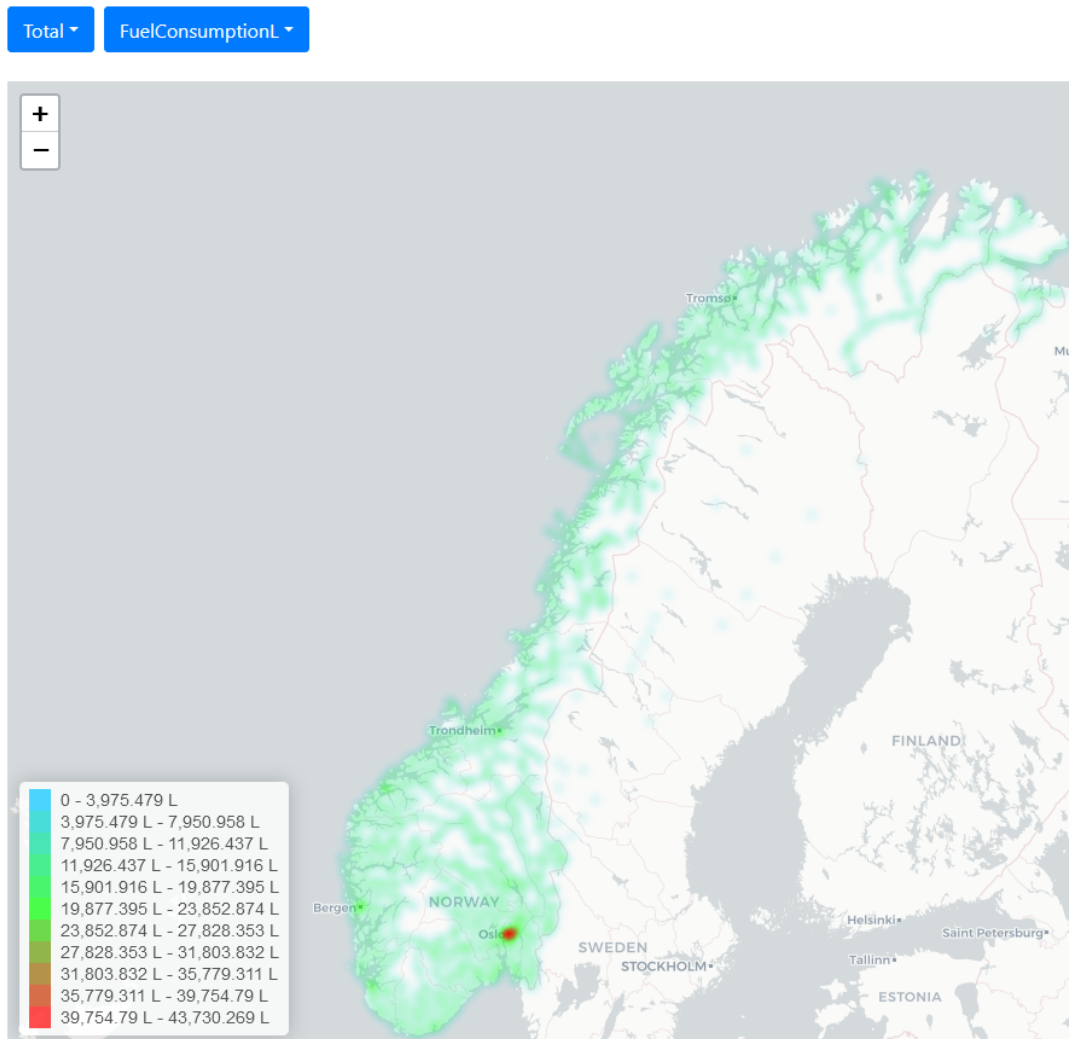
Figur 3: Eksempel på resultat av den enkleste typen ("Total"), som kun viser summerte verdier for de ulike resultatfeltene.

Separation columns			
VehicleType ▼▲●	FuelConsumptionL ▼▲	FuelConsumptionKg ▼▲	FuelCo
Gods-Veg-Tog_4_Van_Gasoline	80,536	0	448,662
Gods-Veg-Tog_42_FreightTrain_Diesel	1,716	0	0
Gods-Veg-Tog_39_FreightTrain_BatteryElectrical	0	0	13,599,3
Gods-Veg-Tog_28_LargeGoodsVehicle_Diesel	82,446	0	0
Gods-Veg-Tog_26_LargeGoodsVehicle_BatteryElectrical	1,263	0	7,827,3
Gods-Veg-Tog_24_LargeGoodsVehicle_Hydrogen	0	1	129,603

Figur 4: Eksempel på resultat av typen "Total" der det er lagt til oppdelinger. I dette tilfellet er summen delt opp per kjøretøytype, og vises i en tabell i stedet for en liste. Hver kjøretøytype representeres av én rad i tabellen, og hver rad inneholder de samme verdiene som vist i figuren over.



Figur 5: Eksempel på resultat av typen "Total" fordelt på fylke, kjøretøytype og drivstofftype og visualisert som kart i stedet for tabell. Hva som vises på kartet kan i den HTML-baserte rapporten velges ved hjelp av de blå knappene øverst i figuren.



Figur 6: Eksempel på resultat av typen "Grid" (heatmap). Hvilken av resultatfeltene som vises på kartet kan i den HTML-baserte rapporten velges ved hjelp av den blå knappen øverst i figuren.

Resultater kan lagres som maskinlesbar JSON, eller som en interaktiv HTML-rapport med dynamiske tabeller og/eller kart. Beregningsprogrammet kan også konfigureres til å lagre resultater til en PostgreSQL-database.

For mer spesifikke beregninger kan konfigurasjonsfilen også inneholde filter, for eksempel for å kun lagre resultater for spesifikke geografiske områder, kjøretøytyper, drivstofftyper eller vegkategorier. Slike filter kan kombineres ved hjelp av spesielle AND- og OR-filtertyper for full fleksibilitet.

Energikartet beregner energibruk for en rekke ulike kjøretøytyper på en stor mengde ruter fra transportmodell. Totalt består for eksempel de landsdekkende beregningene for 2018 av ca 40 000 ruter på til sammen 110 millioner kjøretøykilometer, som alle skal beregnes for alle kjøretøyene i den relevante kjøretøyparken for å kunne skalere energibruken i henhold til trafikkmengdene i kjøretøyparkene.

Når en rute skal beregnes for en kjøretøypark, skjer det på følgende måte (eksempelet er for vegtrafikk):

1. Rutedefinisjonen transformeres til en geometribeskrivelse med ekstradata som fartsgrense, vegbredde, og antall kjørefelter.
2. For hvert kjøretøy i kjøretøyparken kjøres energimodulen på ruten.

3. Trafikkandelene i kjøretøyparken brukes til å skalere resultatene fra trinn 2. Dette gjøres ved at det beregnes en andel av total trafikk for det relevante året for hvert kjøretøy, som så multipliseres med resultatene for dette kjøretøyet. Totalt sett vil dermed resultatene representere all utkjørt trafikk som definert av kjøretøyparken og trafikkmengden på rutene.
4. Resultatene blir sendt videre til den eller de aggregeringsmetodene som er definert for denne beregningen (typisk en totalsum, et heatmap, og en fylkes- eller kommuneinndeling).

3.6 Aggregering av energiberegninger

Energimodulen returnerer resultat for hvert 20-meterssegment langs hver rute. Siden det kjøres tusenvis av ruter (som overlapper i mer eller mindre grad) med et titalls ulike kjøretøy, vil det bli svært mange resultater for hvert segment i vegnettet (totalt for 2018-beregningen er det nesten 1.2 milliarder slike resultater). For å kunne vise disse resultatene på en fornuftig måte aggregeres de opp til totaltall og/eller geografiske enheter.

