



NILU rapport 40/2024

NERVE – en utslippsmodell for veitrafikk

Dokumentasjon av revidert beregningsmodell for utslipp fra veitrafikk i norske kommuner

nilu

NERVE – en utslippsmodell for veitrafikk

Dokumentasjon av revidert beregningsmodell for utslipp fra veitrafikk i norske kommuner

Torleif Weydahl¹, Henrik Grythe¹
Christian Steinsland², Anne Madslie²

Tilhørighet:

¹ NILU, ²TØI

NILU er ISO-sertifisert i henhold til NS-EN ISO 9001/ISO 14001 og akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025.

Forord

Miljødirektoratet utarbeider klimagassregnskapet for norske kommuner på oppdrag fra Klima- og miljødepartementet. NERVE («Norwegian Emissions from Road Vehicle Exhaust») ble opprinnelig utviklet gjennom et samarbeid mellom NILU og Urbanet Analyse (senere Asplan Viak) fra 2017. Modellen har vært under kontinuerlig oppdatering og forbedring siden prosjektet gikk over i en driftsfase i 2019. Siden 2021 har Transportøkonomisk institutt bidratt videre til utvikling av modellen.

Klimaavdelingen i Miljødirektoratet, seksjon for utslippsregnskap og metode, har ledet arbeidet fra oppdragsgivers side.

På bestilling fra Miljødirektoratet har Statistisk sentralbyrå (SSB) gitt prosjektet et mer detaljert uttrekk av kjørelengdestatistikken enn det som er tilgjengelig gjennom statistikkbanken. Miljødirektoratet har vært behjelpelig med et detaljert uttrekk fra «Handbook of Emission Factors for Road Transport» (HBEFA) versjon 4.1. I tillegg har Miljødirektoratet levert tall for bioinnblanding i drivstoff.

Henrik Grythe (NILU) har utviklet modellen NERVE og har programmert denne i sin helhet i Matlab med all tilhørende datahåndtering. Christian Steinsland (TØI) har levert resultat fra transportmodellene og videreutviklet trafikkutvekslingsmatrisene som opprinnelig ble utviklet av Urbanet Analyse. Anne Madslien (TØI) har koordinert arbeidet fra TØIs side og har deltatt aktivt i kvalitetssikring av resultat. Inger Beate Hovi (TØI) har bidratt med nyttige innspill til modellutviklingen for tunge kjøretøy. Torleif Weydahl (NILU) har vært prosjektleder for NERVE og har også utarbeidet skaleringen av trafikk fra Statens vegvesens (SVV) tellepunkt. Susana Lopez-Aparicio har hatt det overordnede ansvaret for kvalitetssikring ved NILU.

Innhold

Forord.....	2
Innhold	3
Sammendrag.....	5
Begrep og symboler.....	7
1 Innledning.....	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Modellens formål.....	9
1.3 Avgrensing.....	10
1.4 Rapportens struktur	11
2 Beskrivelse av inngangsdata til NERVE	11
2.1 HBEFA: Utslippsfaktorer.....	12
2.2 RTM: Trafikk og kjøresituasjoner	14
2.2.1 Trafikktall	14
2.2.2 Hastighet	15
2.2.3 Kø/tidsforsinkelse	16
2.2.4 Stigning.....	17
2.2.5 Veitype	18
2.3 SSB: Bilparksammensetning og kjørelengder	19
2.3.1 Data fra kjørelengdestatistikken.....	19
2.3.2 Tilpasning til HBEFA.....	20
2.4 RTM: Trafikkutveksling.....	21
2.5 RTM: Drivlinjedifferensiert trafikkutveksling.....	23
2.6 SVV: Trafikkskalering ved bruk av data fra tellepunkt	24
2.7 SSB/Miljødirektoratet: Omsetningstall for biodrivstoff.....	25
2.8 Tilpasning til gjeldende kommuneinndeling.....	25
2.9 Vesentlige begrensninger i metoden.....	26
3 Beregning av utslipp.....	27
4 «Benchmarking»	28
4.1 Sammenligning av trafikkarbeid	28
4.2 Sammenligning av drivstofforbruk.....	31
4.3 Sammenligning av nasjonale klimagassutslipp	32
4.4 Sammenligning av nasjonale utslipp av luftforurensningskomponenter	35
4.5 NERVE som utslippsmodell	35
5 Referanser	36
Vedlegg A Beregning av trafikkarbeid i kommunene 2022 til bruk i NERVE	38
A1 Innledning	39
A2 Modellverktøyet.....	39
A2.1 Nasjonal persontransportmodell	39
A2.2 Regional persontransportmodell	40
A2.3 Nasjonal godstransportmodell.....	41

A3 Beregning av trafikk til NERVE.....	42
A3.1 Modellversjoner og inngangsdata	42
A3.2 Funksjonelle endringer	42
A3.3 Nettdistribusjon av timesmatriser	43
A3.4 Etablering av godsmatrise	43
A3.5 Etablering av varebilmatrise.....	44
A3.6 Busstrafikk	45
A3.7 Resultatnettverk	46
A3.8 Virkedøgn og årsdøgn.....	47
A4 Validering av resultatene	47
A4.1 Trafikkarbeid på nasjonalt nivå	48
A4.1 Rutevalg.....	50
A4.2 Busstrafikk	52
A5 Trafikkutveksling	52
A5.1 Metode	53
A5.2 Turkjeder	53
A5.3 Om leveransen.....	53
Referanser tilhørende Vedlegg A	55
Vedlegg B Trafikkskalering. Beregning av trafikkindeks for hver kommune	56
Vedlegg C Kaldstart implementering og sensitivitetsberegninger	58
C1 Sensitivity of cold emission factors for Norway	59
C1.1 Relative importance of cold start for different compounds.....	59
C1.2 Outdoor temperature	60
C2 Driving patterns assumed.....	61
C3 Monthly time variation of cold start emissions.....	63
C4 Summary and conclusion.....	64

Sammendrag

NILU og Transportøkonomisk institutt (TØI) har på oppdrag fra Miljødirektoratet videreutviklet modellen NERVE («Norwegian Emissions from Road Vehicle Exhaust») for beregning av klimagassutslipp fra veitrafikken i norske kommuner. Denne rapporten presenterer metodikken og antagelsene bak beregningene og gir noen overordnede resultat.

Hovedformålet med NERVE er å beregne historiske klimagassutslipp fra veitrafikken på kommunenivå, men modellen beregner også utslipp av komponenter som påvirker lokal luftkvalitet. Målsettingen er at modellen skal kunne fange opp effekten av gjennomførte tiltak nasjonalt og lokalt som kan påvirke utviklingen i utslipp i hver kommune. NERVE beregner historiske utslipp innenfor den kommunegrensen som er gjeldende når oppdaterte utslippsdata presenteres. Det vil si at utslippsutviklingen i prinsipp ikke er påvirket av historiske endringer i kommunegrenser.

NERVE-modellen anvender de mest detaljerte datasettene for bilpark, utslippsfaktorer, trafikk og veier for spesifikke lokale forhold. Datasettene er kombinert i en datastruktur som gjør at resultat kan aggregeres på et lite eller et stort geografisk område. NERVE kan således betegnes som en «bottom-up»-utslippsmodell, fordi den er bygget opp «nedenfra» fra detaljerte datakilder. Ved å anvende transportmodellene kan NERVE differensiere mellom utslipp som skjer *innen* et geografisk område og utslipp fra trafikk som har sitt *opphav* fra et geografisk område.

De viktigste datasettene som inngår i NERVE er:

- Utslippsfaktorer fra “HandBook of Emission Factors for Road Transport” (HBEFA) versjon 4.1.
- Beregnet trafikk fra de 5 regionversjonene av Regional persontransportmodell (RTM), Nasjonal persontransportmodell (NTM6), samt Nasjonal godstransportmodell (NGM). Persontransportmodellene er estimert basert på data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen. I alle modellene benyttes data om det norske veinettet som er hentet fra Nasjonal vegdatabank (NVDB).
- Et spesial-uttrekk av Statistisk sentralbyrås (SSBs) kjørelengdestatistikk som dekker den norske bilparken
- Statens vegvesen (SVV) sine tellepunkt for veitrafikk med antall passeringer fordelt på lengdeklasser, samt veitrafikkindeksen for tunge kjøretøy.
- Omsetningstall for biodrivstoff (SSB/Miljødirektoratet).

Denne rapporten beskriver hvordan datakildene er koblet og utslippsberegningene er bygget opp fra disse kildene. Et spesial-uttrekk av kjørelengdestatistikken (SSB) til den norske bilparken gir antall kjøretøy og kjørelengder per kommune differensiert på kjøretøytype, alder/Euroklasse, drivstoff og størrelse. I tillegg bygger NERVE på et sett med HBEFA-utslippsfaktorer for en detaljert inndeling av kjøretøyparken etter alder og teknologi og etter forskjellige kjøresituasjoner (hastighet, stigning, trafikkflyt, veitype og omgivelse).

Prinsipielt kan alle beregninger av utslipp (E) i NERVE beskrives som trafikkarbeid (TA) ganget med en utslippsfaktor (EF):

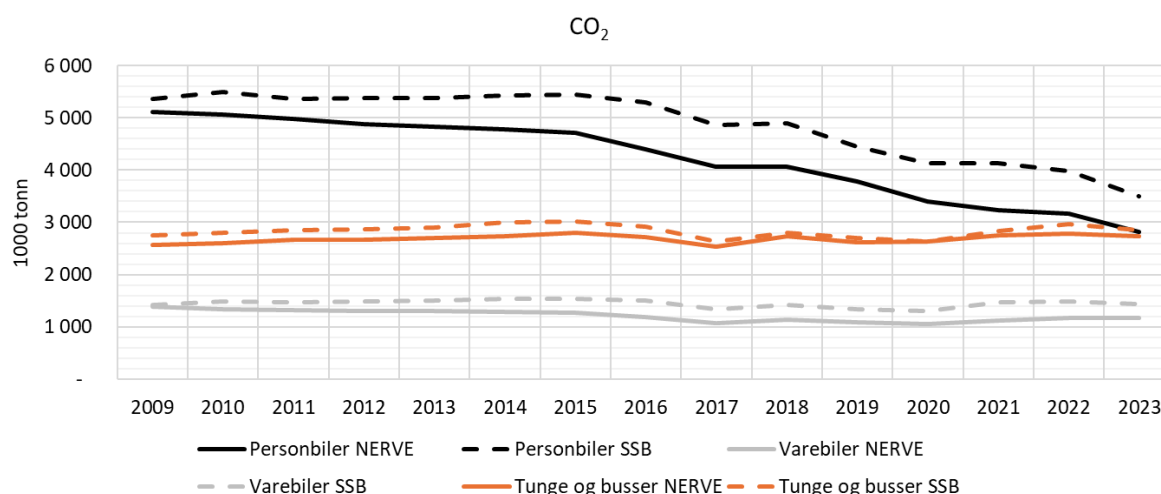
$$E = TA \times EF$$

Trafikkarbeidet er basert på transportmodellene (RTM, NTM6, NGM) skalert med utviklingen i trafikkteLLinger (SVV) over tidsserien. Utslippsfaktoren er basert på en beregning som kombinerer bilparksammensetningen (SSB) med utslippsfaktorene (HBEFA). Utslippsfaktorene (HBEFA) er både påvirket av bilparksammensetningen, men også kjøresituasjonene på veinettet som er gitt fra transportmodellene og NVDB. I tillegg anvender NERVE informasjon om *hvor* bilene kjører gjennom en matrise som anslår en fordeling av trafikkarbeidet i og mellom kommuner ved en

trafikkutvekslingsmatrise for lette kjøretøy basert på RTM og NTM6. Denne matrisen benyttes for personbiler og varebiler. Det er også utviklet en trafikkutvekslingsmatrise for tunge kjøretøy basert på godsmatrisen (NGM). Så langt finnes det ikke en egen utvekslingsmatrise for busser. Til slutt er det også benyttet en matrise som sier noe om hvordan elbiltrafikken utveksles mellom kommuner.

Modellen er evaluert på nasjonalt nivå med data fra kjørelengdestatistikken (tabell 12575), energivarebalansen (SSB tabell 11562) og SSB sin nasjonale statistikk for utslipp av klimagasser (tabell 13931). Denne sammenligningen viser at det er ca. 11% mindre trafikkarbeid for personbiler og varebiler samlet. Sammenligningen med nasjonal klimagasstatistikk (SSB, se figur under), som er beregnet «top-down» fra drivstoffsalg og fordelt på kjøretøygrupper ved kjørelengdestatistikken, viser at varebiler og personbiler ligger samlet 19% under nasjonal statistikk i 2023, eller 17% under for bensin og 22% for diesel. Gitt at NERVE og SSB-beregningene har vidt forskjellig utgangspunkt, «bottom-up» versus «top-down», og gitt forskjellene i total kjørelengde og beregnet trafikkarbeid, er avvikene for personbil og varebil innenfor hva som kan forventes.

For tunge kjøretøy og busser i 2023 er beregnet utslipp ca. 4% lavere i NERVE enn i SSB-statistikken på tross av at beregnet trafikkarbeid i NERVE er 22% høyere enn kjørelengdestatistikken. Det er større usikkerhet i beregningene for tunge, bl.a. fordi NERVE inkluderer trafikkarbeid for utenlandske lastebilers kjøring i Norge mens SSBs kjørelengdestatistikk ikke har med disse bilene. Det er også usikkerheter knyttet til omfanget av tomgangskjøring og kjøring med henger.



Figur: Sammenligning av beregnet utslipp av CO₂ (ktonn) fra SSB-statistikken (tabell 13931) med NERVE for kjøretøyklassene personbil, varebil og tunge kjøretøy (inkludert buss).

Begrep og symboler

Begrep og forkortelser	Forklaring
CNG	«Compressed Natural Gas»
CO	Karbonmonoksid
HBEFA	HandBook of Emission Factors for Road Transport
Kjøresituasjoner	Forhold ved kjøring på vei (hastighet, stigning, trafikkflyt, veitype og omgivelse)
Kjøretøy	Statens vegvesens kodegruppe 100-300
Kjøretøykategori	Den mest detaljerte inndelingen av kjøretøy i modellen (de 307 kategoriene)
Kjøretøyklasser	Hovedinndeling av kjøretøy i buss, lette biler og tungtransport. Veitrafikken i Regional Transportmodell (RTM) har denne differensieringen.
Kjøretøytyper	SSBs inndeling i typene moped, MC, personbil, små godsbiler, lastebil, trekkbil, turbuss og bybuss.
LCV	«Light Commercial Vehicle» / Varebiler / Små godsbiler (SSB)
LPG	«Liquified Petroleum Gas»
NERVE	«Norwegian Emissions from Road Vehicle Exhaust»
NMHC	Totale hydrokarboner med unntak av metan (CH ₄)
NVDB	Nasjonal vegdatabank
PC	Personbil «Personal Car»
PM	«Particulate matter», svevestøv
RTM	Regional Transportmodell
SSB	Statistisk sentralbyrå (Norge)
Trafikkarbeid	Kjørelengde (km) beregnet fra trafikk (ÅDT) ganget med veilengde i RTM
Trafikkflytsituasjoner	Angir trafikkflyt fra ingen til stor grad av forsinkelse/kø. Fri flyt: «Free flow», tett trafikk: «Heavy», mettet trafikk: «Saturated», og to graderinger av trafikk i kø: «Stop&Go» og «Stop&Go2».
Veilenke	En gitt veistrekning mellom to punkt i RTM/NVDB
Veitype	HBEFA sin inndeling av veier etter type (se Tabell 1)
Veiklasse (VK)	Inndeling av veier i europa- (EV), riks- (RV), fylkesvei (FV), kommunale (KV) og private veier (PV).
YDT	Yrkesdøgntrafikk / virkedøgntrafikk
ÅDT	Årsdøgntrafikk. Gjennomsnittlig trafikk tall/trafikkmengde over et døgn for et bestemt år gitt i antall biler per veistrekning.
Symbol i ligninger	Begrep og forklaring
<i>E</i>	Utslipp/«Emissions» gitt per masseenhet (g)
<i>EF</i>	Utslippsfaktor/«Emission factor». Faktor som bestemmer utslipp ved et gitt aktivitetsnivå (g/km)
<i>EL</i>	Elbil-andel
<i>ELex</i>	Elbil-utveksling som gir en elbilandel som er betinget på hvilken kommune som reisen foregår til og fra
<i>KL</i>	Kjørelengde gitt av SSB sin statistikk (km) per kjøretøykategori
<i>KP</i>	Fordeling av bilpark på kjøretøykategoriene gitt etter kjørelengdestatistikk. Gitt som fraksjon [0,1]
<i>L</i>	Lengde på en gitt veilenke (km)
<i>I_i</i>	Trafikkindeks for tellepunktet <i>i</i>

TA	Trafikkarbeid, gitt som kjøretøykilometer
TE	Trafikkutveksling/«Traffic exchange». Fordelingen av opphavskommuner til trafikken i en gitt kommune. Gitt som fraksjon av totalt trafikkarbeid [0,1] i kommunen
TE*	Trafikkutveksling*/«Traffic exchange»*. Trafikkarbeid utført av biler registrert i opphavskommune til trafikken i annen kommune. Gitt som fraksjon av totalt trafikkarbeid [0,1] fra opphavskommunen.
TP	Fordeling av kjøring i kommunen ved forskjellige kjøresituasjoner. Gitt som en fraksjon [0,1] for hver kjøresituasjon (hastighet, stigning, trafikkflyt, veitype og omgivelse)
Q	ÅDT for tellepunkt

Indeks i ligninger**Begrep og forklaring**

<i>f</i>	Kjøretøyklassene (lette, tunge og busser) / indeks for fylker
<i>k</i>	Kommune
<i>o</i>	Opphavskommune for en reise ved beregning av trafikkutveksling
<i>r</i>	Veilenke
<i>S,D,C,R,E</i>	Angir kjøresituasjoner: <i>S</i> =Hastighet / «Speed», <i>D</i> =Stigning / «Declination», <i>C</i> =Trafikkflyt / «Congestion», <i>R</i> =Veitype / «Roadtype», <i>E</i> =Omgivelse / «Environment»
<i>V</i>	Kjøretøy/«Vehicle» inndeling i 220 kjøretøykategorier

NERVE – en utslippsmodell for veitrafikk

Dokumentasjon av revidert beregningsmodell for utslipp fra veitrafikk i norske kommuner

2 Innledning

2.1 Bakgrunn

Arbeidet med NERVE («Norwegian Emissions from Road Vehicle Exhaust») startet i 2017, men bygget den gang på modeller og beregningsmetoder som går mye lenger tilbake i tid, se for eksempel NILUs tidligere metode beskrevet av Lopez-Aparicio m.fl. (2015) og SSB sin beregningsmetode for utslipp fra veitrafikk i Holmengren og Fedoryshyn (2015). Disse metodene benyttet seg også av utslippsfaktorer fra HBEFA («Handbook Emission Factors for Road Transport»), bilparksammensetning fra Statistisk sentralbyrå (SSB) og trafikkdata, og tok høyde for en rekke faktorer som kaldstart, kjøring, hastighet, stigning, lastegrad, osv.

NERVE-modellen ble utviklet for å beregne det historiske utslippet av klimagasser fra veitrafikk i norske kommuner. Utslippstall samt utslippsfaktorer inngår i klimagassregnskapet for kommuner og fylker¹. NERVE-modellen kan differensiere mellom utslipp som skjer *innen* et geografisk område og utslipp fra trafikk som har sitt *opphav* fra et geografisk område. Modellen anvender de mest detaljerte datasettene for bilpark, utslippsfaktorer, trafikk og veier for spesifikke lokale forhold. Datasettene er kombinert i en datastruktur som gjør at resultat kan aggregeres på et lite eller et stort geografisk område, f.eks. hele Norge. NERVE kan således betegnes som en «bottom-up»-utslippsmodell, fordi den er bygget opp «nedenfra» fra detaljerte datakilder. NERVE kan klassifiseres som en «Tier 3»-metode med høyeste grad av kompleksitet og nøyaktighet etter IPCC² og EEAs (2023) retningslinjer for utslippsrapportering.

I 2020 ble NERVE utvidet til også å beregne luftkvalitetskomponenter på veilenkenivå og disse dataene er tilgjengelige i Nasjonalt utslippssystem og -database for lokal luftforurensning som blant annet benyttes til varslingstjenesten «Luftkvalitet i Norge»³, Fagbrukertjenesten for luftkvalitet⁴ og Tiltakskalkulator for luftkvalitet⁵.

NERVE er programmert i Matlab som er en lisensiert programvare, men selve kildekoden til NERVE er åpent tilgjengelig⁶. Denne rapporten er en revisjon av NILU-rapporten (Weydahl et al., 2018) som beskriver den første versjonen av NERVE. Siden rapporten fra 2018 ble utgitt har det vært vesentlig videreutvikling av modellen og koden (Grythe et al., 2022). Dette dokumentet er ment å dokumentere hele modellen slik den fremstår i dag.

2.2 Modellens formål

Hovedformålet med NERVE er å beregne historiske klimagassutslipp fra veitrafikken på kommunenivå, men modellen beregner også utslipp av komponenter som påvirker lokal luftkvalitet. Målsettingen er at modellen skal kunne fange opp effekten av gjennomførte tiltak nasjonalt og lokalt som kan påvirke utviklingen i utslipp i hver kommune. NERVE beregner historiske utslipp innenfor den

¹ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/> (sektor 4)

² https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf

³ <https://luftkvalitet.miljodirektoratet.no/>

⁴ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/fagbrukertjeneste-for-luftkvalitet/>

⁵ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/tiltakskalkulator-for-luftkvalitet/>

⁶ <https://git.nilu.no/emissionmodels/NERVE>

kommunegrensen som er gjeldende når oppdaterte utslippsdata presenteres. Det vil si at utslippsutviklingen i prinsipp ikke er påvirket av historiske endringer i kommunegrenser. NERVE beregner også utslipp med utgangspunkt i de reisene som en kommunes innbyggere foretar seg. Her vil også forholdene på veinettet i de kommunene som innbyggerne reiser til/i påvirke det beregnede utslippet.

NERVE er bygget opp slik at den beregner utslipp og utslippsfaktorer for forskjellige kjøretøygrupper på kommunenivå. Men modellen kan også beregne utslipp fra spesifikke veilenker, eller veilenker innenfor et angitt område. Dette er særlig nyttig for luftkvalitetsberegninger, men kan også benyttes til for eksempel å beregne utslipp innenfor delområder av kommuner, f.eks. utslipp innenfor Ring 2 i Oslo.

Foruten klimagassregnskapet for norske kommuner har NERVE blant annet blitt benyttet ved utredning av nullutslippssone i Oslo (Bymiljøetaten Oslo kommune, 2023), i varslingstjenesten for luftkvalitet og ved utredning av luftkvalitet i en rekke norske kommuner f.eks. (Weydahl et al., 2023; Weydahl & Høiskar, 2022). NERVE er en modell som i utgangspunktet beregner utslippet historisk, men har likevel et rammeverk som gjør den godt i stand til å bli brukt i prognoser. Eksempel på slik bruk er i forbindelse med tiltaksutredninger.

NERVE er ikke begrenset til norske datasett og har gjennom tilpasning også blitt benyttet ved beregninger i flere land (Broin et al., 2022; Grythe et al., 2022; Grythe & Lopez-Aparicio, 2021; Hassani et al., 2024). I tillegg har detaljerte data fra NERVE også blitt benyttet til dybdestudier av enkelte norske kommuners utslipp (Sousa Santos et al., 2020). NERVE har også blitt benyttet som datakilde til flere framskrivinger av utslipp (Børke et al., 2022; Korsbakken et al., 2022; Romundstad et al., 2020; Aamaas et al., 2022).

2.3 Avgrensing

NERVE beregner bare direkte utslipp fra forbrenning av drivstoff i kjøretøy med kjøretøygruppe med kode 100 (Personbil), 200 (Buss) og 300 (Vare og Lastebil) etter statens vegvesens kodegrupper⁷. Fra denne definisjonen er kjøretøy registrert med kode 400 (traktor), 500 (Motorredskap), 600 (Moped og motorsykkel) ikke inkludert. Den siste kodegruppen, 700 (Hengere), har ikke egne utslipp i NERVE, men er implisitt inkludert gjennom påslag for tunge kjøretøy. Dette vil si at anleggsmaskiner, landbruksmaskiner og alt som går på avgiftsfri diesel ikke er med i beregningen. I klimagassregnskapet for kommuner er disse utslippene dekket av «Annen mobil forbrenning»⁸. Modellen Emsite (Lopez-Aparicio & Grythe, 2022) tar for seg utslipp fra maskiner i bygg- og anleggsvirksomhet.

Indirekte utslipp ved produksjon og transport av nye biler og destruksjon/resirkulering av gamle biler er ikke inkludert i NERVE. Det samme gjelder indirekte utslipp ved produksjon av drivstoff, som raffinering av råolje og biologisk (bio) baserte kilder til drivstoff, og klimagassutslipp ved produksjon av elektrisitet. Ved dette regnes elektriske (el) biler som utslippsfrie og forbruk av biodrivstoff regnes også uten bidrag til fossilt CO₂.

Klimagassene som inngår i beregningen er CO₂, CH₄ og N₂O. I tillegg beregnes drivstoff- og energiforbruket på vei. Viktige luftkvalitetskomponenter som NO_x, PM og NMHC (totale hydrokarboner med unntak av metan) kan også beregnes, samt alle resterende HBEFA komponenter⁹.

Øvrige begrensninger av modellen er diskutert i kap. 3.9.

⁷ <https://www.ssb.no/klasse/klassifikasjoner/111>

⁸ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/> (sektor 7)

⁹ Se utslippskomponenter: <https://www.hbefa.net/en/methodology>

2.4 Rapportens struktur

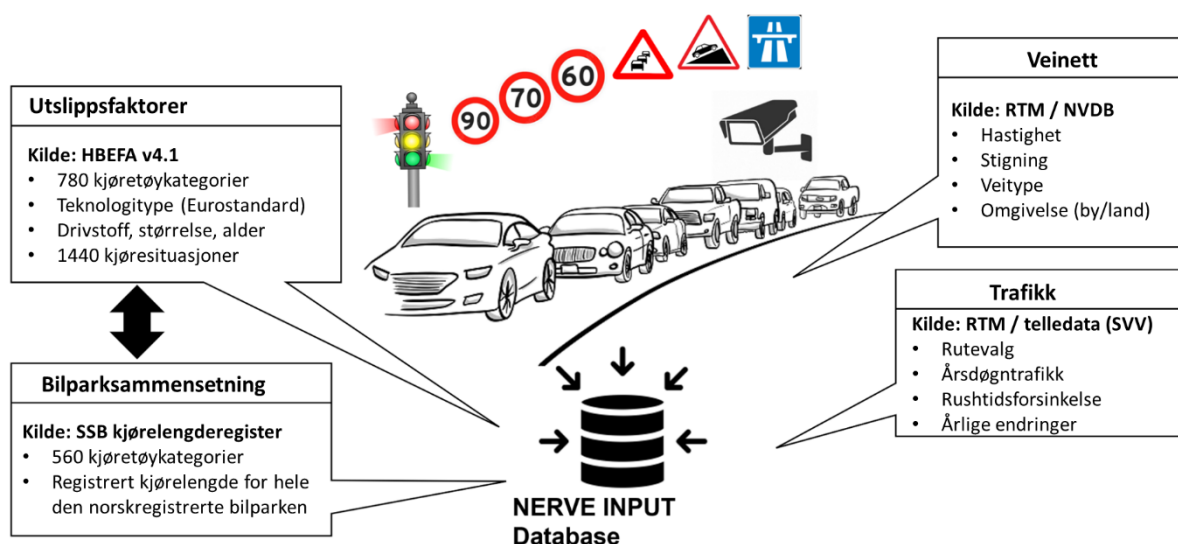
Kapittel 2 presenterer inngangsdata til NERVE med de nødvendige tilpasningene som kreves før utslippsberegningene som er beskrevet i kapittel 0. Kapittel 5 presenterer «benchmarking» av nasjonale tall mot tilgjengelige indikatorer. Trafikkberegningene er presentert i Vedlegg A, trafikkskaleringen i Vedlegg B, mens Vedlegg C beskriver implementeringen av kaldstart og tilhørende sensitivetsberegninger.

3 Beskrivelse av inngangsdata til NERVE

De viktigste datasettene som inngår i NERVE er:

- Utslippsfaktorer fra “HandBook of Emission Factors for Road Transport” (HBEFA) versjon 4.1
- Beregnet trafikk fra de 5 regionversjonene av Regional persontransportmodell (RTM), Nasjonal persontransportmodell (NTM6), samt Nasjonal godstransportmodell (NGM). Persontransportmodellene er estimert basert på data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen. I alle modellene benyttes data om det norske veinettet som er hentet fra Nasjonal vegdatabank (NVDB). Se Vedlegg A.
- Et spesial-uttrekk av SSBs kjørelengdestatistikk som dekker den norske bilparken
- Statens vegvesen (SVV) sine tellepunkt for veitrafikk med antall passeringer fordelt på lengdeklasser, samt veitrafikkindeksen for tunge kjøretøy.
- Omsetningstall for biodrivstoff (SSB/Miljødirektoratet).

Figur 1 illustrerer forenklet hvordan disse datakildene settes sammen i utslippsberegningene i NERVE. I de påfølgende delkapitlene er hver av disse datasettene presentert nærmere med de nødvendige tilpasningene og antagelsene som kreves før datasettene kan kombineres i utslippsberegningen. Første delkapittel 3.1 introduserer HBEFA utslippsfaktorer og inndeling i kjøretøytyper, kjøresituasjoner og veityper. I andre delkapittel 3.2 presenteres RTM-beregningene og hvordan kjøresituasjoner og veityper definert i RTM kobles til HBEFA. Delkapittel 3.3 presenterer kjørelengdestatistikken og koblingen til kjøretøykategorier som er definert i HBEFA. I kapittel 3.4 beskrives trafikkutvekslingen som er beregnet fra RTM. Trafikkutvekslingen brukes til å definere en gjennomsnittlig bilpark i hver kommune og i beregningen av utslippet fra kommunens innbyggere. En egen drivlinjedifferensiert utveksling (kap. 3.5) brukes til å korrigere for at kjøring med fossil/el påvirkes av forskjellige insentiver (bompenger). Kap. 3.6 presenterer metodikken for trafikkskalering som også er gitt i større detalj i Vedlegg B. Kap. 3.7 beskriver datasettet for bioinnblanding, kap. 3.8 tilpasninger av data til kommuneinndeling, mens kap. 3.9 gir en oversikt over de vesentligste begrensningene i beregningsmetoden.



Figur 1: Prinsipiell skisse av hvordan utslippsberegningen i NERVE er bygget på de forskjellige datakildene. Figuren er hentet fra (Grythe et al., 2022) og oversatt til norsk.

3.1 HBEFA: Utslippsfaktorer

HBEFA er finansiert av statlige organer i Tyskland, Frankrike, Sveits, Østerrike, Sverige og Norge. I Norge er det Miljødirektoratet som er partner i dette samarbeidet. HBEFA er et verktøy eller oppslagsverk for utslippsfaktorer for et bredt spekter av kjøresituasjoner for forskjellige kjøretøy og utslippskomponenter samt energi og drivstofforbruk. HBEFA skiller mellom termisk stabilisert motoroperasjon «hot», kaldstartutslipp fra oppvarmingsfasen «cold start» og ikke-eksosutslipp fra fordamping av drivstoff. Utslipp fra fordamping av drivstoff er ikke inkludert i beregningen i NERVE.

HBEFA har nasjonalt sammensatte kjøretøyparker for medlemslandene for personbiler (PC), lette kommersielle biler (LCV) og busser og tunge kjøretøy. For Norge er data levert av SSB. Aggregerte utslippsfaktorer på kommunenivå er tilgjengelig som tilleggsinformasjon i Miljødirektoratets tjeneste.¹⁰ HBEFA har også informasjon på et mer disaggregert nivå, hvor utslippsfaktorer er gitt for en rekke underkategorier av kjøretøy, og det er slik HBEFA anvendes i NERVE. HBEFA versjon 4.1 har i sin mest disaggregerte form (varme) utslippsfaktorer for bilparken for Norge på 778¹¹ unike kjøretøytyper (ekskludert tohjulinger). Det skilles på type kjøretøy, vekt/størrelse, eurostandard, drivstoff, hybrid-teknologi og forskjellige eksos-rensesystemer som partikkelfilter for dieslbiler og renseteknologi for NO_x-reduksjon.

Utslippsfaktorene for hver kjøresituasjon i HBEFA er satt sammen ved å kombinere utslipp fra kjøresyklus med modellen PHEM¹² og disse kjøresyklusene har en snitthastighet som kjøretøyet faktisk kjører i. Ved for eksempel «Trunk City» 60 km/t i «Free flow» er snitthastigheten 63,7 km/t mens den synker til 57 km/t «Heavy» trafikk.

Hver kjøretøytype har tilhørende utslippsfaktor for forskjellige kjøresituasjoner og veityper som beskrevet i Tabell 1. Det er ca. 1440 slike forskjellige kjøresituasjoner i HBEFA. Kjøresituasjonene er differensiert på urbane og landlige (rurale) områder, på veitype, stigning, hastighet og på forsinkelse/kø. Veitypene i Tabell 1 er spesifisert som:

¹⁰ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/>

¹¹ I praksis er det ikke mulig å skille alle kjøretøy i HBEFA, så effektivt er det noe færre typer kjøretøy enn 778 som tas inn i beregningen

¹² <https://www.itna.tugraz.at/en/research/areas/em/simulation/phe.html>

- **«Access»:** Typisk små kommunale og private «tilbringer»-veier som leder inn på et større veinett.
- **«Local»:** Små lokale private og kommunale veier med årsdøgntrafikk (ÅDT) større enn for «Access».
- **«Distribution»:** Noe større «fordelingsveier» definert som riksveier og fylkesveier samt kommunale og private veier med høyere ÅDT.
- **«Trunk»:** Er større «stamveier», kan være rurale riks- og fylkesveier, men også kommunale og private veier med fartsgrense fra 60 km/t og oppover. «Trunk/MW City» er veier med flere lyskryss, fotgjengerfelt enn «Trunk/MW Nat».
- **«MW»/«semi-MW»:** Er større motorveier som defineres ved fylkes, riks- og europaveier med fartsgrense 80 km/t og høyere.

Tabell 1: Oversikt over tilgjengelige kjøresituasjoner i HBEFA v4.1. For alle veityper og hastigheter er det definert faktorer for forskjellig stigning og kø-situasjon. De forskjellige veitypene er definert (markert med «X») for de forskjellige hastighetene som er relevant. Fartsgrenser over 110 km/t er ikke relevant i Norge.

HBEFA v4.1 «Driving situations» / kjøresituasjoner												
URBAN ROADS	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Access	X	X	X									
Local	X	X	X	X								
Distr	X	X	X	X	X	X						
Trunk City			X	X	X	X	X					
Trunk Nat					X	X	X	X	X			
MW City				X	X	X	X	X	X			
MW Nat						X	X	X	X	X	X	
RURAL ROADS	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Access	X	X	X									
Local			X	X	X	X						
Local Sin.			X	X	X	X						
Distr			X	X	X	X	X					
Distr. Sin.			X	X	X	X	X					
Trunk				X	X	X	X	X	X			
Semi MW						X	X	X	X	X	X	
MW						X	X	X	X	X	X	X
Slope	0 %	2 %	4 %	6 %	-2 %	-4 %	-6 %	±2%	±4%	±6%		
Congestion	Free-flow		Heavy		Saturated		Stop&Go		Stop&Go2			

En veilenke i RTM er blant annet spesifisert ved sin hastighet, kurvatur, veiklasse (europa-, riks- og fylkesveier, kommunale og private veier) og beregnet årsdøgntrafikk (ÅDT). For å kategorisere en veilenke i RTM i henhold til HBEFA sin inndeling følges prosedyren:

- For private (PV) veier velges alltid minste tilgjengelige HBEFA veitype.
- For kommunale veier (KV) velges «Local», men veitypen kan bli justert opp (til «Distribution» eller «Trunk») eller ned (til «Access») etter ÅDT og hastighet på veien.
- For fylkes- (FV) og riksveier (RV) velges «Trunk» og «semi-MW», men også disse kan justeres opp (til «MW») eller ned (til «Distribution») etter hastighet og ÅDT.
- For europavei (EV) velges motorvei («MW»), dernest største tilgjengelige vei for hastigheten.

- NERVE benytter ikke lenger «sinuous»-veiene («Sin.») ettersom dette er en kjøresyklus beregnet på hårnålssvinger og ikke vanlige svingete norske veier. Det er få slike veier i Norge med en vesentlig andel trafikk.

Som Tabell 1 viser er det angitt utslippsfaktorer for et visst relevant utvalg av hastigheter for hver veitype. For majoriteten av veilenkene i RTM er det relativt rett frem å følge prosedyren over for å kategorisere en veilenke i RTM til veitypene i HBEFA. Men det finnes kombinasjoner av veiklasser, hastigheter og ÅDT som faller utenfor (f.eks. europavei med 40 km/t sone) og det er derfor definert en del særregler for å håndtere disse veiene (dokumentert i koden til NERVE).

NERVE tar høyde for utslipp ved kaldstart for lette kjøretøy. For tunge kjøretøy er det ikke tatt høyde for kaldstart fordi slike faktorer ikke eksisterer i HBEFA i versjon 4.1. Dette vil bli tilgjengelig med den kommende oppdateringen, i versjon 5.1. Man kan anta at det relative bidraget til utslipp fra tunge kjøretøy er mindre enn for lette kjøretøy, fordi disse kjøretøyene kjører vesentlig lenger for hver tur. Kaldstartutslipp er gitt som gram utslipp per start og avhenger av temperaturen på motoren ved start, omgivelsestemperatur, lengde på reisen og tid siden forrige tur. Vedlegg C beskriver effekten av disse parameterne på kaldstartutslippet. Det eksisterer ca. 170 000 slike utslippsfaktorer for lette kjøretøy i HBEFA. Antagelsen om antall og lengde på turer er hentet fra HBEFA basert på den norske reisevaneundersøkelsen (RVU). SSB legger inn disse dataene gjennom HBEFA-samarbeidet. Isolert sett øker kaldstart de beregnede utslippene av CO₂ i NERVE med ca. 5% nasjonalt, mens økningen for klimagassene CH₄ og N₂O og enkelte andre komponenter er vesentlig høyere (se Vedlegg C).