Energikartet støtter flere ulike typer aggregering:

- Total: resultatene summeres sammen til en total for hele området som ble beregnet.
- Heatmap: resultatene summeres innenfor et rutenett, slik at det kan vises frem som et heatmap. For å kunne benyttes i interaktive kart må det være data for rutenett av ulike størrelser, slik at det kan zoomes inn og ut. Energikartet aggregerer som standard til rutenett av størrelsene [40960, 20480, 10240, 5120, 2560, 1280, 640, 320, 160, 80, 40, 20] (kvadratiske ruter, størrelsen angitt i meter). Disse størrelsene samsvarer godt med standard zoom-nivå i web-baserte kartgrensesnitt, noe som gjør at heatmap-et ser bra ut på alle nivå. Det nederste nivået er så finkornet at det i stor grad viser hvert individuelle lenkesegment, mens det øverste nivået er svært overordnet, og fungerer best på oversiktskart.
- Geografisk område: resultatene summeres innenfor angitte geografiske områder, for eksempel kommuner eller fylker, men hvilke som helst områder støttes (kan defineres i SHP- eller GeoJSON-format).

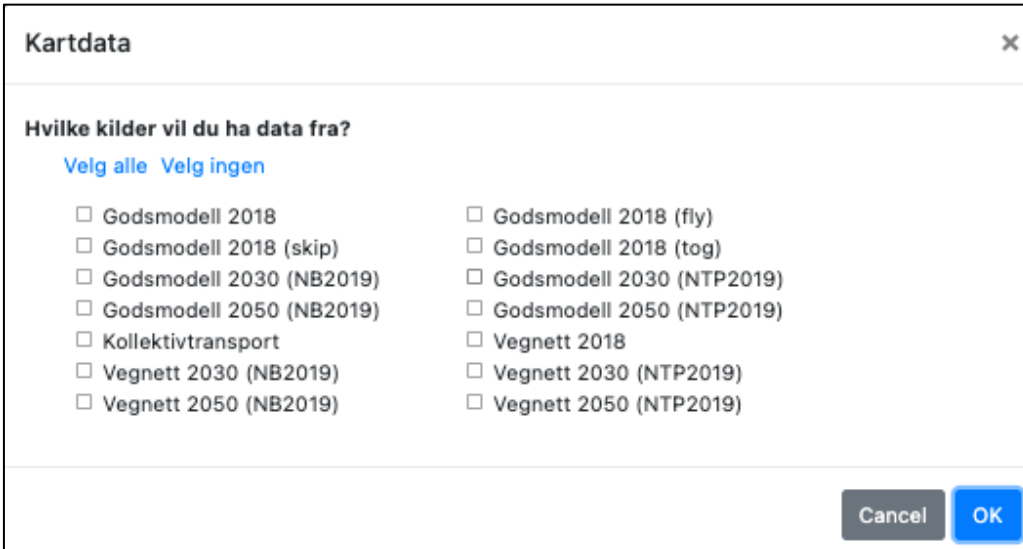
Slike resultater kan eksporteres som JSON/HTML i en standard energikartrapport, men også til en PostgreSQL-database, som for eksempel gjort i demonstrasjonen av energikartet på web.

Beregningsprogrammet kan konfigureres til å rapportere hvilken som helst kombinasjon av de ovennevnte aggregeringene, med eller uten filtre eller fordelinger (resultater fordelt på kjøretøytype er for eksempel et mye brukt resultat).

Det er en svært tidkrevende operasjon å sjekke om et resultatpunkt befinner seg inne i et geografisk område, særlig hvis det for eksempel må søkes gjennom en liste med hundrevis av kommuner og sjekke hver eneste kommune helt til det finnes et treff. Beregningsprogrammet inneholder en rekke optimaliseringer for å gjøre denne prosessen så raskt som mulig, men det må likevel påberegnes en økt beregningstid desto flere geografiske aggregeringer som legges inn i beregningen.

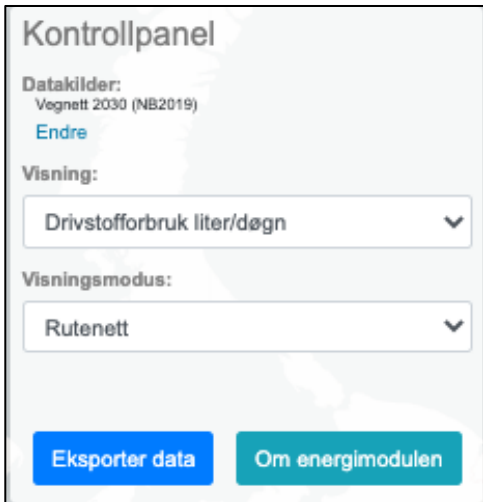
3.7 Beskrivelse av energikart på web

Energikartet er per i dag tilgjengelig på <http://mobilitet.sintef.no/energi kart/>, men innholdet kan endres dersom nye grunnlagsdata legges inn. Det første som vises for besøkende på nettsiden er vinduet vist i Figur 7. Her kan brukeren velge hvilke kilder som skal lastes inn i energikartet, nærmere bestemt hvilke transportmodellkjøringer som skal vises. For hver kilde er det gjort en energiberegning som er lagt inn i en database. Energikartet henter data fra databasen og visualiserer dette.



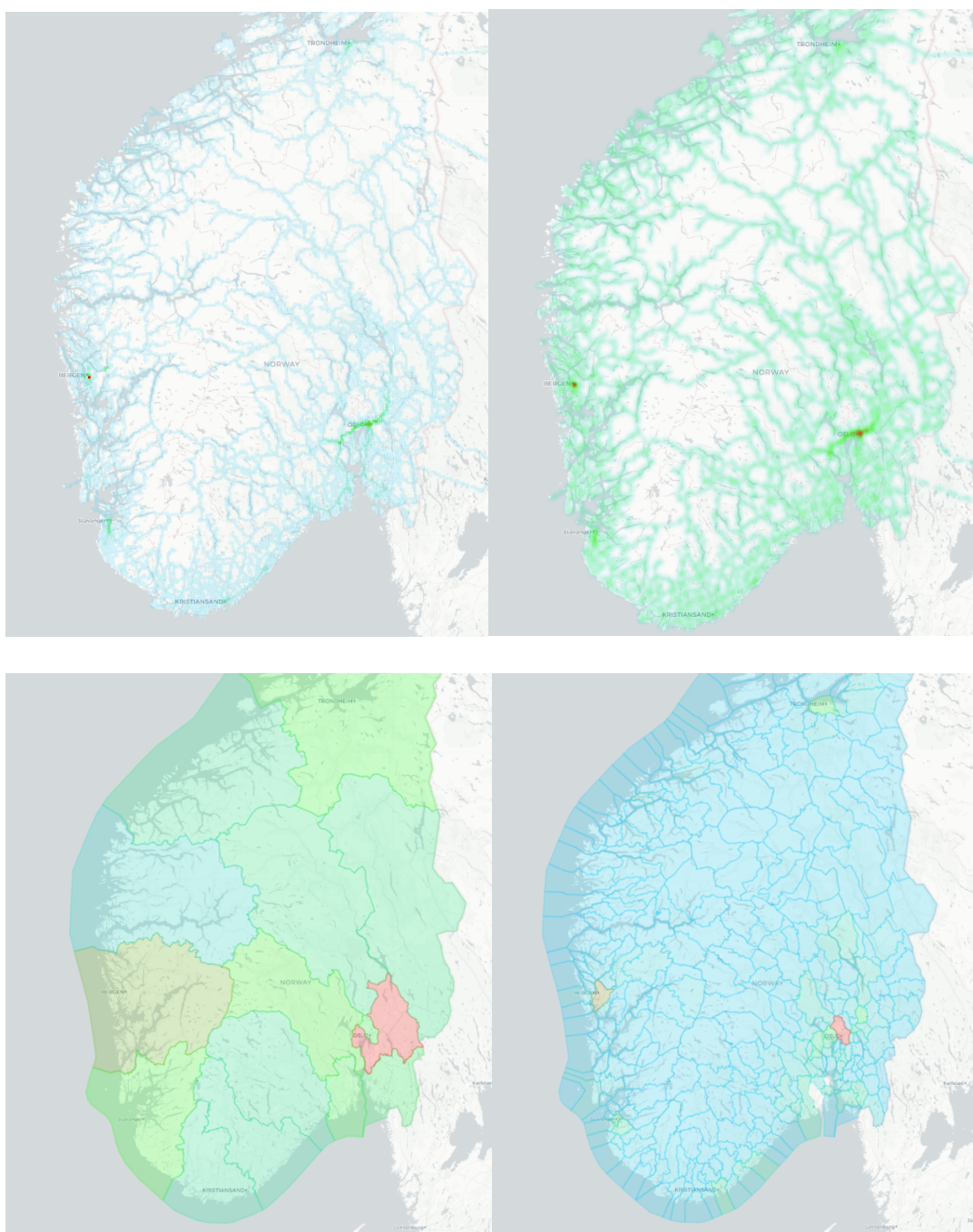
Figur 7: Kildevalg før visning av energikart.