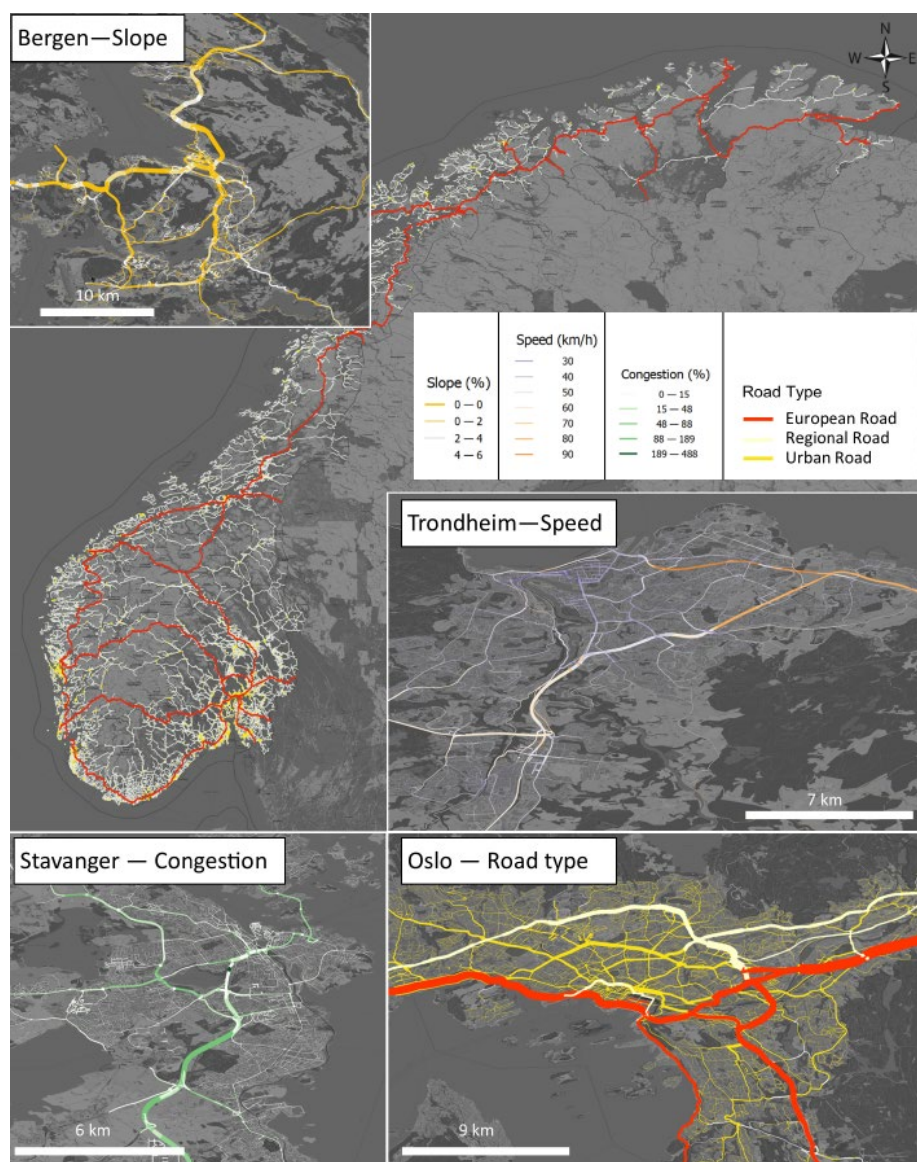
NERVE inkluderer ikke utslipp fra tomgangskjøring. Det finnes ingen datakilder som dokumenterer omfang eller geografisk fordeling og det finnes heller ikke utslippsfaktorer for dette i HBEFA. Det er antatt at bidraget er vesentlig for tunge kjøretøy hvor enkelte er avhengig av tomgang for å holde kjøleanlegg eller andre hjelpesystemer i gang. Unødvendig tomgangskjøring er ellers ulovlig¹³. NILU sammen med INERIS har nylig etablert et sett med utslippsfaktorer for tomgangskjøring som på sikt kan tas inn i utslippsregnskapet (Grythe et al., 2024(a)).

3.2 RTM: Trafikk og kjøresituasjoner

3.2.1 Trafikktall

Som grunnlag for å beregne trafikk og forsinkelser på veinettet i Norge i 2022 har TØI benyttet transportvirksomhetenes modellverktøy bestående av de fem regionale transportmodellene for reiser under 7 mil (RTM), modellen for lange reiser (NTM6) og den nasjonale godstransportmodellen (NGM). Transportmodellene og resultatene fra disse omtales videre i denne rapporten samlet som «RTM» selv om tallene stammer fra de 3 modellene RTM, NTM6 og NGM. Trafikkberegningene er dokumentert i Vedlegg A. Reiser og trafikktall fra disse modellene nettutlegges i et transportnettverk med attributter som ligger inne i nettverket fra NVDB. Dette kan være informasjon om veikategori, veinummer, distanse, skiltet hastighet, veibredde og antall kjørefelt. Figur 2 illustrerer fordelingen av stigning, forsinkelse, fartsgrense og veitype i noen utvalgte norske byer.

¹³ <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1986-03-21-747> (§ 16)



Figur 2: Fordelingen av stigning («Slope»), forsinkelse («Congestion»), fartsgrense («Speed») og veitype («Road type») i noen utvalgte norske byer. Figuren er hentet fra Grythe et al. (2022).

Sammenligning av nasjonale tall for trafikkarbeid i transportmodellen med kjørelengdestatistikken for 2022 viser 11% lavere trafikkarbeid for lette kjøretøy, 21% høyere trafikkarbeid for buss og 22% høyere trafikkarbeid for tunge kjøretøy. Disse avvikene er vesentlig mindre enn i tidligere utgaver av RTM som ble benyttet i de første versjonene av NERVE (Weydahl et al., 2018). Det er forventet at trafikkarbeidet for tunge skal være høyere i RTM enn i kjørelengdestatistikken fordi utenlandske lastebiler og vogntog i større grad kjører i Norge enn motsatt. En studie utført av TØI (Nævestad et al., 2022) anslår trafikkarbeid med utenlandske tunge kjøretøy til omtrent 8% av totalt «tungt» trafikkarbeid i Norge. Avviket til kjørelengdestatistikken er diskutert i større detalj i Vedlegg A. Merk at turbusser, dvs. busser som ikke er en del av rutegående kollektivtrafikk, ikke er kodet inn i de regionale transportmodellene og derfor ikke er inkludert i trafikkgrunnlaget.

3.2.2 Hastighet

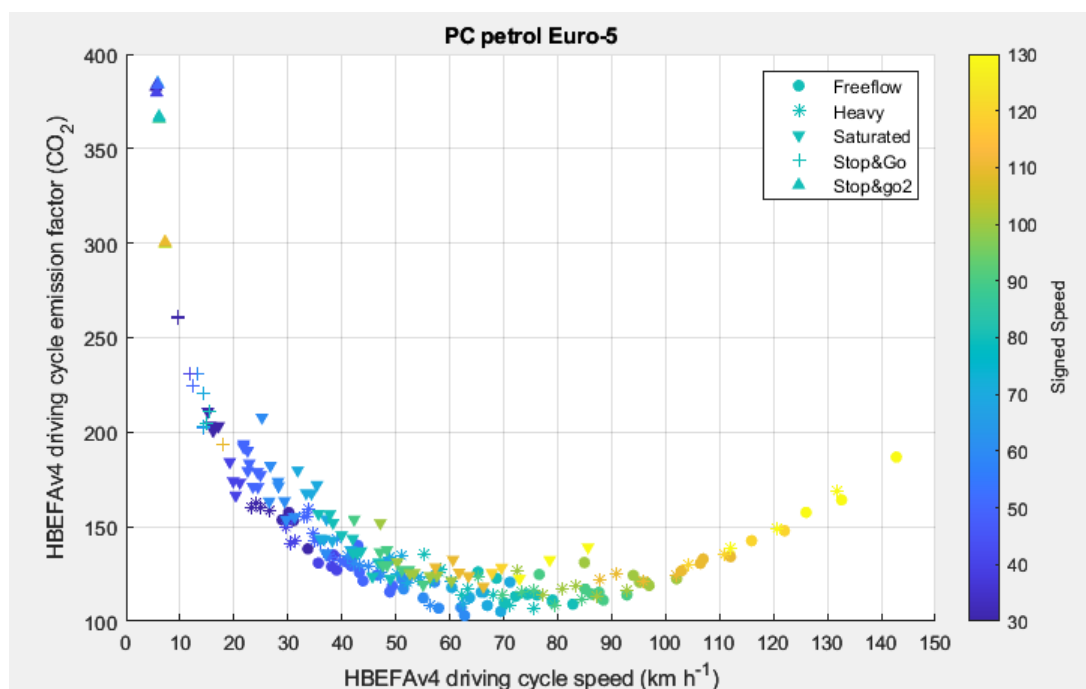
I beregning av fremføringshastighet i RTM benyttes det en egen fartsmodell som beregner hastigheten ved fri trafikkflyt. I tillegg til skiltet hastighet avhenger denne blant annet av veistandard og kurvatur. For beregning av utslipp med NERVE benyttes skiltet hastighet og ikke denne fremføringshastigheten.

Dette er fordi HBEFAs utslippsfaktorer allerede tar høyde for at en angitt skiltet hastighet for en viss veitype har et kjøremønster som reflekterer beskaftenheten til denne veien. F.eks. er det tatt høyde for at en vei i bystrøk («urban») med fartsgrense 50 km/t vil ha viss mengde lyskryss, rundkjøringer og fotgjengeroverganger og derfor en høyere utslippsfaktor enn tilsvarende vei i landlige strøk («rural») uten samme mengde slike hindringer. For tunge kjøretøy har HBEFA innebygget en hastighetsbegrensning på høyhastighetsveier som reflekterer regelverk og fysisk fartssperre i disse kjøretøyene. Figur 3 viser effekten av kjørehastighet på utslippsfaktor for en gitt kjøretøyklasse. Nasjonalt går ca. 24% av trafikkarbeidet på veier med hastighet 50 km/t eller lavere, ca. 26% i 60 og 70 km/t, ca. 35% i 80 km/t og resterende 15% på høyere hastigheter. Dette er i henhold til skiltet hastighet på det veinettet fra NVDB som er benyttet i RTM.

3.2.3 Kjø/tidsforsinkelse

HBEFA definerer utslippsfaktorer for 5 trafikkflytsituasjoner; «Free flow», «Heavy», «Saturated» og to graderinger av kø: «Stop&Go» og «Stop&Go2». HBEFA oppgir gjennomsnittsfart for hver trafikkflytsituasjon vist gjennom eksempelet i Figur 3. Gjennomsnittsfarten er omregnet til en gjennomsnittsforsinkelse og dette er brukt for å definere tersklene for trafikkflytsituasjonene. F.eks. vil en vei med skiltet hastighet 60 km/t kunne ha en «Stop&Go2»-hastighet på 5 km/t.

For å bestemme på hvilke veier det er kø benyttes RTM-beregnet forsinkelse ved morgenrush (7-9) og ettermiddagsrush (15-17). For hver vei er det en assosiert kjørehastighet i HBEFA. Denne kan generelt beskrives ved fritt-flytende trafikk å ligge noe over fartsgrensen ved rurale veier, og noe under for urbane veier. Den er kun noen få prosent under skiltet hastighet ved «Heavy» trafikk. Innslagspunktet for «Heavy» vil altså ligge ved en meget liten forsinkelse. Alle kjørehastigheter og assosierte utslippsfaktorer for en flat vei er vist i Figur 3 for en typisk kjøretøykategori (personbil, bensin, Euro 5).



Figur 3: Utslippsfaktorer (g per kilometer) og kjørehastigheter (kilometer per time) assosiert med forskjellige fartsgrenser og trafikktheteter i HBEFA v4 for personbiler. For de fleste personbiler finnes de laveste utslippsfaktorene rundt 70 km/t. Utslippsfaktoren er generelt større ved endring av hastighet som følge av kø, da dette innebærer mer akselerasjon og oppbremsing enn ved lavere skiltet hastighet. Data i figuren er for en Euro -5 standard (2011-2014) bensinbil på flate veier.

Ser man på trafikkvolum ved forskjellige tider av døgnet kan opptil 40% av døgnetrafikken regnes som berørt av rushtiden. Dette anslaget er basert på et begrenset datasett for Oslo med både trafikktegninger og hastighetsmålinger på timesbasis. På noen veier er det også forsinkelser på formiddagen, så på noen få større veier er det også forsinkelser utenom rushtiden. På de fleste veier får ikke distinksjonen mellom «Free Flow», «Heavy» og «Saturated» vesentlige utslag i form av endrede utslipp, da kjørehastighet og mønster er relativt like. Ved større forsinkelser får det større utslag da utslippsfaktoren (g/km) øker drastisk som vist for personbil bensin i Figur 3.

Det er forsøkt å omsette beregnet rushtidsforsinkelse i RTM direkte til trafikkflytsituasjoner. Dette har en rekke utfordringer, blant annet blir resultatet at beregnet forsinkelse vesentlig mindre sammenlignet med ruteplanleggere. Det er derfor etablert en relasjon mellom RTM-forsinkelse og trafikkflytsituasjoner basert på et begrenset utvalg av hastighetsmålinger som har vært tilgjengelig for Oslo-området, samt sammenligninger med ruteplanleggere (f.eks. «Google traffic»). Terskelen for vesentlig «Stop&Go» trafikkflyt er regnet ved 15% beregnet forsinkelse i RTM. I tillegg er det innført et innslagspunkt på 50% beregnet forsinkelse. Ved 50% beregnet forsinkelse regnes det også at trafikken utenfor rushtiden er påvirket av kø. Fordelingen i trafikkflytsituasjoner ved beregnet forsinkelse er gitt i Tabell 2. Anslagene på andel trafikk påvirket av forsinkelse, som videre gir økte utslippsfaktorer, må ansees som basert på grove antagelser. Det har manglet data fra veiene for å validere kjørehastigheter og hvor godt RTM treffer på den faktiske forsinkelsen på veiene. Effekten av spesielt «Stop&Go2» er betydelig, og usikker.

Tabell 2: Anslag på fordeling av trafikkflytsituasjoner ved angitt beregnet forsinkelse i RTM 2022.

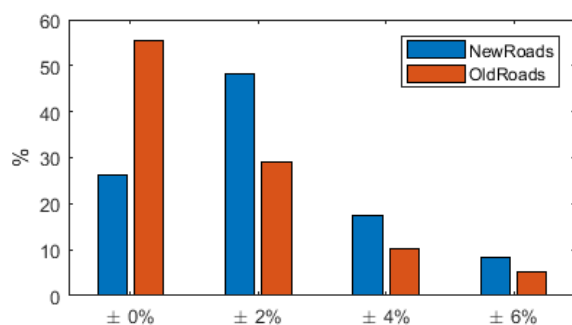
Beregnet forsinkelse i rushtid i %	Free flow	Heavy	Saturated	Stop&Go	Stop&Go2
0% < C < 1%	1	0	0	0	0
1% < C < 15%	0,64	0,3	0,05	0,01	0
15% < C < 50%	0,6	0,15	0,1	0,1	0,05
C > 50%	0,4	0,24	0,18	0,12	0,06

Ved antagelsene vi har brukt er ca. 3,2% av trafikkarbeidet i NERVE beregnet å gå i «Stop&Go» og 1,4% i «Stop&Go2», ca. 20% av trafikken i «Saturated» og «Heavy» og resterende ca. 75% er «Free flow».

Forsinkelse («Heavy», «Saturated» og «Stop&go» 1 og 2) øker beregnet nasjonalt CO₂-utslipp med ca. 8,1% relativt til en beregning uten forsinkelse. Påslaget er størst for tunge kjøretøy på 9,2% og minst for varebiler (5,6%), mens busser og personbiler har henholdsvis 6,5% og 8,4% økning. Forskjellene mellom disse kjøretøyklassene skyldes både at påslaget i HBEFA utslippsfaktorer er ulikt mellom kjøretøykategoriene, men også at kjøretøyklassene kjører på forskjellige deler av veinettet med ulik andel forsinkelse. Fordelingen av utslippsøkning ved forsinkelse er svært forskjellig mellom kommuner. Der bykommuner typisk har mellom 15% og 20% økning i utslipp fra forsinkelse (eks. Oslo 16,7%, Stavanger 16,9%, Bergen 17,5%) er det flere kommuner i rurale områder som har tilnærmet ingen forsinkelse (eks. Snåsa, Vardø).

3.2.4 Stigning

Stigningen er beregnet som total stigning og fall på en veilenke. Dette vil si at en veilenke med kupering mellom start- og endepunkt vil få beregnet en stigningsprosent, selv når start- og endepunkt ligger på samme høydenivå. Tidligere ble helning på en vei forenklet beregnet som høydeforskjellen mellom start og endepunkt (Weydahl et al., 2018). Med denne antagelsen var det et betydelig lavere antall veier som fikk definert en stigningsprosent høyere enn 0 (Figur 4).



Figur 4: Andel trafikkarbeid i hver stigningskategori. «OldRoads»: RTM-beregning 2016/2018 (Asplan Viak, dokumentert blant annet i Weydahl m.fl. (2018)) og «NewRoads»: RTM-beregning 2022 (TØI; dokumentert i Vedlegg A til denne rapporten)

I HBEFA er stigning angitt som +/- % stigning. Det vil si at det ikke skilles på retning, men at det regnes et totaltillegg for kjøring i oppover- og nedoverbakke. Dette er nøyaktig dersom det er like mye trafikk i begge retninger av veien. HBEFA definerer utslippsfaktorer for fire forskjellige stigningsprosjenter (0%, 2%, 4% og ≥6%). Den beregnede stigningen fra RTM avrundes til de fire HBEFA kategoriene. Effekten av denne avrundingsfeilen på en kommunes utslipp er vurdert å være liten.

En summering av beregnet trafikkarbeid over det norske veinettet viser at ca. 26% av trafikken foregår på helt flate veier etter definisjonen ($D < 1\%$ stigning), 48% foregår på veier med +/-2% stigning ($1\% < D < 3\%$), 17% på veier med 4% stigning ($3\% < D < 5\%$) og 8% på veier med 6% stigning ($D > 5\%$), se «NewRoads» i Figur 4. Isolert sett medfører stigningsberegningen totalt ca. 6% økning i CO₂-utslippet sammenlignet med en beregning uten stigning på veinettet. Utslippsøkningen for tunge kjøretøy er relativt sett større enn for lette kjøretøy. Det er også store geografiske variasjoner. Effekten av stigning på utslippet fra lette kjøretøy er kartlagt i (Grythe et al., 2022).

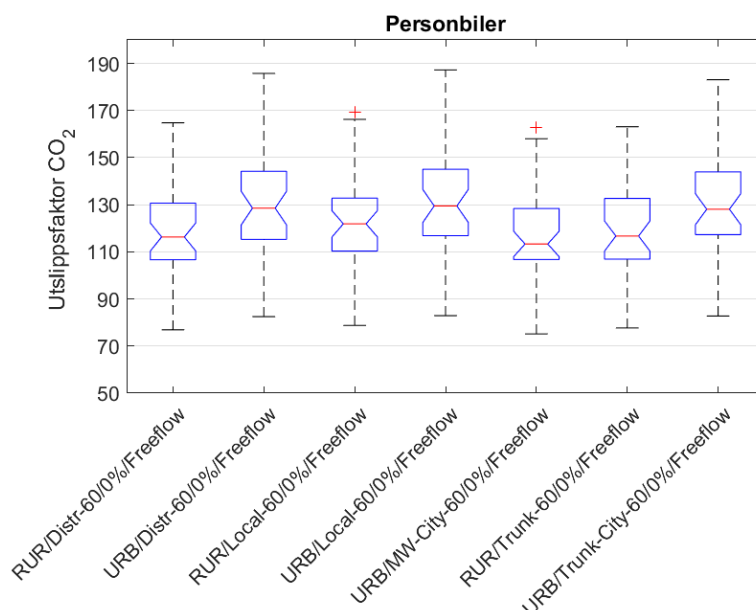
3.2.5 Veitype

HBEFA definerer utslippsfaktorer for 15 forskjellige veityper (se Tabell 1). Veitypene er inndelt i størrelse/beskaftenhet (fra småvei til motorvei) og i omgivelse («urban» eller «rural»). Det er små forskjeller i utslippsfaktorer for de to omgivelsene for samme veitype og hastighet, generelt ligger urbane veier litt høyere, da det tas høyde for mer oppbremsing ved lyskryss, fotgjengerfelt o.l. Om veien er «urban» eller ikke er basert på om veilenkens midtpunkt ligger i et tettsted etter SSBs definisjon¹⁴. Veier utenfor tettsted defineres som «rurale».

Transportmodellen definerer veiene i fire hovedveiklasser; EV, FV, RV og KV ved data fra NVDB. I tillegg er det en rekke veier som er kategorisert som private veier (PV), eller veier hvor det mangler informasjon. Veiklassene i RTM blir i NERVE oversatt til HBEFAs veityper som beskrevet i kapittel 3.1.