Etter at kilde(r) er valgt, kommer man inn i selve energikartet. I kontrollpanelet på høyre side kan man velge hvordan data skal presenteres, som vist i Figur 8. For visningsvalg kan man velge «Drivstofforbruk (liter/døgn)», «Drivstofforbruk (kg/døgn)», «Strømforbruk (Wt/døgn)», og «Energiforbruk (kWt/døgn)». De tre første valgene viser totalt forbruk av henholdsvis bensin og diesel i liter, hydrogen og LNG i kg og strøm i Wt, mens det siste viser teoretisk energibehov for hele kjøretøyparken i kWt. I kontrollpanelet kan man også velge «eksport», for å starte nedlasting av en csv-fil med data sortert på fylke eller kommune. Data som blir vist på nettsiden blir hentet fra en PostgreSQL-database basert på zoom-nivå og hvilken del av kartet som vises i nettleseren.



Figur 8: Kontrollpanel i energikartet.

Det er fire ulike visningsmodi for energiberegningene, som vist i Figur 9: Rutenett, varmekart (heatmap), fylke og kommune. Med rutenett er alt energiforbruk i en rute summert opp og vist med en fargekode. Det er også mulig å trykke på én enkeltrute for å få informasjon om koordinater og energiforbruk. Informasjonen blir vist nederst i kontrollpanelet. Varmekartet ligner på rutenettsvisningen, men skiller seg ut ved at energiforbruket blir «smurt» utover kartet for en visuell effekt. Visningene for fylke og kommune summerer opp energiforbruket i hver enhet og viser resultatet med fargekode. Det er mulig å få vist enkeltverdier ved å holde musepekeren over et fylke eller en kommune.



Figur 9: Alternative visningsmodi for energikart. Øverst til venstre: Rutenett. Øverst til høyre: Varmekart. Nederst til venstre: Fylke. Nederst til høyre: Kommune.

4 Validering av beregninger

Resultatene fra energikartet er energiforbruket på alle turer som er estimert i transportmodellene som er benyttet som input til energikartet. Turene er også aggregert opp til større områder. Fordi transportmodellene har blitt brukt til å estimere både basisår og prognoseår er det mulig å gjøre sammenligninger med observerte tall for et tilnærmet basisår. Dette kan gjøres på et detaljert nivå hvor man sammenligner én spesifikk tur med en tilsvarende tur estimert i energimodellen, men det krever at man faktisk har tilgjengelig data om turen. Dette må inkludere data om kjøretøy, fart og energiforbruk. Det er data som kan være krevende å få innhentet, spesielt når det er snakk om så mange ulike kjøretøy og fartøy. Derfor har vi lagt vekt på å sammenligne gjennomsnittstall for kjøretøy med tilsvarende data som er offentlig tilgjengelig. Med gjennomsnittstall menes det her sum forbruk eller utslipp per tidsenhet eller lengdeenhet, for eksempel liter drivstoff per mil eller kWh per km. Dette vil gi en overordnet indikasjon på om resultater fra beregningene er troverdige.

På et mer aggregert nivå er det derimot enklere å finne et sammenligningsgrunnlag. SSB publiserer for eksempel data om drivstoffsalg på fylkesnivå, noe som er omtrent sammenlignbart med resultater fra energikartet. Det er derimot ikke å forvente at man klarer å reprodusere observerte tall helt eksakt, på grunn av egenskaper ved det man får av resultater fra transportmodellene. For det første så er ikke transportmodellene laget med det formål å reprodusere dagens trafikk tall helt eksakt. Formålet er heller å kunne modellere de mekanismene som ligger til grunn for transportbehov og -etterspørsel, slik at man kan lage prognoser for *endring* i trafikk og transport som følge av tiltak i vegnettet. Tiltak kan være både fysiske tiltak som f.eks. vegprosjekter, finansielle tiltak som f.eks. bomstasjoner, eller å kvantifisere endring over tid for å lage prognoser for trafikkvekst. For det andre så er ikke alle reiser og kjøretøygrupper inkludert på samme måte. Dette gjelder spesielt for drosjetrafikk, anleggstransport, bylogistikk, renovasjon m.m. Bidragene fra disse gruppene er små, men de vil allikevel føre til at det oppstår forskjeller ved sammenligning med observerte tall.

I dette kapittelet er det presentert sammenligninger mellom beregninger med energikartet og så tilsvarende observerte verdier som mulige. Det første delkapittelet inneholder sammenligninger på aggregert nivå for en validering av både energiberegninger og de tallene fra transportmodeller som energikartet baserer seg på. Grunnlaget for alle beregninger med energikartet er basert på regionale transportmodeller, nasjonal persontransportmodell og nasjonal godsmodell med basisår 2018. I det andre delkapittelet er det gjort sammenligninger på gjennomsnittstall for å gjøre en validering av selve energiberegningene.

Energikartet og den underliggende metodikken er stadig i utvikling, og dette gjør det utfordrende å presentere en komplett validering i et dokument som dette. I tillegg gjør omfanget av metoden og kjøretøy- og fartøyparken det tidkrevende å finne riktige tall å sammenligne med. Derfor vil dette kapittelet være et øyeblikksbilde av det som er tilgjengelig av informasjon på dette tidspunktet, og flere etterfølgende valideringer vil kunne bli dokumentert ettersom man får større sammenligningsgrunnlag, endringer i metodikken og nye grunnlagsdata i form av transportmodeller til energikartet.

4.1 Sammenligning med aggregerte tall

SSB publiserer tall for salg av petroleumprodukter i Norge, inndelt i år, måned, sektor og fylke³. Basismodellen som ble brukt for energikartberegningen som er dokumentert i rapporten var for 2018, derfor er det her sett på tall fra SSB for 2018. Tabell 2 viser tall for SSB for transportsektoren sammen med

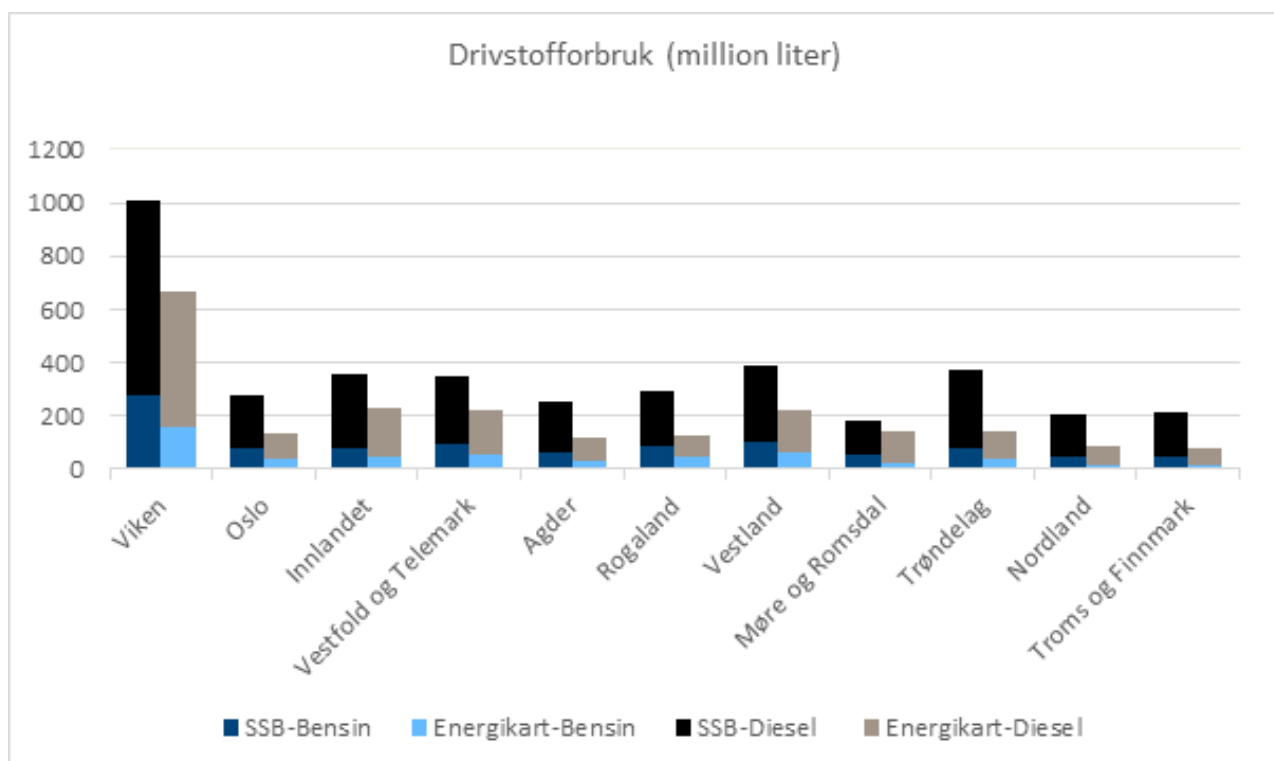
³ <https://www.ssb.no/statbank/table/11174/>