Veitypen har i seg selv relativt liten effekt på utslippsfaktoren (gitt samme hastighet, stigning og trafikkflyt). Figur 5 viser variasjonen i CO₂ utslippsfaktor ved forskjellige veityper gitt 60 km/t, 0% stigning og fri trafikkflyt, for et flatt gjennomsnitt av alle personbiler. Det er ca. 13% forskjell mellom største og minste middelerverdi for disse forskjellige veitypene. Den viste variasjonen representerer utslippsfaktorer for forskjellige underkategorier personbiler i HBEFA.

¹⁴ «En hussamling skal registreres som et tettsted dersom det bor minst 200 personer der (ca. 60-70 boliger). Avstanden mellom husene skal normalt ikke overstige 50 meter.» Se <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/areal/artikler/kart-og-geodata-fra-ssb#administrative> for videre definisjon og data.



Figur 5: Figuren illustrerer personbilers utslipps avhengighet av hvilken veitype de kjører på. CO₂ utslippsfaktor (gjennomsnitt = rød linje) for forskjellige veityper gitt samme hastighet (60 km/t), stigning (0 %) og trafikkflyt (fri flyt). Figuren representerer et flatt snitt av hele personbil-kjøretøyparken. Boksens midje representerer gjennomsnittet, boksen dekker 75% av dataene, mens de vertikale linjene dekker 99%. Røde kryss er utenfor 99% persentilen.

3.3 SSB: Bilparksammensetning og kjørelengder

3.3.1 Data fra kjørelengdestatistikken

SSBs kjørelengdestatistikk¹⁵ bygger på en kombinasjon av det sentrale motorvognregisteret og måleravlesninger i forbindelse med periodiske kjøretøykontroller som Statens vegvesen samler inn. I prosjektet er det benyttet et detaljert uttak av kjørelengdestatistikken som gir årlige data fordelt på 80 forskjellige kjøretøykategorier som differensierer på motorstørrelse/vekt, drivstoff- og biltyper (personbil, små godsbiler, lastebil osv.). Det er 11 kategorier for personbiler, 15 kategorier for varebiler («små godsbiler» inkludert «minibusser»), 15 kategorier busser, 19 kategorier lastebiler og 20 kategorier trekkvogner. Personbiler er differensiert på drivstoff/drivlinje, men ikke på vektclasser, varebiler er differensiert på drivstoff/drivlinje i tillegg til at det er 3 vektclasser for henholdsvis bensin og diesel. Busser, lastebiler og trekkbiler er differensiert på både drivstoff/drivlinje og vekt etter hensiktsmessig inndeling. I tillegg er hver av disse 80 klassene inndelt i 7 aldersgrupper som følger Euro-utslippsklasser. Kjørelengdestatistikken gir antall registrerte kjøretøy og gjennomsnittlig årlig kjørelengde, $KL_{V,k}$, for hver av de totalt 560 forskjellige kjøretøykategoriene, V , for hver kommune k .

Kjørelengdedataene er «prikket» i henhold til GDPR («General Data Protection Regulation») slik at ingen enkeltkjøretøy skal være gjenkjennelig. Dette vil si at enhver kjøretøygruppe i en kommune med 3 eller færre kjøretøy ikke har en opplyst kjørelengde i datasettet. For slike kjøretøygrupper kan den gjennomsnittlige kjørelengden på fylkesnivå benyttes som et anslag. Dersom det fortsatt er under 3 kjøretøy av kjøretøykategorien i fylket vil snittlengden for Norge benyttes, og dersom også denne er prikket vil gjennomsnittslengde for kjøretøyklassen bli benyttet (personbil, varebil, tung, buss). Dette vil gi marginale forskjeller i kjørelengde opp mot mer aggregert (uprikket) statistikk, og mengden kjøretøy som prikket på fylkesnivå er også svært lav. Kommune- og fylkessammenslåinger (og splitting)

¹⁵ <https://www.ssb.no/klreg>

medfører at det videre vil kunne være marginale forskjeller fra år til år når data innrettes etter ny grensesetting av kommuner og fylker (se kapittel 3.8).

3.3.2 Tilpasning til HBEFA

Det er enkelte kjøretøykategorier i SSBs kjørelengdestatistikk som ikke er differensiert i HBEFA. Det gjelder blant annet bensin lastebiler/trekkbiler for forskjellige registreringsår, differensiering på registreringsår for hybrid ladbar (bensin/diesel/personbil/varebil) og elektriske kjøretøy. Det mangler også faktorer for spesielle drivstoff som parafin og det som er angitt som «annet drivstoff» i kjørelengdestatistikken. Når tilpasningen utføres reduseres antall kjøretøykategorier i kjøretøyregisteret fra 560 til 307. Dette blir da NERVE sin fineste inndeling i kjøretøykategorier.

På samme måte finnes det heller ikke kjørelengder for alle de 778 sub-kjøretøykategoriene som er definert i HBEFA. Det gjøres derfor en kvalifisert vektet sammenslåing av disse sub-kategoriene til de 307 kjøretøykategoriene i NERVE. Dette gjelder blant annet underkategorier til Euro 6 (ab, c, d og temp), det kan være underkategorier med forskjellig renseteknologi (f.eks. EGR, SCR, DPF)¹⁶, det gjelder differensieringen på bybuss og turbuss, skille mellom LNG/LPG/CNG for gasskjøretøy, og størrelseskategorier for hybrid varebiler og busser.

For hybride og plug-in hybride kjøretøy definerer HBEFA egne utslippsfaktorer for kjøring på elektrisitet¹⁷ og for forskjellige fossile drivstoff. I praksis betyr det at NERVE gjør en statisk definisjon av andelen kjøring på hver av motorene/energikildene som blir benyttet på alle veier og i alle kjøresituasjoner. De viktigste kategoriene kjøretøy er elektrisk-bensin hybride og plug-in hybride kjøretøy, hvor det er antatt henholdsvis 20% og 40% kjøring på elektrisk fremdrift. En internasjonal studie (Plötz et al., 2022) viser at andelen kjøring på el for plug-in hybride er på mellom 45% og 49% for personbiler, mens den er mellom 11% og 15% for varebiler. En noe eldre TØI-studie basert på spørreundersøkelser (Figenbaum & Kolbenstvedt, 2016) kom fram til 55% kjøring på el for plug-in hybrid. Bruksmønster kan endre seg med pris på strøm.

NERVE benytter utslippsfaktor for gjennomsnittlig lastegrad som er basert på vekt, ikke volum. Lastegraden benyttet for tunge kjøretøy er i HBEFA v4.1 oppgitt som lastet 100%, 0% og gjennomsnittlig. I tidligere iterasjoner av HBEFA ble kun 100% og 0% oppgitt, og disse ble benyttet ved hjelp av tall for lastegrad fra Lastebilundersøkelsen, som resulterte i en lastegrad på 54%. Lastegrad 100% er basert på vekt, ikke volum. Kjøretøy kan i tillegg ha henger, som i kjørelengdestatistikken gjør at de kan ha mer vekt enn sin egen tillatte maksimalvekt. Det er antatt at trekkvogner og lastebiler med tillatt totalvekt over 7,5 tonn kan trekke henger. Dette er hensyntatt ved å flytte en viss prosentandel av kjøretøyene opp en eller flere vektclasser, hvor mellom-vektclassene er antatt å trekke henger i størst grad. Isolert sett gir dette en økning i utslippsfaktor på ca. 40% for lastebiler (RT), mens trekkvogner får en økning på ca. 20% (TT/AT). **Det er store usikkerheter knyttet til antagelsen om kjøring med henger**, og bedre data vil kunne styrke denne delen av utslippsberegningen i NERVE.

Turbusser er ikke representert i trafikkarbeidet (se Vedlegg A), og det har heller ikke så langt vært mulig å skille ut turbusser som egen kategori i kjørelengdestatistikken. Norskregistrerte turbusser utgjør anslagsvis 10% av trafikkarbeidet med buss, i tillegg kommer et betydelig (anslagsvis samme størrelsesorden) utenlandsk tilskudd av turbusser¹⁸. Effekten av dette er at NERVE har utslippsfaktorer for buss som er påvirket av turbussene. I HBEFA v4.1 ligger det en antatt fordeling mellom bybuss og turbuss som er benyttet. Denne er basert på norske innspill gjennom HBEFA samarbeidet og er forskjellig for forskjellige kategorier av busser. Dette kan ha betydning for kommuner der turbusser utgjør en betydelig andel av trafikkarbeidet, eller der det er vesentlig forskjell på turbussers og rutebussers utslippsfaktor (f.eks. gass/elektrisk versus diesel).

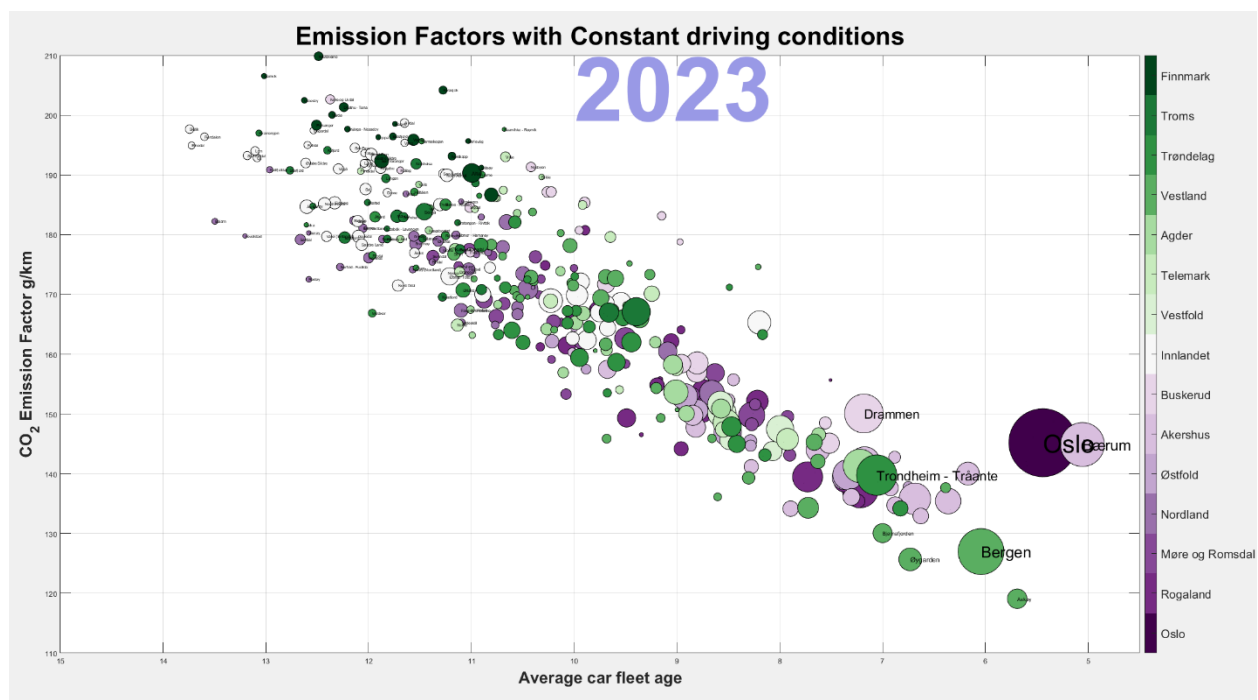
¹⁶ EGR: Exhaust Gas Recirculation, SCR: Selective Catalytic Reduction, DPF: Diesel Particulate Filter

¹⁷ Det beregnes energiforbruk (MJ) for alle kjøretøy, men eksosutslipp er 0 for elektriske kjøretøy

¹⁸ <https://www.transport.no/siteassets/dokumenter/rapporter/turbussmarkedet-rapport---nho-transport.pdf>

Kjørelengdestatistikken er basert på eiers adresse. I tilfelle leasing betyr det at leasingselskapets adresse bestemmer hvilken kommune kjøretøyet blir registrert i. I virkeligheten kan operatøren/leietakerens adresse være i en helt annen kommune. For publiseringen av tall for tidsserien 2009-2023 har SSB levert et datasett hvor adressen til busser er korrigert slik at leietakers adresse benyttes istedenfor. Denne korreksjonen er anvendt for statistikkårene 2019 og utover. Også andre kjøretøygrupper kan være påvirket av leasing, eksempelvis varebiler, men så langt finnes det ikke tilgjengelig statistikk for dette. Merk at kjørelengdene kun påvirker utslippsfaktoren til kjøretøyklassen og ikke det totale trafikkarbeidet.

Figur 6 viser den gjennomsnittlige utslippsfaktoren for lette kjøretøy for alle norske kommuner. Langs horisontalaksen er den gjennomsnittlige alderen til kjøretøyparken vist. Utslippsfaktorene er utregnet for kjøresituasjonen 70 km/t, fri-flyt, motorvei, som er den trafiksituasjonen med i snitt lavest utslippsfaktor (uten bioinnblanding). Det betyr at forskjellene i utslippsfaktor vist i figuren er den isolerte effekten av forskjellig bilpark. Figuren viser at bykommuner utmerker seg med lave utslippsfaktorer som i stor grad skyldes høy elbilandel. Det er også enkelte øykommuner rundt Bergen med lave faktorer som skyldes høy elbilandel sannsynligvis som en følge av prisregimet på bropassering og ferge.



Figur 6: Viser gjennomsnittlig utslippsfaktor for lette kjøretøy for en gitt kjøresituasjon (y-aksen) sammen med kjørelengdevektet alder for bilparken (x-aksen) i alle norske kommuner farge-sortert etter fylkesinndeling. Størrelsen på sirkelene angir antall registrerte kjøretøy i kommunen. Trafikkutveksling og bioinnblanding er ikke hensyntatt her.

3.4 RTM: Trafikkutveksling

Informasjon om *hvor* bilene kjører gis gjennom en matrise som anslår en fordeling av trafikkarbeidet i og mellom kommuner som er beregnet ved RTM-data (se Vedlegg A, kapittel 5). $TA_{k,o}$ er trafikkutvekslingsmatrisen som i sum beskriver i hvilken kommune (k) reisene starter og i hvilke kommuner (o) reisene foregår. Denne utvekslingsmatrisen er gitt som en sum av trafikkarbeid i hver kommune. Det er utviklet en trafikkutvekslingsmatrise for lette kjøretøy basert på RTM og NTM6 (langdistansetrafikken). Denne matrisen benyttes for personbiler og varebiler. Det er også utviklet en matrise for tunge kjøretøy basert på godsmatrisen. Det er ikke laget en egen trafikkutveksling for

busser, men siden bussene opererer med persontransport er utvekslingsmatrisen for lette kjøretøy også benyttet for bussene. Som vist i Vedlegg A, kapittel 5, er det nå kun 0,2% forskjell trafikkarbeid i transportmodellen og i trafikkutvekslingsmatrisen. Tidligere var kun ca. 30% (senest 60%) av trafikken representert i denne utvekslingsmatrisen.

For beregning av utslipp innenfor kommunens geografiske grense påvirker trafikkutvekslingen kun utslippsfaktoren gjennom at den endrer sammensetningen av kjøretøyparken. NERVE beregner også utslippet fra kommunens innbyggere med utgangspunkt i kommunens registrerte bilpark, og her brukes trafikkutvekslingen mer direkte til å anslå hvor og hvor mye bilene kjører i og utenfor kommunens grenser (se kap. 3). Når de beregnede utslippene fra innbyggere og de geografiske utslippene summeres nasjonalt, er det kun en forskjell på i underkant av 2 % mellom disse to beregningene.

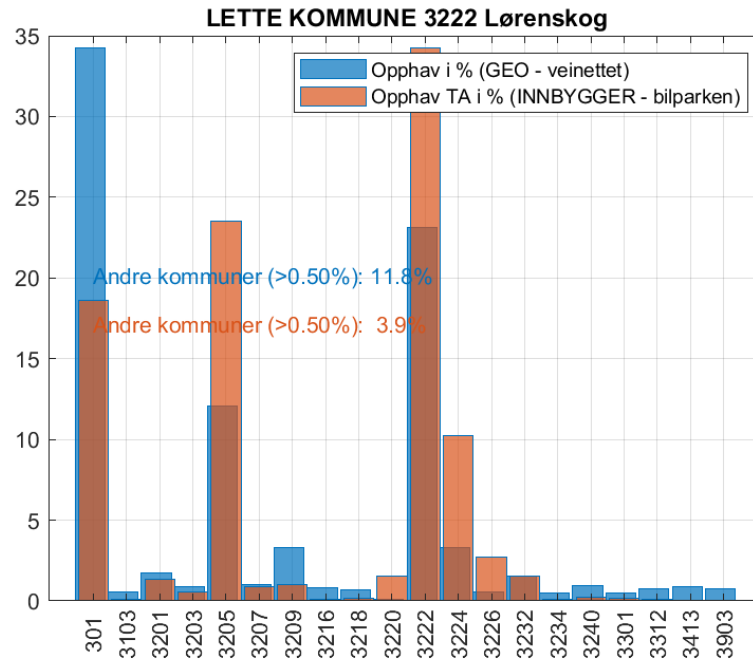
Matrisen kan illustreres ved følgende eksempel i Tabell 3. For reiser som foregår i *kommune A* er det 4 500 km av trafikkarbeidet som har opphav i kommune A, 360 km som har opphav i kommune B, 120 km som har opphav i kommune C osv. For reiser som har opphav i kommune A er 4 500 km av trafikkarbeidet i kommune A, 30 km er i kommune B, 350 km i kommune C, osv.

Tabell 3: Eksempel på trafikkutvekslingsmatrise for kommunene A, B, C og D.

<i>k / o (km)</i>	A	B	C	D	...
A	4 500	360	120	30	...
B	30	1 440	160	10	...
C	350	780	3 200	20	...
D	170	30	430	660	...
...	...	...	...	...	...

Matrisen normeres enten langs radene, som gir det prosentvise bidraget til trafikkarbeidet i *kommune k* fra opphavskommune *o*, $TE_{k,o}$, hvor $\sum_o TE_{k,o} = 1$ for alle kommuner *k*. Alternativt kan matrisen normeres langs kolonnene, som da gir den prosentvise fordelingen av trafikkarbeidet fra *kommune o* til kommunene *k*, $TE^*_{k,o}$, hvor da $\sum_k TE^*_{k,o} = 1$ for alle opphavskommuner *o*.

Figur 7 viser dette for Lørenskog kommune hvor blå søyler er $TE_{Lørenskog,o}$ for alle kommuner *o* med mer enn 0,5% bidrag til trafikken i Lørenskog, og rød-brune søyler er $TE^*_{k,Lørenskog}$, for alle kommuner *k* hvor Lørenskog bidrar med mer enn 0,5% av trafikken. Figuren viser at nesten 35% av beregnet trafikkarbeid i Lørenskog har opphav i Oslo kommune (301), ca. 12% har opphav i Lillestrøm (3205) mens bare ca. 23% har opphav i Lørenskog (3222). Ser vi på fordelingen av beregnet trafikkarbeid som har utgangspunkt i reiser som starter i Lørenskog, så foregår nesten 35% i Lørenskog, ca. 24% i Lillestrøm, 18% i Oslo og ca. 10% i Rælingen (3224).



Figur 7: Eksempel på trafikkutveksling for lette kjøretøy, Lørenskog kommune (3222). Figuren viser at nesten 35% av trafikkarbeidet for lette kjøretøy i Lørenskog har opphav i Oslo kommune (301, blå søyle) mens bare ca. 23% har opphav i Lørenskog (3222, blå søyle).

3.5 RTM: Drivlinjedifferensiert trafikkutveksling

Trafikkutvekslingsmatrisen benyttes til å beregne en bilparksammensetning som reflekterer kjøring mellom kommuner. Matrisen som er presentert i kap. 3.4 skiller kun mellom lette og tunge kjøretøy, og den tar ikke hensyn til at insentivene er forskjellige for kjøring med elbil og fossilbil i enkelte områder. Eksempelvis vil det typisk være en høyere andel elektriske biler som kjører fra Lillestrøm til Oslo enn det gjennomsnittsbilparken i Lillestrøm skulle tilsi. Dette er blant annet på grunn av at bomringen i Oslo fremmer elbilkjøring der. RTM kan skille mellom elektriske og fossile kjøretøy og det er utført en tilleggsberegning for 2022 hvor trafikkutvekslingen for elektriske og fossile kjøretøy er beregnet separat (se Vedlegg A5.3). Det vil si at det er hentet ut en matrise tilsvarende som vist i Tabell 3 separat for elektriske og fossile kjøretøy.

Fordi det kun er foretatt en slik beregning for ett år med RTM, så er dette utledet som en relativ korreksjon av trafikkarbeidet for elektriske og fossile kjøretøy i alle år. For RTM 2022 er det beregnet en elbil-utveksling som gir en elbilandel som er betinget på hvilken kommune som reisen foregår til og fra:

$$ELex_{o,k} = \frac{e_{o,k}}{e_{o,k} + f_{o,k}} \quad (1)$$

I uttrykket over er $e_{o,k}$ og $f_{o,k}$ henholdsvis elbil- og fossilbiltrafikk fra opphavskommune o som kjører i kommunen k . Eksempelvis vil en reise fra Ås til Enebakk ha en lavere gjennomsnittlig elbilandel enn en reise fra Ås til Oslo. Elbilandelen i opphavskommunen o kan regnes ut ved å summere over alle destinasjonskommuner k :

$$EL_o = \sum_k ELex_{o,k} \quad (2)$$

og elbilandelen i destinasjonskommunen k regnes ut ved å summere over alle opphavskommuner o :

$$EL_k^* = \sum_o ELex_{o,k} \quad (3)$$

Fra dette beregnes en forsterkningsfaktor for elbilparken avhengig av destinasjon og opphavskommune:

$$A_{o,k} = \frac{ELex_{o,k}}{EL_k^*} \quad (4)$$

Forsterkningsfaktoren er normalisert med elbilandelen i destinasjonskommunen, EL_k^* . Denne kan tolkes som en sannsynlighet for at man benytter elbil fra opphavskommunen o til destinasjonskommunen k . Når elbilparken beregnes ved trafikkutveksling, vil utvekslingsmatrisen ganges med forsterkningsfaktoren: $\sum_k TE_{k,o}^* A_{o,k}$. Til slutt må øvrig bilpark korrigeres slik at trafikkarbeidet er bevart for hver kommune.

Denne korrigerte beregningen av elbilparken ved forsterkningsfaktorer utføres kun for personbiler og varebiler.

3.6 SVV: Trafikkskalering ved bruk av data fra tellepunkt

Utslippsberegningene i NERVE er basert på RTM-beregnet trafikkarbeid for ett gitt referanseår. For data i denne rapporten er dette en beregning som er representativ for 2022. For trafikkmengde skalert bakover i tid benyttes den samme RTM-beregningen for alle år. Trafikkutviklingen i en kommune fra ett år til neste beregnes ved at det etableres en indeks, basert på data fra tellepunkt, som brukes til skalering av trafikken. Det er generelt større usikkerhet knyttet til beregningen av en kommunal indeks enn til beregningen av fylkes- og nasjonale indekser som SVV presenterer¹⁹. Det er derfor kun kommuner med tilstrekkelig antall tellepunkt som får beregnet egen indeks. Øvrige kommuner får indeks tildelt fra sin respektive fylkesindeks som er beregnet av SVV.

I tidligere versjoner av NERVE ble det benyttet én vekstfaktor for alle kjøretøyklasser i en kommune (Weydahl et al., 2018). Nå differensieres det mellom tunge og lette kjøretøy ved beregning av trafikkindeksen. Tunge kjøretøy baserer seg på SVV sin beregnede indeks for tunge på fylkesnivå, mens lette kjøretøy baserer seg på utviklingen på tellepunkt for lengdeklassen < 5,6 meter.

Å beregne trafikkskalering for busser er utfordrende. Det finnes ingen unik lengdeklasse for busser på tellepunktene. Trafikkutviklingen for busser er heller ikke typisk relatert til utviklingen i lett eller tungt trafikkarbeid. Hvis kjørelengdestatistikken brukes for å beregne en trafikkindeks for busser, er utslagene for store fra år til år, både på fylkes- og spesielt kommunenivå, til at de kan anvendes i skaleringen av trafikkarbeidet. Kjørelengdestatistikken indikerer en skjevhet kjørelengde i forhold til registrert kommune. F.eks. er mer enn 40% av all kjørelengde for busser registrert i Oslo. Dette kan indikere at endringer i kjørelengde for busser handler like mye om innkjøp og salg som i utvikling av busstilbud e.l. Siden busser omhandler persontransport, så er beregnet indeks for lette kjøretøy også benyttet for busser. Dette metodiske valget har noen svakheter, men så langt er det ikke funnet andre bedre tilnærminger.

Vedlegg B gir mer detaljert beskrivelse av metodikken for beregning av trafikkskalering. En sammenligning mellom utvikling i kjørelengder (SSB) og utvikling i trafikkskalering er vist for de fire kjøretøyklassene i kapittel 5.1.

Siden trafikkarbeidet er basert på én RTM-beregning for et gitt referanseår, betyr det at trafikkskaleringen ikke eksplisitt tar høyde for trafikkendringer som skyldes endringer i veinettet eller endringer i kjøremønster og kødannelse. Dette kan likevel være hensyntatt indirekte dersom data fra

¹⁹ <https://www.vegvesen.no/fag/trafikk/trafikdata/trafikkutvikling/>

tellepunktene reflekterer denne endringen. For at endringer i veinettet skal tas høyde for eksplisitt, må det gjøres RTM-beregninger for forskjellige år med forskjellig veinett som bygger på samme modellversjon og de samme metodiske forutsetningene. Slike beregninger foreligger ikke nå.

3.7 SSB/Miljødirektoratet: Omsetningstall for biodrivstoff

I likhet med andre biogene utslipp regnes CO₂-utslipp fra biodrivstoff som null i regnskapet. Les mer om dette i metodenotatet som finnes på nettsiden til klimagassregnskapet²⁰. Anvendelse av biodrivstoff forårsaker også noe utslipp av metan (CH₄) og lystgass (N₂O), som telles med i regnskapet. Økt innblanding av biodrivstoff antas derfor å redusere utslippene av CO₂, mens utslippene av metan og lystgass antas å være på samme nivå som for fossilt drivstoff.

I veitransporten er det biodrivstoff i form av biobensin, biodiesel og biogass. Det antas at fordelingen av bioinnblanding i drivstoffet er lik for alle kjøretøytyper, det vil for eksempel si at alle bensinkjøretøy har den samme innblandingsprosenten. I mangel av lokale data er det også antatt at innblandingen av biodrivstoff er den samme geografisk. Beregningen bruker derfor nasjonal bioinnblanding i energiprosent som utgangspunkt for å justere de fossile CO₂-utslippsfaktorene.

Drivstoffomsettere rapporterer årlig omsatt drivstoffvolum (fossilt og biodrivstoff) til Miljødirektoratet. Dette brukes som datagrunnlag for å beregne bioandelen i flytende drivstoff (bensin og diesel). Energiforbruket av gass innen veitransport fordelt på naturgass, biogass og LPG/etan hentes fra energibalansen (SSB tabell 11561). Det antas at all LPG/etan blir brukt av personbiler. Personbiler som bruker gass er ofte ombygde bensinbiler, og er derfor ikke registrerte som gassbiler i kjøretøyregisteret eller i NERVE²¹. Med bakgrunn i dette regnes biogassandelen ved å ta energiforbruket av biogass delt på det totale energiforbruket av biogass og naturgass (uten LPG/etan).

De årlige andelene for bioinnblanding publiseres som tilleggsinformasjon sammen med publiseringen av klimagassregnskapet for kommuner.

3.8 Tilpasning til gjeldende kommuneinndeling

Utslipp fra NERVE presenteres på den til enhver tid gjeldende kommuneinndeling når regnskapet publiseres. Det betyr for eksempel at hele tidsserien 2009-2023 presenteres for kommuneinndelingen som er gjeldende for 2024.

SSBs kjørelengdestatistikk har tall for kommune- og fylkesinndeling som var gjeldende i statistikkåret. Det betyr at NERVE må omsette SSBs statistikk til gjeldende kommune- og fylkesinndeling. For kommuner som endrer navn eller nummer eller der hvor det er kommunesammenslåinger er håndteringen av dette trivielt. Men for kommuner som splittes i en eller flere enheter eller der grenser forskyves finnes det ingen tilgjengelig fasit for hvordan denne fordelingen skal gjøres. Hvert tilfelle av kommuneoppsplitting er blitt behandlet individuelt. For veinettet gjelder de nye geografiske grensene, mens bilparken splittes mellom de nye kommunene etter et angitt bilantall. Hvis kommunene tidligere har eksistert som selvstendige enheter (eks. Haram/Ålesund) blir denne andelen beregnet basert på forholdet mellom bilparkene i året før splittelsen. Hvis slik informasjon ikke eksisterer er boligtetthet i arealene som går til de forskjellige kommunene brukt som en proxy. Andelen er konstant over hele tidsserien.

Kommuner som har fått endret grense marginalt (eks. Eidfjord i 2022), som påvirker trafikkarbeidet i en viss grad (~10-15%) fordi veilengdene er endret, er antatt å ha samme bilparksammensetning som før en slik grenseendring.

²⁰ <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimagassutslipp-kommuner/>

²¹ Ref. Miljødirektoratet/SSB

Endringer i fylkesinndeling kan også påvirke bilparksammensetningen indirekte. Dette gjelder for kjøretøykategorier hvor kjørelengden er «prikket» og kjørelengden antas lik gjennomsnittet på fylkesnivå. Kommuner som har få registrerte busser kan f.eks. oppleve endrede bussutslipp som følge av dette.

3.9 Vesentlige begrensninger i metoden

Begrensninger i metodikk er til dels behandlet i foregående delkapitler. Vedlegg A gir en oversikt over usikkerheter knyttet til transportmodellen. I dette delkapittelet oppsummeres de viktigste begrensningene som vil være aktuelle i arbeidet med et utslippsregnskap på kommunenivå.

Trafikkutviklingen mellom år i NERVE tar ikke direkte høyde for endringer som skyldes **forandringer i veinettet, kjøremønster eller kødannelse**, men kun indirekte gjennom data fra tellepunkt. For eksempel vil trafikkberegningen RTM 2022 representere situasjonen i Oslo før ny Oslopakke 3 innføres med økte takster fra 1. januar 2025. Effekten av denne takstøkningen vil fanges opp indirekte dersom den resulterer i en nedgang i trafikk på tellepunktene i Oslo fra 2024 til 2025, men eventuelle endringer i kjøremønster og rutevalg vil ikke fanges opp i trafikkskaleringen. Endringen i bomtakster vil imidlertid bli tatt hensyn til når en på et senere tidspunkt gjør en ny beregning ved RTM, men da vil skaleringen bakover i tid ha den samme «svakheten».

Kjøretøyparken defineres fra SSBs kjørelengdestatistikk, hvor biler **allokeres til kommune etter eiers adresse**. Som nevnt i kap. 3.3 er det nylig gjort et arbeid hos SSB hvor leasede busser allokeres til operatøren/leietagerens kommune som kan være forskjellig fra for eksempel leasingselskapet sin adresse. Dette gir likevel ikke tilstrekkelig korreksjon hvis bussene opereres i en annen kommune enn der operatøren er registrert. Hvis for eksempel Drammen kommune engasjerer et busselskap med en høy andel elektriske busser, hjemmehørende i andre kommuner enn Drammen, vil ikke disse bussene bidra til redusert utslipp i Drammen kommune. I Oslo kommune er summen av kjørelengder for busser i kjørelengdestatistikken for 2022 mer enn 4 ganger høyere enn trafikkarbeidet for buss beregnet med RTM. Effekten av dette i Oslo er at bussparken får en relativt høyere andel dieselbusser og dermed en høyere utslippsfaktor enn hva som er reelt. Trafikkutvekslingen kan i noen tilfeller begrense denne uønskede effekten av skjev plassering i kjørelengdestatistikken. Tilsvarende problemstilling vil også gjelde for tunge kjøretøy og til dels for varebiler.

Innslaget av **utenlandske kjøretøy** er heller ikke representert i sammensetningen av den tunge kjøretøyparken. For CO₂-utslipp er betydningen av dette mindre siden den tunge kjøretøyparken foreløpig domineres av diesel-kjøretøy, og forbruket ikke er vesentlig forskjellige mellom euroklasser. Men for andre luftkvalitetskomponenter som NO_x vil dette kunne ha en større innvirkning. Dersom innfasingen av tunge nullutslippskjøretøy i Norge går raskere enn for utenlandske biler som kjører i Norge vil det kunne ha stor betydning også for CO₂-utslippet.

NERVE inkluderer ikke **moped/motorsykler/mopedbiler/ATVer** o.l. fordi det per i dag ikke finnes data eller modellberegninger som forteller noe om hvor disse kjører i veinettet. Utslipp fra mopeder og motorsykler er inkludert og tallfestet i den nasjonale klimagasstatistikken som presenteres av SSB²² og rapporteres i «National Inventory Report» (Miljødirektoratet, 2024), men fordi disse ikke er underlagt periodisk kjøretøykontroll er kjørelengde basert på relative grove anslag for reiselengder uten oppløsning på veinettet (Flotve & Farstad, 2023).

²² <https://www.ssb.no/statbank/table/13931>

4 Beregning av utslipp

Prinsipielt kan alle beregninger av utslipp (E) beskrives som aktivitet, i denne forbindelse trafikkarbeid (TA), ganget med en utslippsfaktor (EF):

$$E = TA \times EF \quad (5)$$

Denne sammenhengen er lineær, og det er flere måter å kombinere datasettene på til en utslippsberegning for hver kommune geografisk og for kommunens innbyggere²³. Her beskrives beregningen av utslipp per veilenke som til slutt summeres til totalt utslipp i hver kommune og nasjonalt. Dette samsvarer med metoden slik den nå er implementert i NERVE.

Trafikkarbeidet for hver veilenke r med lengde L_r og ÅDT fra RTM beregnes separat for hver av kjøretøyklassene (f), lette kjøretøy, tunge kjøretøy og busser, i kommunen k ved ligningen:

$$TA_{r,k}^f = \text{ÅDT}_{r,k} \times L_r \times N_d, \quad (6)$$

hvor N_d er antall dager i gjeldene år. NERVE fordeler antall kjøretøy på vei ved først å beregne relative bidrag fra hver kategori til trafikkarbeidet i hver kommune basert på kjørelengdestatistikken, der $KL_{V,k}$ er kjørelengde for hver kjøretøykategori i hver kommune, og $KP_{V,k}$ blir den kjørelengdevektete andelen av kommunens bilpark på veiene:

$$KP_{V,k} = KL_{V,k} / \sum_V KL_{V,k} \quad (7)$$

Det tas hensyn til at biler fra andre kommuner o kjører i kommunen k ved trafikkutvekslingsmatrisen. Den justerte bilparken regnes da ut som vektet sum over alle opphavskommuner:

$$KP'_{V,k} = \sum_o KP_{V,o} TE_{k,o} \quad (8)$$

Utslippsfaktoren per veilenke r , kjøretøygruppe f i kommunen k er videre gitt ved:

$$EF_{r,k}^f = \sum_{V \in f} EF_{V,r} KP'_{V,k} \quad (9)$$

hvor $EF_{V,r}$ er HBEFA-utslippsfaktoren for kjøretøykategorien V på veien r som har egenskaper gitt av omgivelse, hastighet, veitype, stigning og kø/forsinkelse som beskrevet i kapittel 3.2.

Med utslippsfaktor for hver veilenke og kjøretøygruppe, kan utslippet for kjøretøygruppen f innenfor kommunen k regnes ut som summen av utslippet over alle veilenker:

$$E_k^f = \sum_r E_{r,k}^f = \sum_r TA_{r,k}^f E_{r,k}^f \quad (10)$$

Utslippet fra innbyggere i opphavskommunen o , er regnet ut som den trafikkutvekslings-vektede summen av utslippet på hver veilenke:

²³ I Weydahl m.fl. (2018) er utslippsberegningen beskrevet via en beregning av en trafikkvektet gjennomsnittlig utslippsfaktor for hver kjøretøykategori i hver kommune som videre multipliseres med trafikkarbeidet i kommunen for å gi totalt utslipp.

$$E_o^f = \sum_{V \in f, k, r} TA_{r,k}^f EF_{V,r} KP_{V,o} TE_{k,o}^* \quad (11)$$

Korreksjonen av elbilparken ved den drivlinjedifferensierte trafikkutvekslingen er ikke spesifikt vist i uttrykkene over (se kap. 3.5). Trafikkutvekslingen «TE» vil korrigeres med forsterkningsfaktoren, A , når den opererer på elbilparken, og øvrig bilpark vil korrigeres slik at trafikkarbeidet er bevart gjennom korreksjonen.

5 «Benchmarking»

Det er i mange områder svært begrenset tilgjengelige tall å måle seg mot, men ettersom hele Norge er modellert er det mulig å etterprøve resultatene fra NERVE på nasjonal skala, der det finnes mer data å sammenligne mot. Som i de fleste sammenhenger finnes det ikke én fasit, men man kan sammenlikne data med forskjellig opphav og evaluere kilder til usikkerhet og variasjon.

På nasjonal skala er det mulig å sammenligne den nettutlagte trafikken fra RTM med SSBs kjørelengdestatistikk og SVVs veitrafikktellinger. Drivstofforbruket beregnet i NERVE er sammenlignet med salg av drivstoff innhentet av SSB. Tilsvarende med CO₂-utslippet fra NERVE som kan sammenlignes med nasjonale utslippstall som publiseres av SSB. Til dels bygger mange av tallene på liknende metoder, og noen tall inngår både i NERVE og nasjonale tall. Det er derfor nyttig å forstå eventuelle forskjeller og deres opphav.

5.1 Sammenligning av trafikkarbeid

I NERVE benyttes kjørelengdestatistikken til å definere bilparken i hver enkelt kommune, som videre inngår i beregningen av utslippsfaktoren i kommunen og for kommunens innbyggere. Trafikkarbeidet er hentet fra RTM-beregningene. Her sammenlignes nivået og utviklingen i det beregnede trafikkarbeidet i RTM med kjørelengdestatistikken (SSB).

Den absolutte forskjellen i trafikknivå følger av RTM-beregningen og er som angitt i Tabell 4 under. Det er ca. 11% mindre trafikkarbeid for lette kjøretøy (personbiler og varebiler), mens både busser og tunge kjøretøy har 22% mer trafikkarbeid i RTM-beregningen enn i kjørelengdestatistikken. Disse forskjellene er videre diskutert i Vedlegg A til denne rapporten.