tilsvarende tall fra energikartet for hele landet. Her ser en at estimerte tall for bilbensin, autodiesel og marine gassoljer er lavere enn tall for solgt kvanta i 2018. En årsak til dette er at tallene fra energikartet ikke inneholder alle transportformer, i tillegg til at energimodellen kun beregner energi knyttet til bevegelse av kjøretøy. Det er derfor forventet at det er en forskjell i denne retningen. For jetparafin ser en at estimerte tall ligger noe over solgt kvanta for 2018.

Tabell 2. Sammenligning av tall fra SSB og Energikartet for petroleumsprodukt solgt/forbrukt i 2018.

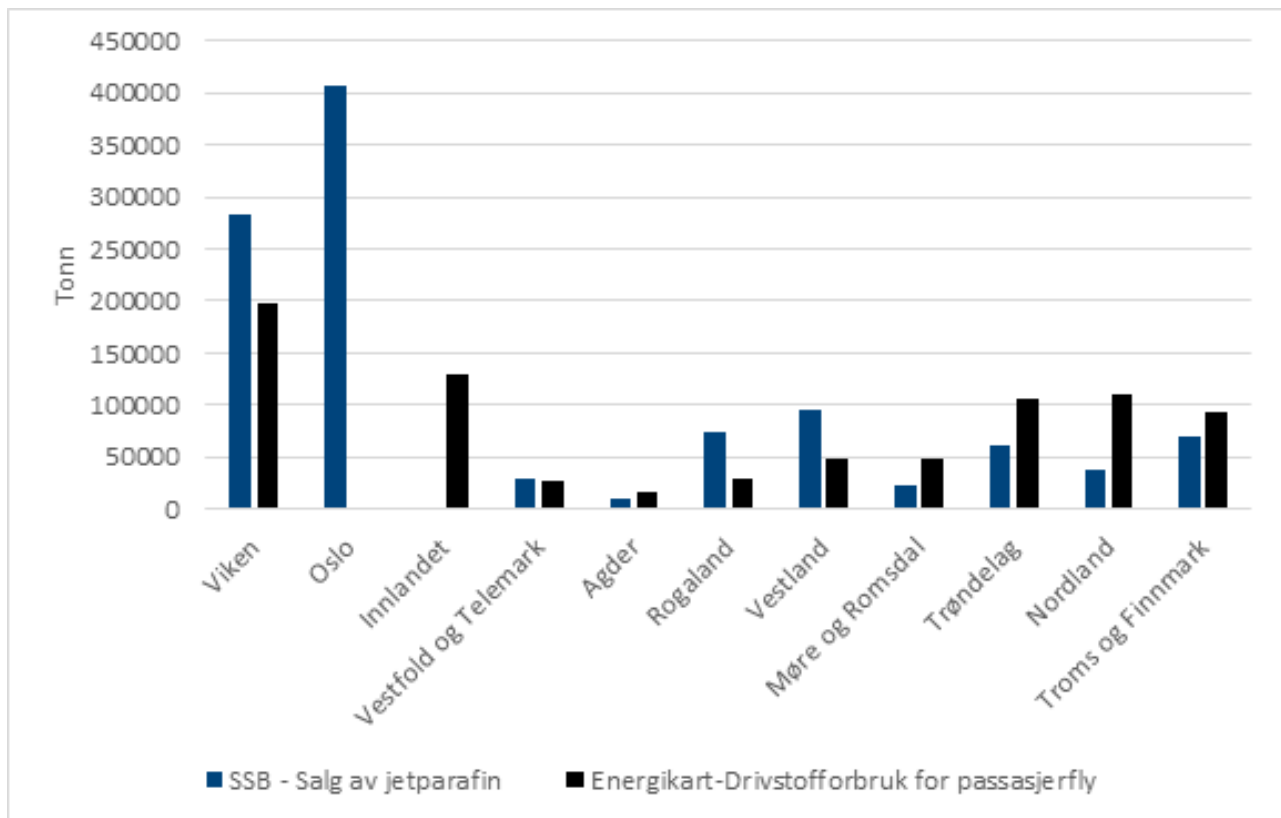
Petroleumsprodukt	SSB 2018 (mill liter)	Energikartet 2018 (mill liter)
Bilbensin og autodiesel	4152,5	2984,6
Jetparafin	1171,8	1222,344
Marine gassoljer	1816,1	1213,7

Den fylkesvise fordelingen av estimert drivstofforbruk for kjøretøy er vist i Figur 10 sammen med rapportert drivstoffsalg av autodiesel og bilbensin. Som vist i Tabell 2 er den generelle tendensen at energikartet underestimerer drivstoffsalg, av tidligere nevnte grunner. Figuren viser også at forskjellen er omtrent av samme størrelsesorden i alle fylker. Det påpekes her at det kan være avvik mellom hvor drivstoffet er fylt og i hvilket fylke det blir forbrukt.



Figur 10. Estimert drivstofforbruk og rapportert drivstoffsalg av autodiesel og bilbensin fordelt på fylker.

En tilsvarende fylkesvis fordeling for passasjerfly er vist i Figur 11. Her vises det spesielt godt at det er avvik mellom fyllingslokasjon og forbrukslokasjon. For eksempel er det ingen flykorridorer over Oslo i energikartet, men det selges desidert mest jetparafin i dette fylket.



Figur 11. Salg av jetparafin i hvert fylke i 2019 og beregnet drivstofforbruk for passasjerflytrafikk

For strømforbruk til transport estimerer Energikartet et forbruk på 478 GWh fra personbiler i 2018. SSB rapporterer at netto innenlands forbruk av elektrisitet til transport i 2018 var 1206 GWh. Det er derimot ikke definert i detalj hva dette tallet omfatter av andre transportmiddel, f.eks. elektriske busser, ferger og varebiler. Estimert fra SSB og Elbilforeningen for personbiler i 2020 er henholdsvis 566 GWh og 799,5 GWh⁴.

For å validere resultater for jernbane er det hentet ut data fra Bane NOR sine strømmålere på elektriske tog. Datasettet representerer forbruk i perioden august 2019 til august 2020. Dette inneholder alt av målt strømforbruk, både tog som står i ro og tog som er i bevegelse. For å knytte dette til banestrekninger ble det gjort en filtreringsjobb med datasettet. Denne filtreringsjobben tok utgangspunkt i geometrisk beskrivelse av banene på jernbanenettet, først og fremst for å se på forbruk per togtype. Målet med filtreringen var å isolere de togturene som hadde en tur langs hele banestrekningen.

Summen av forbruk i turene som er isolert i datasettet er 396 631 MWh inkl stillestående tog, og 305 147 MWh for tog i bevegelse. Totalt er forbruket målt til 80 845 MWh for godstog, mens det beregnede tallet er 67 497 MWh for godstog i energikartet. Tilsvarende er det målt 224 302 MWh for persontog og estimert 171 860 MWh i energikartet.

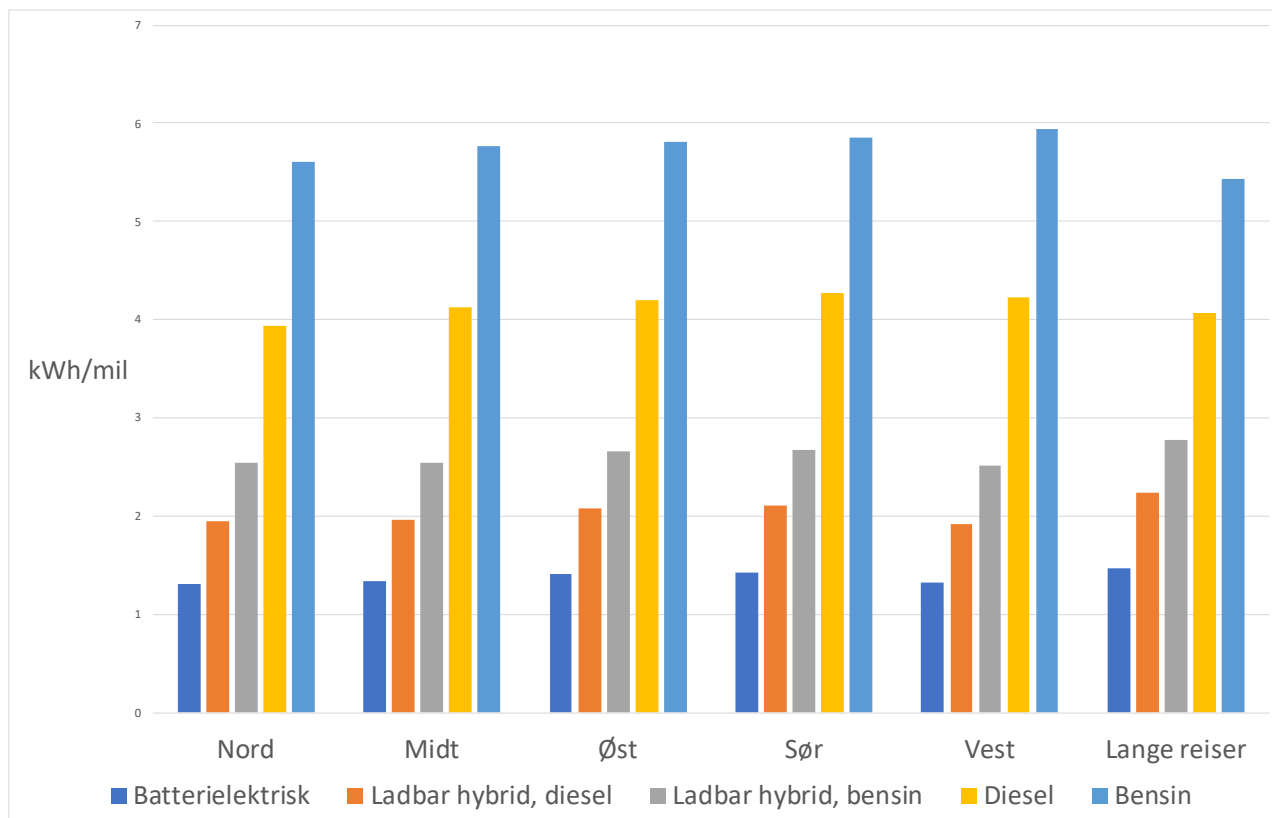
4.2 Sammenligning av gjennomsnittstall

De presenterte aggregerte tallene har som forventet noen avvik. For å få en mer detaljert oversikt over avvikene er det i det videre sett på gjennomsnittsforbruk for utvalgte kjøretøytyper.

⁴ <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-strom-brukte-elbilene-i-fjor/507227>

4.2.1 Personbiler

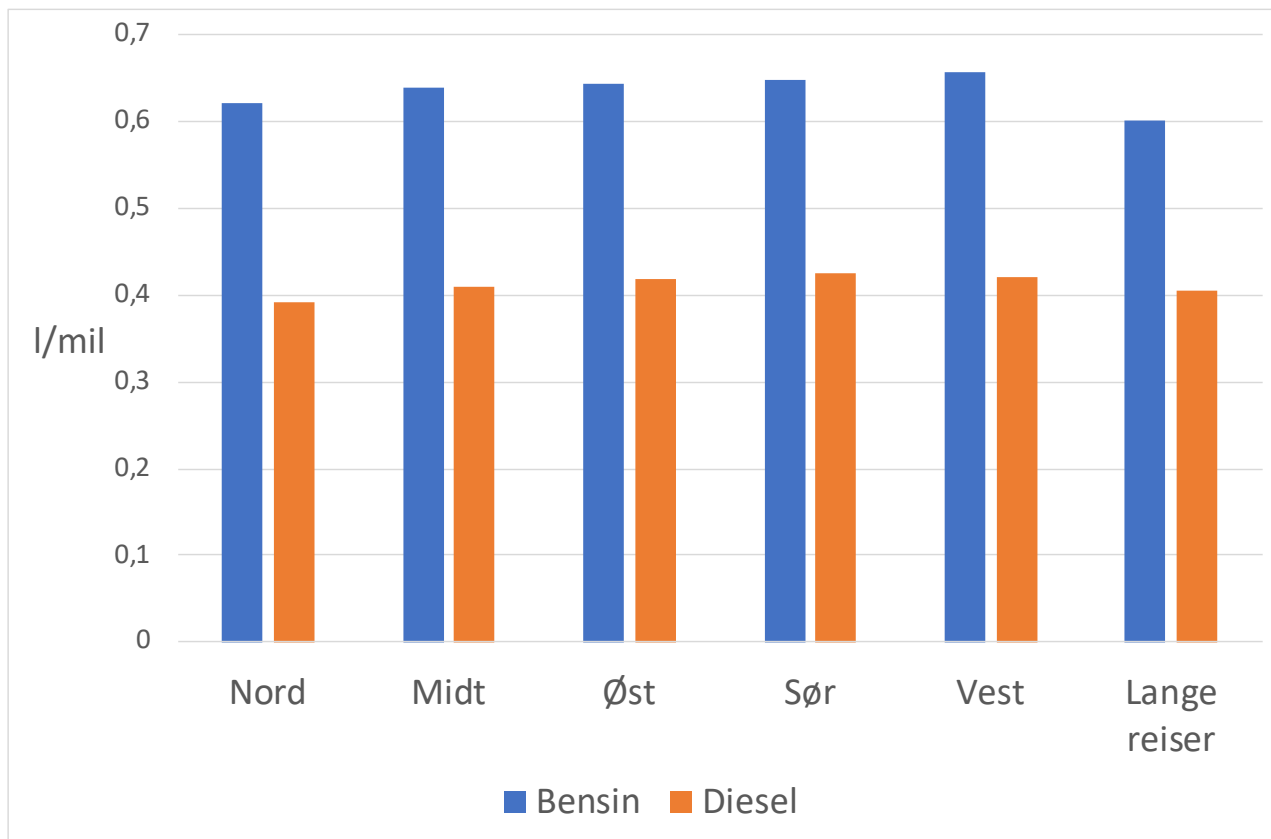
I kjøretøyparken til energikartet er det flere typer personbiler som er representert, både batterielektrisk, hybrid, ladbar hybrid, bensin og diesel. For å visualisere energieffektiviteten til hver enkelt gruppe er det i Figur 12 vist et gjennomsnittsforkbruk i energiforbruk per mil. Her er energiinnholdet i bensin og diesel konvertert til kWh. Det er tydelig at batterielektrisk er mest energieffektivt, med et forbruk på ca 1,4 kWh/mil. I andre enden av skalaen ligger bensinbiler, fulgt av dieslbiler. Ladbare hybrider har både elektrisk motor og forbrenningsmotor, og ligger derfor mellom batterielektriske biler og biler med forbrenningsmotor. Men, de ladbare hybridene varierer i høy grad med bruksmønster av strøm versus diesel/bensin.



Figur 12. Estimert gjennomsnittsforkbruk i energikartet for ulike typer personbiler. Sum forbruk dividert på sum distanse.