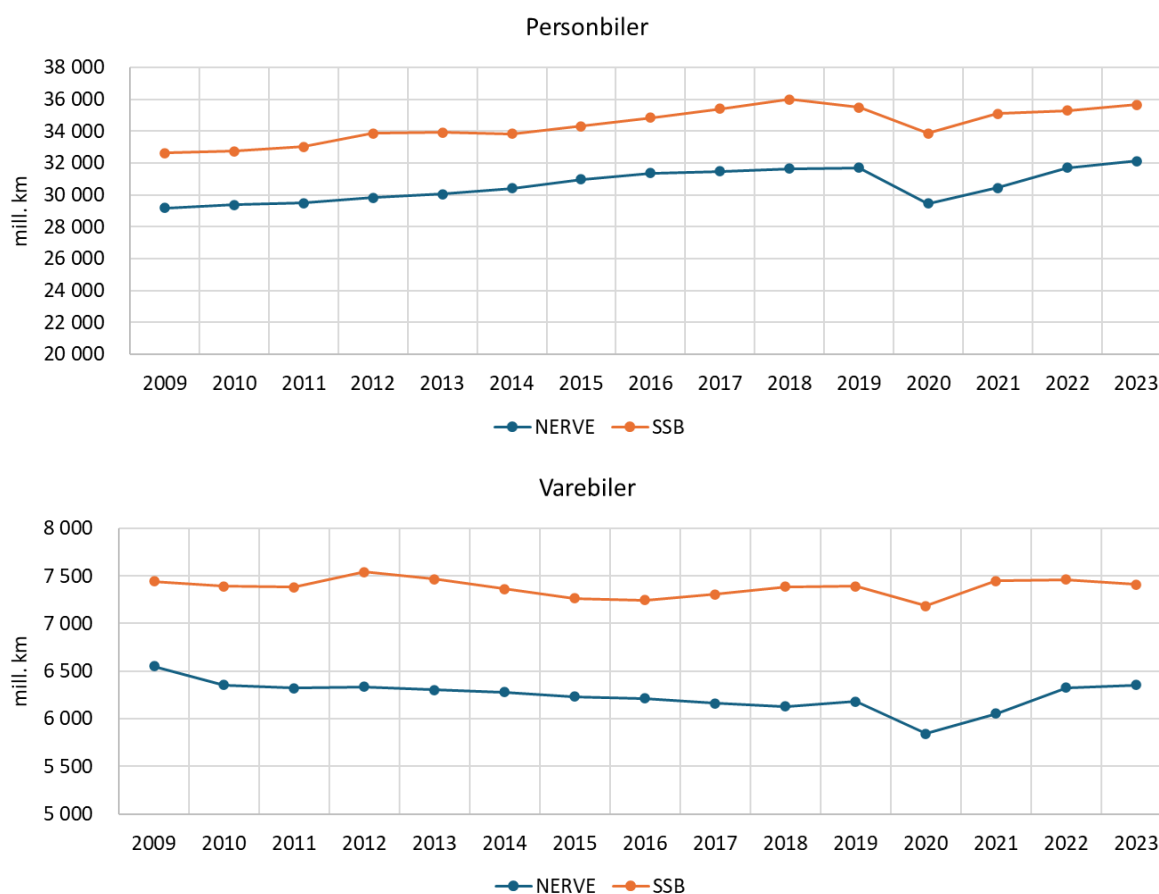
Tabell 4: Absolutt forskjell mellom trafikkarbeid beregnet med RTM (2022) og SSBs kjørelengdestatistikk (SSB tabell 12575). Tallene er i millioner kilometer. I parentes er relativ forskjell oppgitt.

	Lette kjøretøy	Busser	Tunge kjøretøy
RTM 2022	38 060 (-11%)	657 (+22%)	2 553 (+22%)
SSB 2022	42 772	541	2 091

Figur 8 viser den nasjonale utviklingen i NERVE-beregnet trafikkarbeid for personbiler og varebiler sammenlignet med utviklingen i nasjonal kjørelengde (SSB) over årene 2009-2023. Utviklingen over år følger av trafikkskaleringen (kap. 3.6). Ser vi på veksten mellom årene 2009 og 2023 samsvarer NERVE og SSB relativt godt med henholdsvis 10,1% og 9,3% for personbiler. For varebiler er det nærmest eksakt nullvekst i SSB-tallene over den samme perioden, mens NERVE har en nedgang på 3%. Statens vegvesen (SVV) har beregnet veksten (trafikkindeksen) for lette kjøretøy i perioden 2009-2023 til 12,5%²⁴. Tilsvarende er veksten i NERVE på 7,7% for lette kjøretøy i samme periode, mens SSBs

²⁴ https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/trafikk/trafikdata/vegtrafikkindeksen_2024-05.pdf

kjørelengdestatistikk har en tilnærmet lik vekst på 7,5%. Sammenligner vi veksten over perioden 2017-2023 er NERVE og SVV på henholdsvis 3,5% og 3,2%.

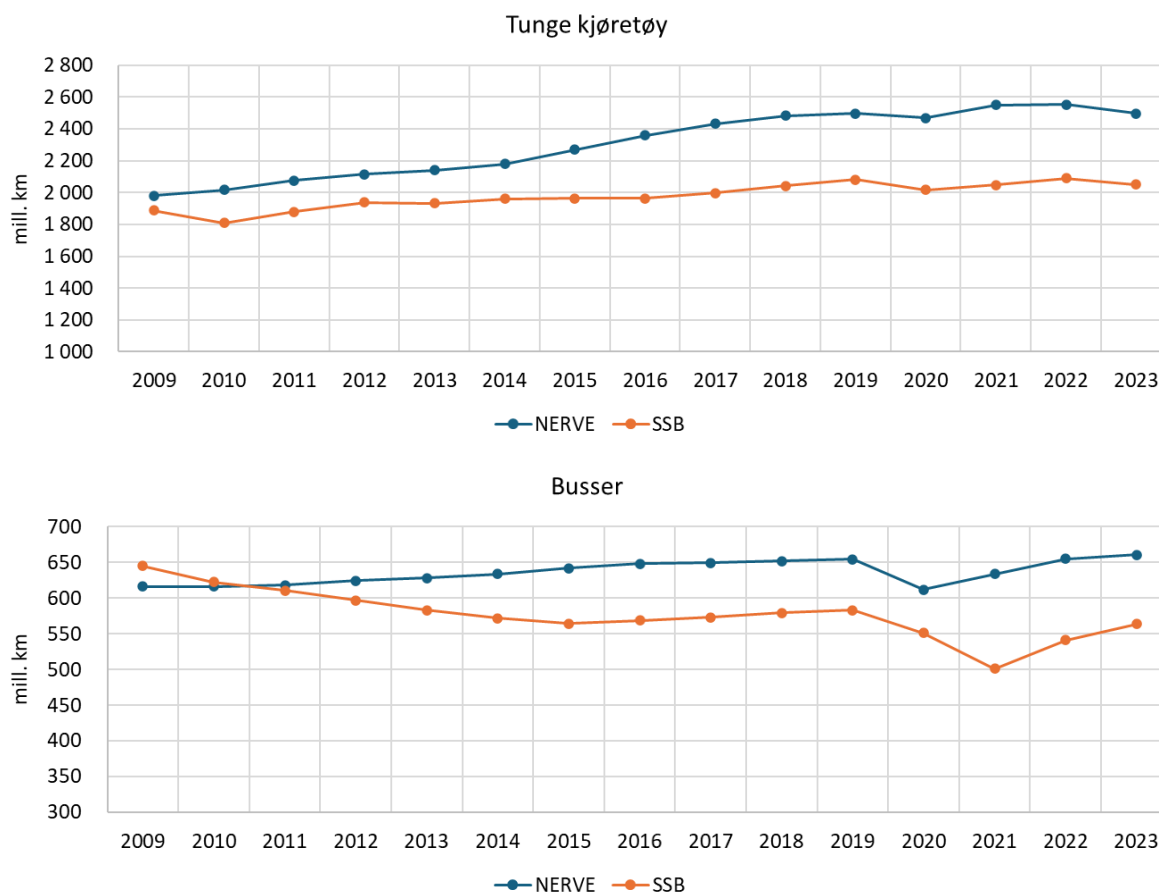


Figur 8: Utvikling i trafikkarbeid for personbiler og varebiler som beregnet i NERVE og etter SSBs kjørelengdestatistikk tabell 12575. Varebiler er «små godsbiler» i SSBs kjørelengdestatistikk. Merk at skalaen ikke starter på 0.

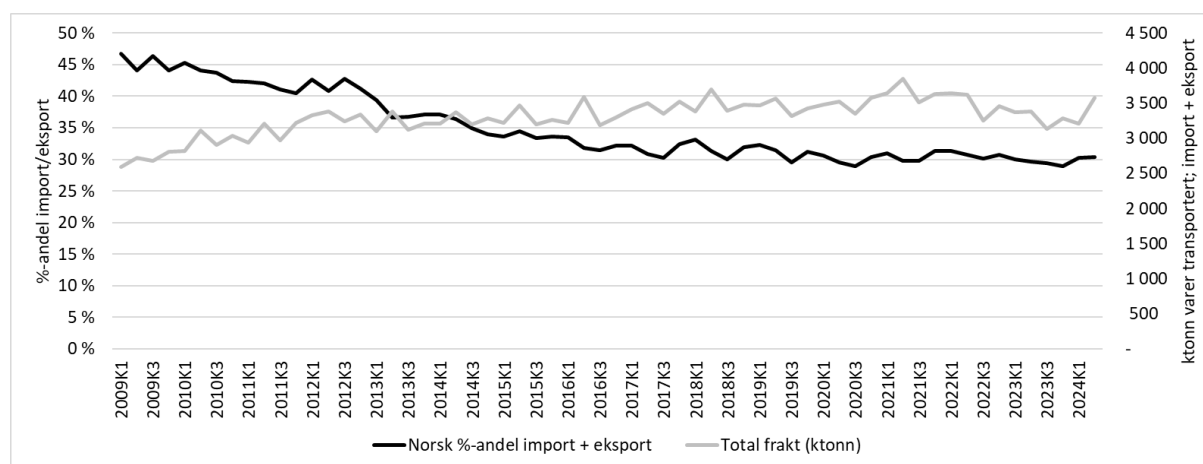
Figur 9 viser utviklingen i trafikkarbeid beregnet med NERVE for tunge kjøretøy og busser sammenlignet med tilsvarende kategorier i SSBs kjørelengdestatistikk. I motsetning til lette kjøretøy er trafikknivået for tunge kjøretøy i NERVE høyere enn kjørelengdestatistikk. Forskjeller i absolutt nivå er diskutert i Vedlegg A. Ser vi på veksten over årene 2009 til 2023 så er den beregnede veksten i NERVE 26% for tunge kjøretøy, mens den er kun 9% i SSBs kjørelengdestatistikk. Trafikkindeksen for tunge i NERVE er i stor grad avstemt mot SVV sin trafikkindeks for tunge som har 26,3% vekst over årene 2009-2023. Forskjellen mellom SSB og NERVE/SVV kan muligens forklares med at veksten i varetransport har vært større for utenlandsk registrerte kjøretøy enn for norskregistrerte kjøretøy. Tallene for import/eksport av varer (i tonn) viser en reduksjon i andelen norskregistrerte kjøretøy som står for dette (se Figur 10). Andelen norske kjøretøy som står for eksport har blitt redusert fra nesten 70% i 2009 til 50% i 2024. For import er reduksjonen i andel fra litt over 30% i 2009 til ca. 15% i 2024 (se SSB tabell 11682). SVV/NERVE trafikkvekst fanger til dels veksten i all transport med tunge kjøretøy, mens SSB kun fanger veksten i norsk-registrerte.

Det eksisterer ingen spesifikk trafikkindeks for busser og i NERVE er bussene gitt samme skalering som lette kjøretøy. For sammenligning av absoluttnivået for buss se Vedlegg A. Veksten i NERVE er på 7,2%, mens utviklingen i SSBs kjørelengdestatistikk tilsier en nedgang på nesten 13%. Ifølge Transportytelser i Norge (Flotve & Farstad, 2023) var det en nedgang i antall bussreiser på 15% mellom 2019 og 2022.

Dette illustrerer en utfordring med NERVE beregningen slik den foreligger. Bedre statistikk på kommunenivå kan forbedre beregnet trafikkutvikling for buss.



Figur 9: Utvikling i trafikkarbeid for tunge kjøretøy og busser som beregnet i NERVE og etter SSBs kjørelengetabell 12575. Tunge kjøretøy er «store lastebiler» i SSB-statistikken.



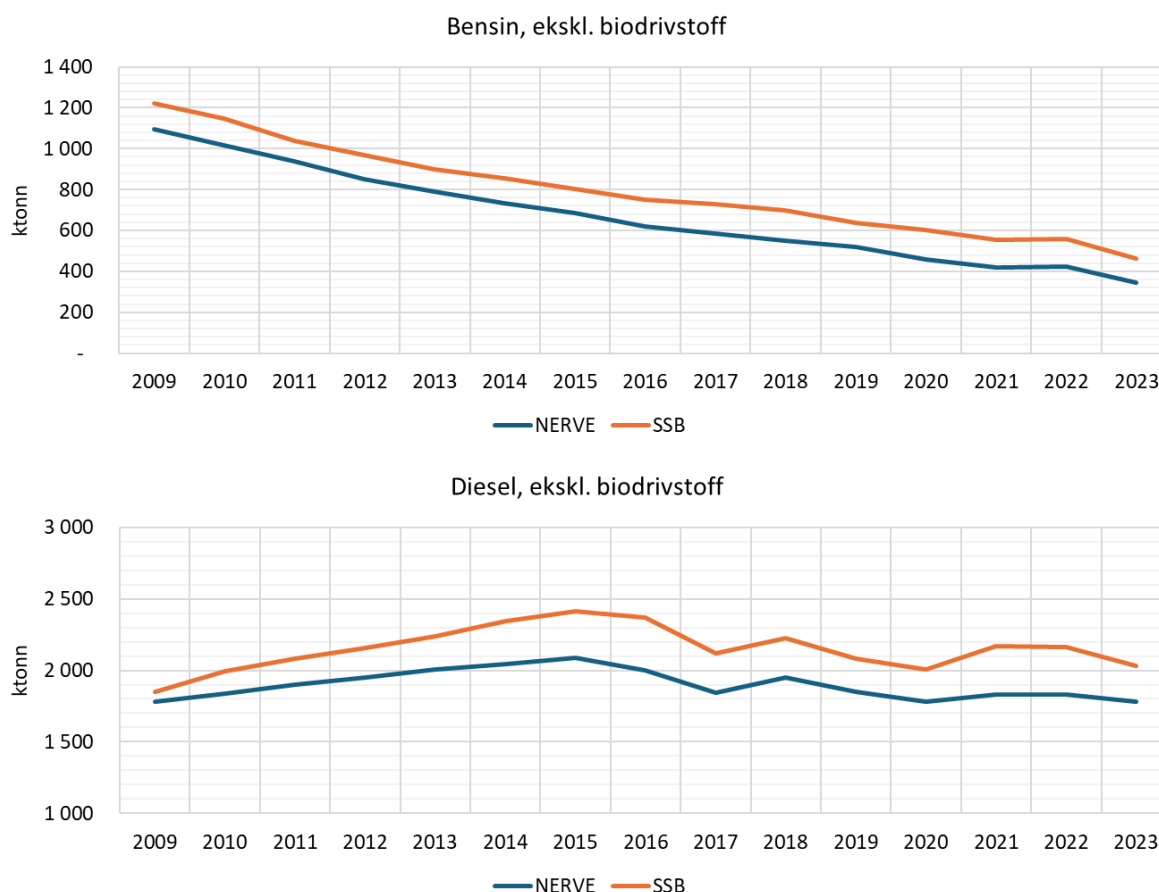
Figur 10: SSB tabell 11682: Varer fraktet på lastebil (tonn), etter import/eksport og lastebilens nasjonalitet. Import + eksport er gitt som %-andel tonn fraktet med norskregistrerte kjøretøy.

5.2 Sammenligning av drivstofforbruk

Figur 11 sammenligner beregnet drivstofforbruk i NERVE med energivarebalansen (SSB tabell 11562) som er basert på salgsstatistikk og import/eksport av petroleumsprodukter. Energibalansen ekskluderer biodrivstoff og NERVE tall for drivstofforbruk er derfor avledet fra beregnet CO₂-utslipp som er fratrullet bioandelen.

Beregnet forbruk i NERVE ligger 25% lavere enn energivarebalansen for bensin i 2023. Først og fremst skyldes dette at trafikkarbeidet for lette kjøretøy er 11% lavere i transportmodellen enn i kjørelengdestatistikken. Det er i hovedsak personbiler som står for forbruket av bensin i veitrafikken. Differansen kan også tilskrives at energivarebalansen dekker drivstoff til enkelte andre kjøretøygrupper som ikke er omfattet av beregningen i NERVE (som f.eks. snøskutere, to-hjulinger og ATVer). Det er relativt godt samsvar i utviklingen i bensinforbruket mellom 2009 og 2023, med en endring i forbruk på -62% i SSB sine tall mot -68% beregnet med NERVE.

I motsetning til bensin omsettes autodiesel i stort omfang også i varebiler, busser og tunge kjøretøy (lastebiler og trekkvogner). I 2023 er beregnet drivstofforbruk av diesel 12% lavere enn energivarebalansen (SSB) tilsier. Det er vanskelig å forklare avviket med forskjeller i trafikkarbeid og kjørelengdestatistikken (SSB), blant annet fordi innslaget av utenlandske tunge kjøretøy er ukjent. Tomgangskjøring med tunge kjøretøy kan også være en kilde til forskjeller (Nævestad et al., 2020). Det er også antagelser rundt lastegrad og kjøring med henger på tunge kjøretøy som er usikre. Avviket mellom NERVE og energivarebalansen øker fra ca. -4% i 2009 til -12% i 2023. NERVE beregner ingen netto endring i dieselforbruket mellom 2009 og 2023, mens energivarebalansen gir en økning på 10% i perioden. Det understrekes at dette er for diesel og bensin fratrullet bioinnblanding.



Figur 11: Sammenligning av beregnet forbruk ekskludert biodrivstoff i NERVE med drivstoffsalg etter Energivarebalansen (SSB tabell 11562).

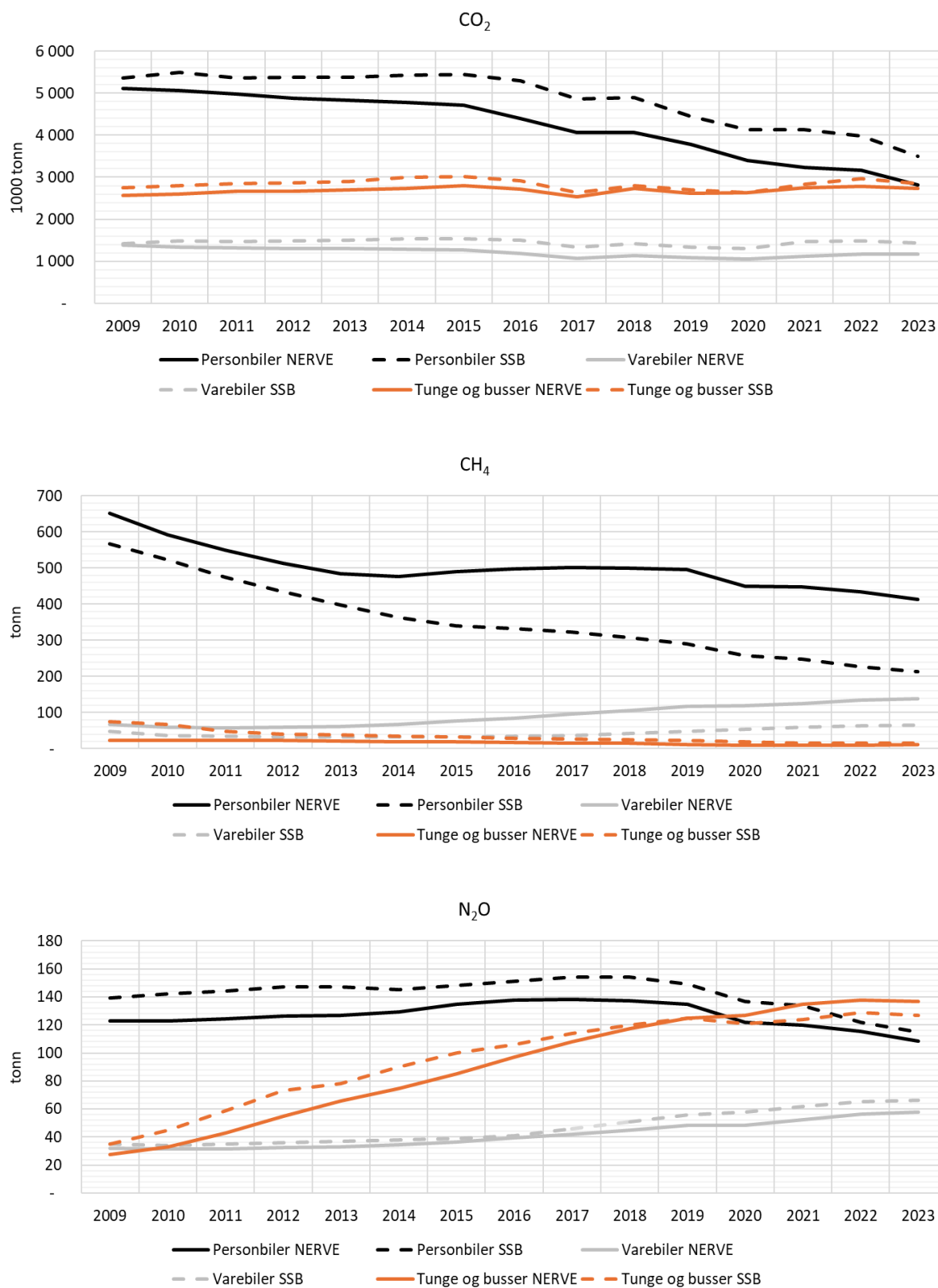
5.3 Sammenligning av nasjonale klimagassutslipp

Beregnet CO₂-utslipp fra NERVE er sammenlignet med utslipp fra veitrafikk fra SSB sin nasjonale statistikk for utslipp av klimagasser (tabell 13931). Utslippsstatistikken er i hovedsak basert på drivstoffsalg fratrasket bidraget fra enkelte forbruksgrupper og fordelingen på kjøretøyklasser er gitt av kjørelengdestatistikken (Holmengen & Fedoryshyn, 2015; Kittilsen et al., 2018). For å beregne CH₄ og N₂O bruker SSB HBEFA v4.2. Både SSB-statistikken og NERVE benytter innrapporterte data for omsatt biodrivstoff til å beregne CO₂-utslipp som hensyntar den faktiske bioinnblanding den enkelte år. Totalt beregner NERVE et CO₂-utslipp i 2023 på 6,71 millioner tonn som ligger 14 prosent under SSB-statistikken på 7,78 millioner tonn.