For bensin- og dieslbiler er det vist et tilsvarende energiforbruk med enhet liter per mil i Figur 13. Dieslbiler ligger på et forbruk rundt 0,4 liter per mil, mens bensinbiler ligger på omtrent 0,65 liter per mil. Ifølge SSB⁵ har personbiler et forbruk på mellom 40 og 80 g/km, avhengig av trafikksituasjon. Dette tilsvarer 0,47-0,95 liter per mil for diesel og 0,56-1,12 liter per mil for bensin. Det høyeste estimatet fra SSB er for *køkjøring*, mens tall for *fri flyt*, *trafikkert* og *tett trafikk* ligger nærmere det laveste estimatet.

⁵ <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>

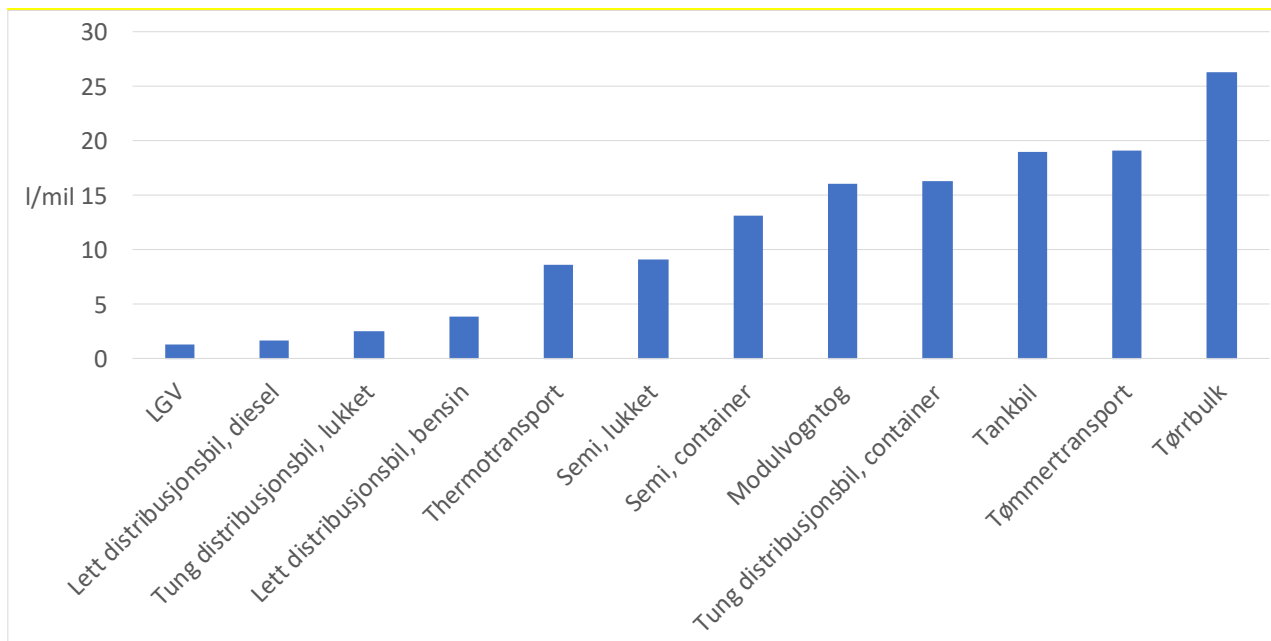


Figur 13. Estimert drivstofforbruk per mil for bensin- og dieserbiler. Sum drivstofforbruk dividert på sum distanse.

4.2.2 Tunge kjøretøy

Drivstofforbruk for lastebiler og trekkvogner varierer ifølge SSB⁵ mellom 253 og 577 g/km avhengig av trafikksituasjon, som tilsvarer 3 til 6,7 liter per mil. Her er det derimot ikke oppgitt hvilket kjøretøy som ligger til grunn for tallene. Også her er det høyeste tallet for køkjøring. Som vist i Figur 14 ligger estimert verdi for de fleste kategorier av tunge kjøretøy over dette tallet. Dette skyldes at fordelingen av last per kjøretøy ikke er realistisk, og at det er et skjevt forhold mellom antall kjøretøy og mengden gods. Dette har ført til at hver tur har blitt gjennomført med en altfor høy vekt på lasten, som igjen fører til et høyt forbruk av drivstoff per mil.

Buss ligger på 2,5 l/mil til 3,2 l/mil, avhengig av region og om det er langdistansebuss eller bybuss. Ifølge SSB⁵ er drivstofforbruket på turbusser mellom 2,6 l/mil og 7,5 l/mil, avhengig av trafikksituasjon.



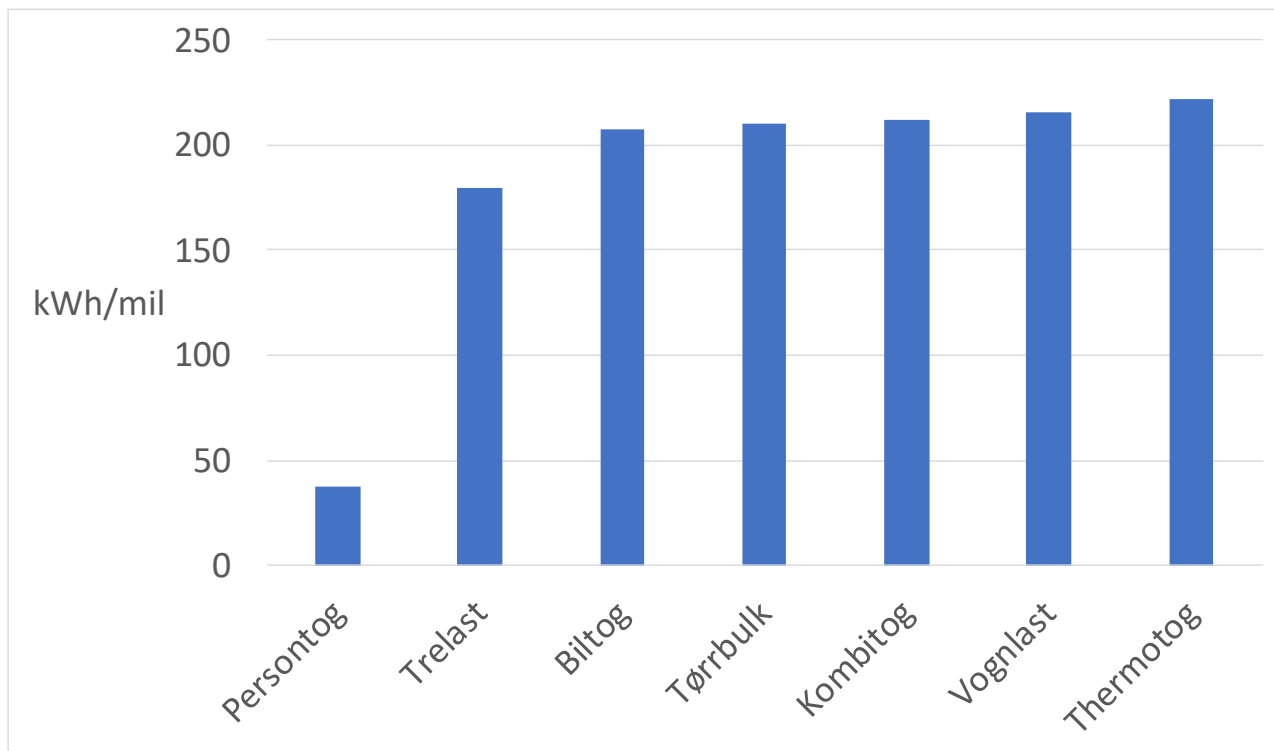
Figur 14. Estimert drivstofforbruk per mil for tunge kjøretøy. Sum drivstofforbruk dividert på sum distanse.

4.2.3 Tog

For skinnegående transport er hovedresultatet vist i Figur 15, som oppgir forbruk i kWh/mil for ulike typer elektrisk tog. Her ser en at forbruket for persontog er betraktelig lavere enn for godstog. Ved å sammenligne med tall fra BaneNor ser en at godstog ligger innenfor det som er observert, mens persontog ligger litt lavere. På grunn av konkurransesensitive hensyn er det ikke mulig å gjengi observasjoner fra BaneNor i denne rapporten.

Tilsvarende estimerte tall for dieseldrevne tog er 5,14 l/mil for persontog og 33,6 liter per mil for godstog. Det har ikke blitt funnet sammenlignbare tall for dette.