Figur 12 viser beregnet utslipp av klimagasskomponentene CO₂, CH₄ og N₂O i NERVE- og SSB-statistikken. Varebiler (benevnt som «andre lette kjøretøy» hos SSB) og personbiler ligger samlet 19% under SSB-tallene i 2023, etter drivstoff 17% under for bensin og 22% under for diesel. Dette viser at det er relativt lite avvik mellom beregnet CO₂-utslipp fra bensindrevne kjøretøy når avviket mellom trafikkarbeid og kjørelengdestatistikken på 11% hensyntas. Dette gitt at NERVE og SSB-beregningene har vidt forskjellig utgangspunkt, «bottom-up» versus «top-down». Utviklingen mellom 2009 og 2023 viser en endring i CO₂-utslipp for personbiler i NERVE med -45%, mens SSB-tallene gir en endring på -35%. Differensieres personbil på drivstoff viser tallene at endringen for diesel avviker mest med -6% i NERVE og +13% økning i SSB-tallene over disse årene. For bensin personbil er bedre samsvar med henholdsvis -68% (NERVE) og -63% (SSB). For varebiler totalt er endringen -16% (NERVE) og +0% (SSB).

I figuren er bidraget fra tunge kjøretøy og busser slått sammen for å tilpasse aggregeringsnivået i SSB-tallene. I 2023 er beregnet utslipp ca. 4% lavere i NERVE enn i SSB-tallene. Dette er på tross av at beregnet trafikkarbeid i NERVE er 22% høyere enn kjørelengdestatistikken. Det er større usikkerhet i beregningene for tunge, bl.a. fordi NERVE inkluderer trafikkarbeid for utenlandske lastebilers kjøring i Norge mens SSBs kjørelengdestatistikk ikke har med disse bilene. Det er også usikkerheter knyttet til omfanget av tomgangskjøring og kjøring med henger. Ser vi på utviklingen over perioden 2009-2023 har tunge kjøretøy omtrent den samme veksten i CO₂-utslipp i SSB-statistikken (+4%) og i NERVE-beregningen (+6%). Her må det tas med i betraktningen at NERVE har vesentlig høyere trafikkvekst for tunge enn kjørelengdestatistikken skulle tilsi.

Forskjeller i utslippsberegninger for CH₄ skyldes sannsynligvis forskjeller i metodikk og antagelser knyttet til kaldstartutslipp. Kaldstart er en vesentlig del av utslippene av CH₄ fra lette kjøretøy. Det er ellers relativt godt samsvar mellom beregnet N₂O-utslipp i NERVE og SSB.



Figur 12: Sammenligning av beregnet utslipp av CO₂ (ktonn), CH₄ (tonn) og N₂O (tonn) fra SSB med NERVE for kjøretøyklassene personbil, varebil og tunge kjøretøy (inkludert buss).

5.4 Sammenligning av nasjonale utslipp av luftforurensningskomponenter

NERVE beregner også utslipp av blant annet PM, NO_x og NO₂ (implisitt da også NO).

Mens det for klimagasser er naturlig å sammenligne totale utslipp med nasjonale tall fra «top-down» metoder (f.eks. drivstoffsalg) er verifisering av luftkvalitetskomponentene mer interessant på lokal skala. En bred verifisering av modellen mot lokale måledata er tidkrevende og er ikke foretatt i denne sammenheng. NILU har benyttet NERVE i flere tiltaksutredninger hvor NO₂-konsentrasjoner er evaluert (Høiskar et al., 2022; Weydahl & Høiskar, 2022).

For en overordnet «benchmark» er nasjonale tall for utslipp også interessant for luftkvalitetskomponenter. Nasjonalt rapporterte tall for luftkvalitetskomponenter under LRTAP-konvensjonen²⁵ (UNECE) er hentet fra EMEP/CEIP²⁶.

Tabell 5 viser totale nasjonale utslipp på tilgjengelig oppløsning. Det er relativt god overensstemmelse mellom de totale nasjonale tallene.

Tabell 5: Sammenligning av nasjonale utslippstall for PM_{2.5} og NO_x i 2022. Alle utslipp i 1000 tonn.

	CEIP NO _x	NERVE NO _x	CEIP PM _{2.5}	NERVE PM _{2.5}
Lette	16,8	16,6	0,25	0,27
Tunge og busser	6,8	6,3	0,09	0,13
Totalt	23,6	22,9	0,34	0,40

5.5 NERVE som utslippsmodell

NERVE er en «bottom-up»-modell beregnet for bruk på høy geografisk oppløsning. SSB sin nasjonale statistikk for CO₂ er beregnet «top-down» fra nasjonalt drivstoffsalg og kjørelengder. Sammenligningen av aktivitetsdata og utslipp mellom NERVEs og SSBs data viser likevel relativt godt samsvar på nasjonalt nivå. Hovedformålet til NERVE er å presentere statistikk på kommunenivå og vise utviklingen over tid. NERVE benytter den samme metodikken i utslippsberegningen for alle kommuner, og mer eller mindre også det samme datagrunnlaget. Avhengig av presisjonen i transportmodellen, antall tellepunkt og i hvilken grad kjørelengdestatistikken representerer kommunens kjøretøysammensetning, vil det kunne være større eller mindre avvik i hvor presist NERVE fanger absoluttnivå og utvikling for kjøretøyklassene på enkeltkommunenivå. NERVE er basert på de beste datakildene som finnes tilgjengelig i dag. Ved at mer data blir tilgjengelig fra blant annet trafikktegninger (hastighetsdata), flere tellepunkt, data på lastegrad og kjøring med henger vil statistikken kunne forbedres i årene framover.

²⁵ <https://unece.org/convention-and-its-achievements>

²⁶ <https://www.ceip.at/>

6 Referanser

- Boulter, P. G., & Latham, S. (2009). *Emission factors 2009: Report 4—A review of methodologies for modelling cold-start emissions* (PPR357).
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a79e76eed915d6b1deb4307/report-4.pdf>
- Broin, E. Ó., Kelly, J. A., Santos, G. S., Grythe, H., Svendby, T., Solberg, S., Kelleher, L., & Clinch, J. P. (2022). Hitting the hotspots – Targeted deployment of air source heat pump technology to deliver clean air communities and climate progress: A case study of Ireland. *Atmospheric Environment: X*, 13, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2022.100155>
- Bymiljøetaten Oslo kommune. (2023). *Utredning og faglige anbefalinger til innføring av nullutslippssone i Oslo*. https://www.klimaoslo.no/wp-content/uploads/sites/88/2023/01/Nullutslippssone_Utredning-og-faglige-anbefalinger-til-innforing-i-Oslo-Bymiljoeaten.pdf
- Børke, R., Korsbakken, J. I., Romundstad, R. M., Madslien, A., & Dæhlin, E. (2022). *Veikart for utslippsreduksjoner i Trondheim* (Rapport 2022:11). CICERO Center for International Climate and Environmental Research - Oslo. <https://hdl.handle.net/11250/3062291>
- European Environmental Agency (EEA). (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023—European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2016). *Learning from Norwegian Battery Electric and Plug-in Hybrid Vehicle users – Results from a survey of vehicle owners* (TØI-rapport 1492/2016). <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=43161>
- Flotve, B. L., & Farstad. (2023). *Transportytelser i Norge 1946-2022* (TØI-raport 2003/2023). <https://www.toi.no/publikasjoner/transportytelser-i-norge-1946-2022>
- Grythe, H., & Lopez-Aparicio, S. (2021). The who, why and where of Norway's CO2 emissions from tourist travel. *Environmental Advances*, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100104>
- Grythe, H., Lopez-Aparicio, S., Weydahl, T., & Høyem, H. (2022). Decoupling Emission Reductions and Trade-Offs of Policies in Norway Based on a Bottom-Up Traffic Emission Model. *Atmosphere*, 13. <https://doi.org/10.3390/atmos13081284>
- Hassani, A., Nicińska, A., Drabicki, A., Zawojka, E., Sousa Santos, G., Kula, G., Grythe, H., Zawieska, J., Jaczewska, J., Rachubik, J., Archanowicz-Kudelska, K., Zagórska, K., Grzenda, M., Kubecka, M., Luckner, M., Jakubczyk, M., Wolański, M., Castell, N., Gora, P., ... Horosiewicz, S. (2024). Air quality and transport behaviour: Sensors, field, and survey data from Warsaw, Poland. *Scientific Data*, 11(1), 1305. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-04111-4>
- Holmengen, N., & Fedoryshyn, N. (2015). *Utslipp fra veitrafikken i Norge. Dokumentasjon av beregningsmetoder, data og resultater* (SSB 2015/22; s. 90). https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/_attachment/225115?_ts=14ce05a5658
- Høiskar, B. A. K., Walker, S.-E., Weydahl, T., Markelj, M., Andersen, A., Lopez-Aparicio, S., & Grythe, H. (2022). *Tiltaksutredning for lokal luftkvalitet i Lørenskog kommune* [NILU-rapport 32/2022]. NILU. <https://hdl.handle.net/11250/3062978>
- Kittilsen, M. O., Moe, S. H., & Fedoryshyn, N. (2018). *Energiregnskap og -balanse. Dokumentasjon av statistikkproduksjonen fra statistikkår 1990 og fremover* (SSB 2018/45). https://www.ssb.no/energi-og-industri/artikler-og-publikasjoner/_attachment/369610?_ts=1673ff3e218
- Korsbakken, J. I., Romundstad, R. M., & Madslien, A. (2022). *Referansebane for klimagassutslipp i Oslo fram til 2030* (Rapport 2022:06). CICERO Center for International Climate and Environmental Research - Oslo. <https://hdl.handle.net/11250/3016901>
- Lopez-Aparicio, S., & Grythe, H. (2022). *The EmSite model for high resolution emissions from machinery in construction sites* (NILU report 5/2022). NILU. <https://hdl.handle.net/11250/2979246>

- Lopez-Aparicio, S., Vogt, M., & Vo Thanh, D. (2015). *Methods for estimating air pollutant emissions. PART 1: Review and source of input data.* (NILU report 10/2015). <https://nilu.no/publikasjon/28288/>
- Miljødirektoratet. (2024). *Greenhouse Gas Emissions 1990 -2022: National Inventory Report - miljødirektoratet.no* [M2727]. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2024/mars-2024/greenhouse-gas-emissions-1990-2022-national-inventory-report/>
- Nævestad, T.-O., Milch, V., & Blom, J. (2020). *Økonomisk kjøring i godstransportbedrifter: En studie av implementering og effekter av Miljøstigen for energiledelse* (TØI rapport 1799/2020). TØI. <https://www.toi.no/publikasjoner/okonomisk-kjoring-i-godstransportbedrifter-en-studie-av-implementering-og-effekter-av-miljostigen-for-energiledelse>
- Nævestad, T.-O., Storesund, H., Sagberg, F., Hovi, I. B., & Elvik, R. (2022). *Tunge kjøretøys ulykkesrisiko i Norge* (1886). TØI. <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=73974>
- Plötz, P., Link, S., Ringelschwendner, H., Keller, M., Moll, C., Bieker, G., Dornoff, J., & Mock, P. (2022). *Real-world usage of plug-in hybrid vehicles in Europe: A 2022 update on fuel consumption, electric driving, and CO2 emissions.* International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/publication/real-world-phev-use-jun22/>
- Romundstad, R. M., Korsbakken, J. I., & Madslien, A. (2020). *Lokale datakilder—Endelig notat* (Report 2020:09). CICERO Center for International Climate and Environmental Research - Oslo. <https://hdl.handle.net/11250/2828067>
- Seo, J., Yun, B., Kim, J., Shin, M., & Park, S. (2022). Development of a cold-start emission model for diesel vehicles using an artificial neural network trained with real-world driving data. *Science of The Total Environment*, 806, 151347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151347>
- Sousa Santos, G., Sundvor, I., Vogt, M., Grythe, H., Haug, T. W., Høiskar, B. A., & Tarrason, L. (2020). Evaluation of traffic control measures in Oslo region and its effect on current air quality policies in Norway. *Transport Policy*, 99, 251–261. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.08.025>
- Weber, C., Sundvor, I., & Figenbaum, E. (2019). Comparison of regulated emission factors of Euro 6 LDV in Nordic temperatures and cold start conditions: Diesel- and gasoline direct-injection. *Atmospheric Environment*, 206, 208–217. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.02.031>
- Weydahl, T., Grythe, H., Haug, T. W., & Høyem, H. (2018). *NERVE – Utslippsmodell for veitrafikk* (NILU rapport 28/2018). NILU. <http://hdl.handle.net/11250/2569414>
- Weydahl, T., & Høiskar, B. A. K. (2022). *Revidert tiltaksutredning for lokal luftkvalitet i Bergen* (NILU rapport 27/2022). NILU. <https://hdl.handle.net/11250/3013704>
- Weydahl, T., Markelj, M., & Høyem, H. (2023). *Revidert tiltaksutredning for lokal luftkvalitet i Drammen* (NILU rapport 9/2023). NILU. <https://hdl.handle.net/11250/3070408>
- Aamaas, B., Korsbakken, J. I., Romundstad, R. M., & Madslien, A. (2022). *Utsleppsanalyse mot 2030 for Vestland fylkeskommune* (Rapport 2022:02). CICERO Center for International Climate and Environmental Research - Oslo. <https://hdl.handle.net/11250/2983417>
- Grythe, H., Drabicki, A., Nicinska, A., & Sousa-Santos, G. (2024). CoMobility project data: Warsaw road traffic, road traffic emissions, and air concentrations for greater Warsaw area (Version 1) [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10987360>
- Grythe, H., Santos G. S., Drabicki, A., Nicińska, A. (2024a). How idling and manoeuvring affects air quality: A case study of school commutes. *Environmental Science and Technology* (in submission)

Vedlegg A

Beregning av trafikkarbeid i kommunene 2022 til bruk i NERVE

Vedlegg A er forfattet av Christian Steinsland og Anne Madslien, TØI.

A1 Innledning

Modellen NERVE, som beregner klimagassutslipp fra veitrafikken i norske kommuner, ble utviklet av NILU og Urbanet (nå Asplan Viak) i 2016, og første gang brukt for utslippsberegninger for år 2016. Urbanet benyttet da modellsystemet RTM til å beregne trafikk og forsinkelser på alle lenker i veinettet, som NILU brukte som grunnlag for detaljerte utslippsberegninger. Arbeidet er beskrevet i NILU rapport 27/218 (Weydahl m.fl. 2018). Det ble senere gjort en ny modellberegning for 2018, beskrevet i Urbanet notat 155/2021 (Raustøl m.fl. 2021). Etter den tid har TØI overtatt oppgaven med å gjøre trafikkberegningene, og dette arbeidsdokumentet omhandler beregningene som er gjort for veitrafikk i kommunene i 2022.

For å beregne utslipp fra veitrafikk i NERVE er det behov for tall for trafikken med ulike kjøretøytyper på den enkelte veilenke, samt detaljert informasjon om selve veinettet som grunnlag for etablering av utslippsfaktorer pr veilenke. Av betydning for utslippsfaktorene er både generell informasjon om den fysiske utformingen av veiene (f.eks. kurvatur, stigningsforhold, veibredde etc), men også forhold som køsituasjon/forsinkelser på lenken i ulike tidsperioder. Forsinkelse på den enkelte veilenke kan igjen beregnes basert på trafikk på veien (på ulike tidspunkt) og ulike elementer som definerer veiens kapasitet.

Som grunnlag for å beregne trafikk og forsinkelser på veinettet i Norge i 2022 har vi benyttet transportvirksomhetenes modellverktøy bestående av de fem regionale transportmodellene for reiser under 7 mil (RTM), modellen for lange reiser (NTM6) og den nasjonale godstransportmodellen (NGM). Vi har i grove trekk benyttet samme metodikk som er beskrevet i tidligere notater til NERVE der Urbanet har stått for modellberegningene (Weydahl m.fl. 2018, Raustøl m.fl. 2021), men det er gjort noen metodiske forbedringer. I tillegg har modellene gjennomgått en del forbedringer fra 2016-beregningen som har ligget til grunn for trafikk tall og forsinkelser som har vært benyttet til nå. Dette innebærer at trafikkarbeidet for en del kommuner er betydelig endret fra tidligere beregning, men det er også en viss endring i trafikkarbeid på nasjonalt nivå for hver av kjøretøygruppene.

I dette notatet beskriver vi modellene som er benyttet i beregningene av trafikkarbeid og går gjennom de viktigste forbedringene av metodikken fra tidligere beregninger. Det gjøres også noen overordnede verifiseringer mot statistikk. Det er viktig å presisere at selv om det er gjort forbedringer i metoder og modeller, så er det fortsatt stor usikkerhet i trafikkarbeidet som er beregnet for den enkelte kommune. Det finnes ingen direkte fasit å verifisere geografisk fordelt trafikkarbeid mot, og når modellens resultater brytes helt ned på kommunenivå så er vi nok et stykke utenfor det som kan anses å være modellenes «gyldighetområde». I utgangspunktet er de kun kalibrert inn mot reisevaneundersøkelser som gjelder for et større modellområdet, med noen tilpasninger for å treffe trafikk tellinger på et grovt nivå.

A2 Modellverktøyet

Trafikken på veinettet i Norge er beregnet ved bruk av nasjonal persontransportmodell (NTM6), de fem regionale persontransportmodellene (RTM) og nasjonal godstransportmodell (NGM). I dette kapittelet gis en kort beskrivelse av hver av de tre modellene.

A2.1 Nasjonal persontransportmodell

Den nasjonale persontransportmodellen NTM6 dekker alle personreiser som er over 70 kilometer én vei (Rekdal m.fl. 2014). Modellen ble ferdigstilt i 2013, og er senere oppdatert med nytt veinett, nye kollektivruter og oppdaterte bom- og fergekostnader. Den er estimert på den nasjonale reisevaneundersøkelsen (NRVU) fra 2009.