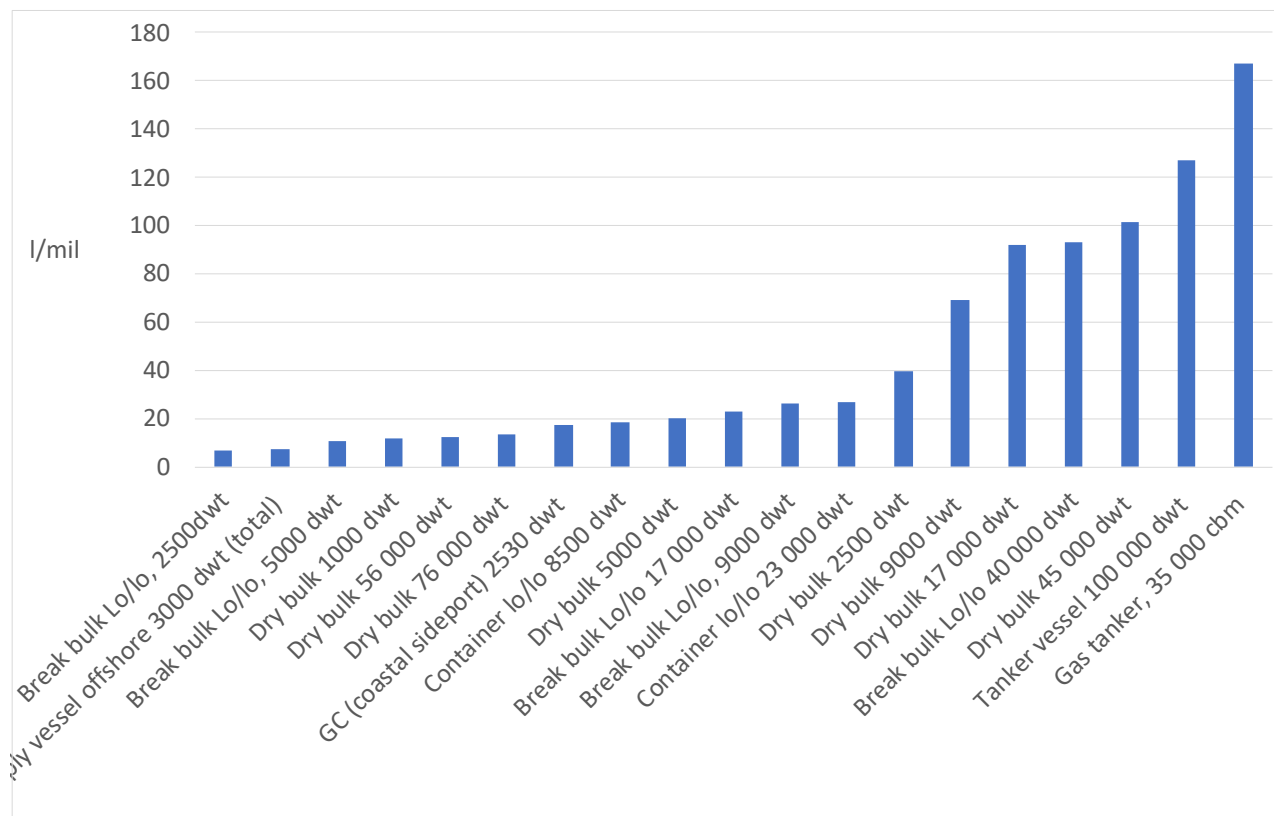
For skinnegående transport i by er det beregnet 33,54 kWh/mil for trikk i Oslo, 147,7 kWh/mil for T-bane i Oslo og 72 kWh/mil for bybanen i Bergen.



Figur 15 Estimert drivstofforbruk per mil for elektriske tog. Sum drivstofforbruk dividert på sum distanse.

4.2.4 Skip

Figur 16 viser estimert drivstofforbruk per mil for ulike skipstyper. På grunn av at drivstofforbruket for skip vanligvis måles i enten liter per tidsenhet eller i liter per tonnkm, har det vært utfordrende å finne relevant sammenligningsgrunnlag. En ser derimot at forbruket øker som funksjon av størrelse av skipet, selv om det kan variere hvor tung last hvert skip har hatt i beregningene.



Figur 16 Estimert drivstofforbruk per mil for skip. Sum drivstofforbruk dividert på sum distanse.

4.2.5 Fly

For fly er det kun persontrafikk innenriks det blir beregnet for i Energikartet. Det skyldes at det ikke har blitt delegert gods på godsflyparken i inndatasettet. Flyet for innenriks persontrafikk er basert på en Boeing 747, som ifølge Wikipedia⁶ har et forbruk på 99 kg/mil. Tilsvarende tall for energikartet er 108,44 kg/mil.

⁶ https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft#Example_values

Referanser

- DMCS (Department of applied Mathematics and Computer Science), (2015). Grey Box Modeling. <http://energy.imm.dtu.dk/models/grey-box.html>.
- Hjelkrem, O. A., Arnesen, P., Rennemo, O. M., Dahl, E., Thorenfeldt, U. K., Kroksæter, A., ... & Malmin, O. K. (2017). Kjøretøybasert beregning av fart, energi og utslipp. SINTEF-rapport nr 2017:31.
- Spilde, D. (2016): Energibruk til transport. Norges vassdrags- og energidirektorat. Rapport nr 73-2016.

Vedlegg A: Teknisk beskrivelse av parametere for kjøretøy og fartøy

Kjøretøy på veg

Personbiler							
Drivstoff	Bensin	Diesel	Batterielektrisk	Plugin hybrid, bensin	Hybrid, bensin	Plugin hybrid, diesel	Hybrid, diesel
Egenvekt (kg)	1387	1387	1387	1387	1387	1387	1387
Lastvekt (kg)	133	133	133	133	133	133	133
Motoreffekt (kW)	85	85	85	85	85	85	85
Bremseffekt (kW)	170	170	170	170	170	170	170
Frontareal (m ²)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Koeffisient for luftmotstand	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Koeffisient for rullemotstand	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	1	1	1	1	1	1	1
Fartsmodell	Lette biler	Lette biler	Lette biler	Lette biler	Lette biler	Lette biler	Lette biler

Små varebiler			
Drivstoff	Bensin	Diesel	Batterielektrisk
Egenvekt (kg)	1720	1387	1387
Lastvekt (kg)	180	133	133
Motoreffekt (kW)	77	85	85
Bremseffekt (kW)	154	170	170
Frontareal (m ²)	3,08	2,3	2,3
Koeffisient for luftmotstand	0,3	0,3	0,3
Koeffisient for rullemotstand	0,012	0,012	0,012
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	1,5	1	1
Fartsmodell	Lette biler	Lette biler	Lette biler

Små godsbiler						
Type	LGV	LGV	LGV	Lett distribusjonsbil	Lett distribusjonsbil	Lett distribusjonsbil
Drivstoff	Bensin	Diesel	Batterielektrisk	Bensin	Diesel	Batterielektrisk
Egenvekt (kg)	5400	5400	5400	7855	7855	7855
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0
Motoreffekt (kW)	134	134	134	175	175	175
Bremseffekt (kW)	335	335	335	335	335	335
Frontareal (m ²)	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7

⁷ Lastvekt er satt til 0 kg i utgangspunktet, men blir oppdatert med verdi fra nasjonal godsmodell i energikartberegningene.

Koeffisient for luftmotstand	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Koeffisient for rulle motstand	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fartsmodell	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler

Store godsbiler									
Type	Tung distribusjonsbil, lukket	Tung distribusjonsbil, container	Semi, lukket	Semi, container	Tankbil	Tørrbulk	Tømmertransport	Thermotransport	Modulvogntog
Drivstoff	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen	Diesel/batterielektrisk/hydrogen
Egenvekt (kg)	11155	15120	19755	19755	19755	19755	19755	19755	21755
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motoreffekt (kW)	235	313	418	418	420	420	420	392	392
Bremseeffekt (kW)	335	335	335	335	335	335	335	335	335
Frontareal (m ²)	6,5	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Koeffisient for luftmotstand	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Koeffisient for rulle motstand	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Fartsmodell	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler	Tungbiler

Busser		
Type	Bybuss	Langdistansebuss
Drivstoff	Diesel	Diesel
Egenvekt (kg)	12320	15500
Lastvekt (kg)	2000	2000
Motoreffekt (kW)	227	227
Bremseeffekt (kW)	454	454
Frontareal (m ²)	7,8	9
Koeffisient for luftmotstand	0,63	0,63
Koeffisient for rulle motstand	0,007	0,007
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	5	5
Fartsmodell	Tungbiler	Tungbiler



Bane, persontransport

Lokomotiv		
Type	DI4	EL18
Drivstoff	Diesel	Elektrisk
Egenvekt lokomotiv (kg)	119050	88310
Motoreffekt (kW)	2450	5400
Bremseeffekt (kW)	2450	5400
Frontareal (m ²)	8	8
Koeffisient for luftmotstand	1	1
Koeffisient for rullestand	0,0015	0,0015
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	100	100
Maksfart (km/t)	140	200
Oppsett	6 vogner á 43,2 tonn	6 vogner á 43,2 tonn
Fartsmodell	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed

Motorvognsett										
Type	Type 69	Type 70	Type 71	Type 72	Type 73	Type 74/75	Type 92	Type 93	SJ X2000	SJ X3000
Drivstoff	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Diesel	Diesel	Elektrisk	Elektrisk
Egenvekt (kg)	133200	204500	156000	164000	234000	218070	99000	84000	269000	274000
Motoreffekt (kW)	1188	1720	3528	2552	2646	4500	714	596	3260	3180
Bremseeffekt (kW)	1188	1720	3528	2552	2646	4500	714	596	3260	3180
Frontareal (m ²)	8	6	6	6	5	5	6	6	6	6
Koeffisient for luftmotstand	1	0,8	0,3	0,8	0,8	0,15	0,3	0,3	0,3	0,3
Koeffisient for rullestand	0,001	0,001	0,0005	0,0015	0,001	0,00025	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Maksfart (km/t)	130	160	210	160	180	170	140	140	200	200
Fartsmodell	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed

Trikk og T-bane



Type	T-bane Oslo, MX3000	Bybane Bergen, Variobahn	Trikk Oslo, SL-95	Trikk Trondheim, TT klasse 8
Drivstoff	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk
Egenvekt (kg)	98000	41800	65000	27100
Motoreffekt (kW)	1680	540	840	300
Bremseffekt (kW)	1680	540	840	300
Frontareal (m ²)	14,08	10	10	7
Koeffisient for luftmotstand	1,8	1,8	1,8	1,8
Koeffisient for rullemotstand	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	2500	2500	2500	2500
Maksfart (km/t)	70	70		60
Fartsmode	ConstantSpeed	ConstantSpeed	SL	ConstantSpeed

Bane, godstransport

Lokomotiv										
Type	EL16	EL14	BR185	BR187	RE	RC4	RD2	BR241	HR243	IORE
Drivstoff	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Elektrisk	Diesel	Elektrisk	Elektrisk
Egenvekt (kg)	80000	105000	84000	87000	87000	89000	89000	120000	90000	360000
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Motoreffekt (kW)	4440	5082	5600	5600	5600	3600	3600	2980	6400	10800
Bremseffekt (kW)	4440	5082	5600	5600	5600	3600	3600	2980	6400	10800
Frontareal (m ²)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Koeffisient for luftmotstand	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Koeffisient for rullemotstand	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Maksfart (km/t)	140	100	140	140	140	135	135	100	200	80
Oppsett	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn	20 vogner á 35 tonn
Fartsmode	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed	Vehicle MaxSpeed

Fartøy

Container og bulk									
Type	Container lo/lo	Container lo/lo	Container lo/lo	Break bulk Lo/lo,	Break bulk Lo/lo,	Break bulk Lo/lo,	Break bulk Lo/lo,	Break bulk Lo/lo	Break bulk Lo/lo
Vekt, bruttotonn	8500	5200	23000	588	1470	2941	5294	10000	23529
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skroglengde (m)	134	100	184	55	80	97	123	150	185
Motoreffekt (kW)	4000	2495	10000	128	140	1000	5000	10000	20000
Propellvirkningsgrad	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Strømningsstvernsnitt (m ²)	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	28,3	38,5	38,5
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Marsjfart [km/t]	26	28	33	19	20	26	26	26	26
Fartsmodell	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed	VehicleMaxSpeed

Tørrbulk, Ro/Ro og Reefer												
Type	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Dry bulk	Ro/ro (cargo)	Ro/ro (cargo)	Reefer
Vekt, bruttotonn	588	1470	2941	5294	10000	26471	32941	44706	5556	10417	9514	
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Skroglengde (m)	55	80	97	123	150	187	190	225	140	190	163	
Motoreffekt (kW)	128	140	1000	5000	10000	20000	30000	30000	5000	10000	10000	
Propellvirkningsgrad	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Strømningsstvernsnitt (m ²)	28,3	28,3	28,3	28,3	38,5	38,5	50,3	50,3	28,23	58,4	38,5	
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	



Marsjart [km/t]	22	22	22	22	22	22	22	22	33	33	28
Fartsmo- dell	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed

Tankskip									
Type	Tanker vessel	Tanker vessel	Tanker vessel	Tanker vessel	Tanker vessel	Tanker vessel	Tanker vessel	Gas tanker	Gas tanker
Vekt, bruttotonn	2000	5429	9714	21143	57143	177143	10000	16286	
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skroglengde (m)	94	120	154	183	245	333	183	205	
Motoreffekt (kW)	1000	5000	10000	8900	30000	50000	10000	30000	
Propellvirk- ningsgrad	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Strømnings- tversnitt (m ²)	38,5	38,5	38,5	38,5	63,6	78,5	38,5	38,5	
Effektpådra- g, tilleggsutst- yr (kW)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Marsjart [km/t]	24	26	28	30	31	33	30	31	
Fartsmode- ll	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed	VehicleMax Speed

Andre skip										
Type	GC (coastal sideport) 1250 dwt	GC (coastal sideport) 2530 dwt	GC (coastal roro) 4440 dwt	Sideport vessel (live animals) 2530 dwt	Supply vessel offshore 3000 dwt (total)	Ferge elektrisk	Ferge diesel	Hurtigrute	Cruise	Hurtigbåt
Vekt, bruttotonn	868	1757	3083	1757	2083	4035	4035	16151	47842	490
Lastvekt (kg) ⁷	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skroglengde (m)	70	82	97	82	80	80	80	130	362	27
Motoreffekt (kW)	128	140	100	140	4000	900	3700	9000	100000	1500
Propellvirk- ningsgrad	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Strømnings- tversnitt (m ²)	28,3	28,3	28,3	28,3	6,3	3,1	3,1	56,5	84,8	0,8

Effektpådrag, tilleggstu- tstyr (kW)	200	200	200	200	200	200	200	6000	6000	200
Marsjfar- t [km/t]	26	26	26	26	20	22	22	28	37	56
Fartsmo- dell	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed	Vehicle MaxSpe- ed

Fly

Fly					
Type	Medium godsfly	Stort godsfly	Kortbane persontransport	Innenriks persontransport	Langdistanse persontransport
Egenvekt (kg)	20000	40000	10000	40000	40000
Parasittisk drag	0,005	0,02	0,005	0,005	0,005
Indusert drag	0,0371	0,055	0,0102	0,0102	0,0102
Akselerasjon (m/s ²)	1	1	1	1	1
OEW [kg]	41416	197131	17819	41416	129400
Marsjfar- t [km/t]		900	660		900
Vingere- areal Aw[m ²]	124,6	554	64	124,6	362
Vingespenn S [m]	35,8	68,45	28,42	35,8	60,3
Vinge- friksjonskoeff (for parasittisk drag)	0,01	0,012	0,012	0,01	0,01
Vinge- lastfordelingsfakto- r	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Antall motorer	2	4	2	2	2
Motor skyv- kraft [N]	120000	300000		120000	310000
Motor virk- n,grad	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Vifte/propell- diameter [m]	1,55	2,82	2	1,55	2,44
Strømingstverrsnit- t At [m ²]	3,77	24,98	6,28	3,77	9,35
Propellvirkningsgr- ad	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Generator virk,grad gm_eff	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Effektpådrag, tilleggsutstyr (kW)	10	20	10	20	30