Soneinndelingen er på såkalte delområder, som er aggregater av grunnkretser. Modellen har 1553 slike soner. Veinettet består av alle europaveier, riksveier og fylkesveier, og alle relevante kommunale veier. Kollektivtilbudet består av alle nasjonale hovedruter fra ENTURs database, samt enkelte sentrale lokale ruter som frakter passasjerer over lange avstander.

Den nasjonale persontransportmodellen omfatter de fire transportformene bilfører, bilpassasjer, kollektiv og fly. Det kollektive rutetilbudet består av ruter for buss, tog, hurtigbåt og rutebåt, men etterspørselsmodellen beregner turproduksjonen for disse kollektive transportformene samlet. Dette betyr altså at etterspørselsmodellen ikke skiller mellom de ulike kollektive transportmidlene, men at de kollektive turene fordeles på transportmidler først i rutevalget.

Etterspørselsmodellen består av delmodeller for valg av transportmiddel og destinasjon for de fem reisehensiktene arbeid, tjeneste, privat, besøk og fritid, splittet på distanser over og under 200 kilometer én vei.

Den nasjonale persontransportmodellen dekker reiser mellom soner i Norge. For enkelte sonerelasjoner kan veier i Sverige være en del av foretrukket rutevalg, og derfor er deler av det svenske veinettet med i modellen.

Etterspørselsmodellen produserer reiser per måned, som omregnes til døgntrafikk. Ved normal bruk kjøres etterspørselsmodellen to ganger. Årsaken til dette er at en del lange reiser, som for eksempel feriereiser og hytteturer, er sesongavhengige. Modellen kjøres derfor én gang for en normalsituasjon og én gang for sommermånedene. Resultatene vektes sammen med forutsetning om at sommertrafikken utgjør to av årets tolv måneder.

A2.2 Regional persontransportmodell

Den regionale persontransportmodellen REGMOD/RTM dekker alle personreiser som er opp til 70 kilometer én vei (Rekdal m.fl. 2021, Malmin m.fl. 2022, Tørset m.fl. 2022, Madslie m.fl. 2005, Rekdal m.fl. 2012). Første versjon av modellen forelå i 2005, mens en reestimert modell (estimert på den nasjonale reisevaneundersøkelsen fra 2013/2014) var klar i 2015. Senere er det gjort diverse oppdateringer knyttet til transportnettverk og kollektivruter, men også til andre elementer som innføring av elbiler med lavere kjørekostnader enn biler med forbrenningsmotor.

Soneinndelingen er på grunnkretsnivå, dvs ca. 14 000 soner som turer beregnes å gå mellom. Veinettet består av alle europaveier, riksveier, fylkesveier og kommunale veier. Kollektivtilbudet består av alle ordinære kollektivruter.

Den regionale persontransportmodellen omfatter de fem transportformene bilfører, bilpassasjer, kollektiv, sykkel og gange. Det kollektive rutetilbudet består av ruter for buss, tog, trikk, t-bane, bybane, hurtigbåt og rutebåt, men etterspørselsmodellen beregner turproduksjonen for disse kollektive transportformene samlet. Dette betyr at etterspørselsmodellen ikke skiller mellom de ulike kollektive transportmidlene, men at de kollektive turene fordeles på transportmidler først i rutevalget.

Modellen produserer turer for de seks reisehensiktene arbeidsreiser, tjenestereiser, fritidsreiser, reiser knyttet til henting og levering, private reiser og arbeidsplassbaserte reiser.

Den regionale persontransportmodellen har finere soneinndeling og mer detaljert nettverk og kollektivrutebeskrivelser enn den nasjonale persontransportmodellen, og den skiller også mellom rushtidstrafikk og lavtrafikk. Ved det tas det hensyn til forsinkelser som oppstår i veinettet knyttet til kø. Modellen har en rekke ulike beregningsopsjoner som lar brukerne velge detaljeringsgrad etter analysenes behov, og der valg av detaljeringsgrad ofte vil være en avveining mellom beregningstid og krav til oppløsning.

Den regionale persontransportmodellen består i utgangspunktet av fem modeller, som til sammen dekker hele Norge (RTM øst, sør, vest, midt og nord). Modellen er imidlertid generisk og kan i utgangspunktet kjøres for et hvilket som helst geografisk utsnitt av Norge. Dette utnyttes ved at det

gjernes etableres delområdemodeller for større byområder der en ønsker detaljerte analyser av endringer i transporttilbudet. Siden modellen er svært detaljert blir beregningstiden ofte lang, noe som både gjelder for store delområdemodeller og for de største av de fem regionale modellene.

A2.3 Nasjonal godstransportmodell

Det nasjonale modellsystemet for godstransport (NGM) (Madslien m.fl. 2016) kan deles inn i en etterspørsels- og en tilbudsside, hvor etterspørselssiden er representert ved et sett av matriser for varestrømmer (Hovi, 2018) mellom kommuner i Norge og mellom kommuner i Norge og utlandet, samt modellen NOREG (Rosnes m.fl. 2020, Hansen 2023). NOREG er en likevektsmodell som brukes til å framskrive varestrømsmatrisene til framtidig etterspørsel etter godstransport i Norge, sammen med bl.a. framskriving av økonomisk utvikling fra Finansdepartementet.

Tilbudssiden i NGM er representert ved kostnadsfunksjoner og en nettverksmodell som definerer transporttilbudet mellom alle soner i systemet. I tillegg er det en logistikkmodell (de Jong m.fl. 2013) hvor transportløsninger velges på en slik måte at bedriftenes logistikk-kostnader minimeres.

De viktigste komponentene som inngår i nasjonal godstransportmodell er:

1. Varestrømsmatriser, som skal representere årlig vareflyt mellom norske kommuner og mellom norske kommuner og utlandet, fordelt på 39 aggregerte varegrupper. Disse matrisene fremskrives til ulike prognoseår, slik at de representerer etterspørselen etter godstransport for hvert år man ønsker å analysere.
2. Kostnadsmodell/kostnadsfunksjoner, som representerer transportmidlenes tids- og distanseavhengige kostnader relatert til framføring av godset, samt lasting-/lossing og omlastingskostnader, og kapitalkostnader inkludert tidskostnader og degraderingskostnader for varer i transport. Det inngår også andre logistikkostnader, som ordrekostnader, lagerholdskostnader mv.
3. Transportnettverk som representerer de fysiske framføringsårene for vei, sjø, jernbane og flytransport, og terminaler og omlastingspunkter mellom transportformene. Basert på dette nettverket hentes det ut informasjon om transportdistanse, transporttid etc. mellom alle soner i systemet, ved ulike transportmidler og kjøretøytyper (LoS-matriser). Disse dataene benyttes sammen med kostnadsfunksjonene til å etablere transportkostnader for alle fremføringsalternativer.
4. Optimeringsrutiner for valg av sendingsstørrelse og transportkjede, der optimale valg gjøres basert på minimering av logistikkostnadene.

Gjennom nettverksmodellen kan planlagte infrastrukturtiltak kodes inn slik at forbedringer i vei-, jernbane- og farledsnett/havnestrukturen kan bidra til å endre konkurranseforholdet mellom transportmidlene. Dette kan f.eks. være nye veiforbindelser (med eller uten bompenger), nye bomringer eller justeringer av dagens bompengesystem (plassering av bomstasjoner, takstnivå etc.). Gjennom endringer i elementer i kostnadsmodellen kan man studere effekten på transportmiddelfordelingen av endringer i transport- og logistikkostnadene knyttet til ett eller flere av transportmidlene. Dette kan eksempelvis dreie seg om endrede drivstoffavgifter eller andre avgifter som vektårsavgift, men det kan også være lønnskostnader til sjåfør eller terminalansatte.

De ulike kostnadselementene i kostnadsmodellen er oppdatert til 2021-nivå (Grønland, 2022), mens tidsverdi for de ulike varegruppene samsvarer med resultatene fra verdsettingsstudien for godstransport som ble gjennomført i 2018 (Halse m.fl., 2019).

A3 Beregning av trafikk til NERVE

NERVE er en modell som brukes til å beregne utslipp til luft fra veitrafikk og som brukes i forbindelse med Miljødirektoratets årlige kommunefordelte klimagassregnskap. NERVE mates med trafikk tall hentet fra regional persontransportmodell, nasjonal persontransportmodell og nasjonal godsmodell. Dette kapittelet beskriver forutsetninger og tilpasninger knyttet til uttak av trafikk tall fra transportmodellene.

A3.1 Modellversjoner og inngangsdata

Transportmodellberegningene er gjennomført ved bruk av følgende modellversjoner:

- Regional persontransportmodell - Regmod 4.4.1
- Nasjonal persontransportmodell versjon 1.48.11
- Nasjonal godstransportmodell versjon 31.05

Dette er modellversjonene som også ligger til grunn for framskrivingene av person- og godstransport til NTP 2025-2036. For persontransport er NTP-framskrivingene rapportert i Madslien og Steinsland (2022), for godstransport i Madslien m.fl. (2022).

Forutsetninger og inngangsdata i beregningene til NERVE er i all hovedsak identisk med framskrivingene, men beregningene er gjennomført for beregningsåret 2022 mens basisår for framskrivingene var 2020 med 2030 og 2050 som prognoseår. Å endre beregningsår fra 2020 til 2022 innebærer at man må kjøre modellen med sonedata for 2022. Dette omfatter demografi på grunnkrets nivå, oppdaterte data om bilhold, førerkort og elbilandeler samt økonomisk utvikling fra modellenes estimeringsår.

Dersom det har skjedd betydelige endringer i transporttilbudet, bør også transportnettverket oppdateres, men det skjer ikke all verden på to år. Implementerte endringer i transporttilbudet er i dette tilfellet begrenset til enkelte oppdateringer av bomstasjoner og takster.

A3.2 Funksjonelle endringer

NTP-framskrivingene for persontransport bygger på beregninger gjennomført med nasjonal og regional persontransportmodell. TØI gjennomførte beregningene med nasjonal persontransportmodell, mens beregningene med regional persontransportmodell ble gjennomført av SVV. Beregningsresultatene ble sendt TØI for analyser og dokumentasjon.

TØI har i forbindelse med arbeidet med NERVE mottatt de regionale modellene som ble brukt i framskrivingene, og kjørt gjennom disse for beregningsåret 2022.

I NTP-framskrivingene ble beregningene gjennomført med resultatuttak på døggnivå. Bakgrunnen for dette er at de største regionale modellene krever svært lang beregningstid dersom man skal beregne trafikk på timesnivå, samtidig som det ikke er behov for så detaljerte resultatuttak i framskrivingene til NTP. I resultatuttaket til NERVE er det derimot et behov for å ta ut resultater på timesnivå fordi kø og tidsforsinkelser i rushtiden spiller en viktig rolle ved beregning av utslipp til luft fra veitrafikk.

For å kunne beregne trafikk på timesnivå for de store regionale modellene uten ekstreme beregningstider, har vi etablert en tilleggsapplikasjon som nettfordeler timesmatriser etter at standard regional persontransportmodell er kjørt på døggnivå.

Denne nettfordelingen er noe grovere enn nettfordelingen som gjøres i regional modell. I regional modell er det slik at man primært kjører regionale modeller på døggnivå og mindre

delområdemodeller for byområder på timesnivå. Nettfordelingen i regional persontransportmodell er svært detaljert, der turmatrisene er segmentert i en rekke dimensjoner som nettfordeler separat. Man har separate generaliserte reisekostnadsfunksjoner for elbiler og biler med forbrenningsmotor, separate tidsverdier for ulike reisehensikter og separate køkostnader for ulike rushtidsperioder. Dette gir ekstremt detaljerte resultater, men blir også svært tidkrevende å beregne for store modeller.

Vi har derfor valgt å nettfordeler ulike reisehensikter samlet i vår forenklete nettfordeling. Dette sparer mye beregningstid og bør kunne gi like god presisjon i resultatene som den mer detaljerte tilnærmingen som ligger i regional persontransportmodell.

For å kunne bruke døgnresultater fra standard beregning i regional persontransportmodell som input til en tilleggsapplikasjon som nettfordeler timesmatriser, kreves det en liten funksjonell tilpasning i den regionale modellen. Det er behov for å separere døgnets utreiser og hjemreiser når man etablerer turmatriser fra Tramod. Dette er nødvendig for å kunne fordele utreiser og hjemreiser forskjellig innenfor ulike tidsperioder. Man ønsker jo blant annet å fordele majoriteten av utreiser til arbeid i morgenrushet, mens hjemreisene primært skal foregå i ettermiddagsrushet.

Å operere med separate turmatriser for utreiser og hjemreiser sikrer også muligheten til å knytte turer til bosted siden utreiser i all hovedsak foregår med opphav i bostedsgrunnkrets, mens hjemreisene har bostedsgrunnkretsen som destinasjon. Denne muligheten er ikke utnyttet i disse resultatuttakene, men ligger som en opsjon dersom det blir behov i forbindelse med nye beregninger av trafikkutveksling.

Når man har kjørt gjennom regional persontransportmodell med denne distinksjonen, kan man etterskuddsvis fordele turmatriser på døgnnivå til timesnivå ved å benytte seg av timeandelene som ligger i modellens parameterfil, og deretter fordele timestrafikken i nettverket.

A3.3 Nettfordeling av timesmatriser

Nettfordelingen av timesmatriser gjennomføres kapasitetsavhengig for tre timer i morgenrushet og tre timer i ettermiddagsrushet. Det forutsettes fri flyt i lavtrafikkperiodene mellom 0900 og 1500 samt 1800 og 0600. Rushtidstrafikken nettfordeler med 10 iterasjoner, noe som innebærer at 10 % av turmatrisene legges ut av gangen, og det regnes ut ny framføringstid i nettverket etter hver iterasjon basert på volume-delay-funksjonene i regional persontransportmodell.

Turmatrisene aggregeres til fire volumfelt. Det første volumfeltet består av alle de korte reisene som produseres i Tramod. Turmatrisene som inneholder de korte reisene, er satt sammen av alle de fem regionene slik at de inneholder både reiser utført av bosatte i aktuell region og buffertrafikk utført av bosatte i naboregioner.

Det andre volumfeltet består av alle de lange reisene som produseres i NTM6. I tillegg legges også alle personbilturer i regional persontransportmodell som ikke produseres i Tramod til dette feltet. Det er primært grensetrafikk til/fra Sverige og bilreiser til/fra flyplasser som kan gi vesentlige bidrag til de lange reisene. Skolemodellens bilreiser legges også til dette volumfeltet, men gir neppe annet enn marginale bidrag.

Det tredje og fjerde volumfeltet består av turmatriser for henholdsvis godsbiler og varebiler.

A3.4 Etablering av godsmatrise

Det er etablert nye godsmatriser for hver av de fem regionene med utgangspunkt i lastebilmatrisen fra nasjonal godsmodell.

Den nasjonale godsmodellen har ganske grov soneinndeling, på kommunenivå for alle kommuner med unntak av de største bykommunene som har flere soner. Vi har derfor valgt å konvertere lastebilmatrisen fra kommuneinndeling til delområder, og nettfordele den i nettverket til den nasjonale persontransportmodellen. På denne måten kan vi etterpå benytte oss av funksjonaliteten som ligger i applikasjonen NTM6_til_RTM for å etablere regionale godsmatriser på grunnkrets nivå, på samme måte som vi etablerte regionale turmatriser for lange reiser.

Forutsetningene som ligger bak denne konverteringen, er at:

- Godstrafikk til og fra utlandet legges til delområdet nærmest grensen
- Godstrafikk til og fra terminaler legges til delområdet nærmest terminalen
- Godstrafikk til og fra kommuner spres til delområder basert på relativ størrelse målt i befolkning og antall arbeidsplasser

Nettfordeling av lastebilmatrisen fra godsmodellen gir i utgangspunktet tilfredsstillende resultater for trafikkarbeid sammenlignet med kjørelengdestatistikk fra SSB. Men målt opp mot trafikktegninger for lengdeklassene godsmodellen skal omfatte, gir modellen gjennomgående for lave trafikk tall.

Dette gjelder spesielt for tellepunkter i nærheten av større byer, men er altså også et gjennomgående trekk utenfor de store byene.

Det er utviklet en enkel applikasjon for å prøve å justere matrisen til bedre treff mot trafikktegninger. Denne applikasjonen sammenligner modellert trafikk mot statistikk for alle tellepunkter og kategoriserer forholdet innenfor syv ulike avviksattributter i intervallet -50% til 50%.

Deretter bruker man modellens rutevalgfunksjonalitet til å beregne hvor mange tellepunkter man passerer for hver reiserelasjon og antall passeringer som havner i de ulike kategoriene. Denne informasjonen bruker vi så til å justere lastebilmatrisen for å gi bedre treff mot tellingene.

Hvis man for eksempel passerer tre tellepunkter på riksvei 9 mellom Evje og Hovden, og flertallet av disse tellepunktene har mindre enn +/- 10 % avvik, gjøres det ingen justeringer av lastebilmatrisen. Dersom flertallet av tellepunktene gir avvik mellom modellert og registrert trafikk på mellom 10 % og 20 %, justeres turmatrisen opp eller ned med 10 % for denne relasjonen, avhengig av om lastebilmatrisen gir henholdsvis for lite eller for mye trafikk sammenlignet mot tellingene.

Denne prosessen er kjørt iterativt for å gi best mulig treff mot trafikktegninger. Utfordringen er at forbedringer av samsvar mellom modellert trafikk og trafikktegninger også innebærer at avviket mellom modellert trafikkarbeid og statistikken fra SSB øker. Etter iterasjonsprosessen har vi derfor valgt å nedjustere den nye lastebilmatrisen med 20 % for å sikre bedre samsvar mellom modellert trafikkarbeid og statistikk fra SSB.

A3.5 Etablering av varebilmatrise

Det er etablert en egen varebilmatrise for hver av de fem regionene i forbindelse med dette prosjektet.

Det er antatt at en god del av varebiltrafikken mangler i person- og godstransportmodellene, og vi har derfor gjort et grovt og forsiktig anslag på å kvantifisere denne mangelen, og legge det til som en egen matrise.

Varebiler disponeres i stor grad av mobile tjenesteytere og distributører. Mobile tjenesteytere er personer og bedrifter som driver i håndverker- og serviceyrker.

Ifølge Statistisk Sentralbyrå ble det kjørt i overkant av 7.3 milliarder vognkilometer med varebil i 2018. Håndverker- og serviceyrker sto for omtrent 46 % av dette trafikkarbeidet, mens varedistribusjon og linjetransport sto for omtrent 16 %. Resten av trafikkarbeidet på omtrent 37 % var knyttet til privat kjøring.

For å etablere en varebilmatrise er det naturlig å tilpasse med utgangspunkt i eksisterende turmatriser. Privat kjøring med varebil skal i prinsippet fanges opp i RVU på lik linje som personbiltrafikken, og turmatrisene som produseres i Tramod bør slik sett reflektere trafikkstrømmer med varebiler brukt til privat kjøring.

Trafikken fra mobile tjenesteytere bør nok også i grove trekk samsvare med trafikken produsert i Tramod. Befolkningen er dimensjonerende for trafikken som produseres for en gitt grunnkrets, og befolkning og antall arbeidsplasser er viktige attraksjonsvariable for reisemål. Vi har derfor antatt at turmatrisene fra Tramod også kan danne utgangspunkt for varebilmatrisens andel av reiser knyttet til mobile tjenesteytere.

I forbindelse med et annet prosjekt har vi etablert en varebilmatrise for Oslo og Akershus til bruk i modellen RTM23+. Dette har vært mulig fordi vi har mottatt bomdata for varebiler fra Oslo bomsystem, og i tillegg har mottatt GPS-data fra varedistribusjon med varebiler fra en stor distributør.

Vi har dessverre ikke tilsvarende data for resten av landet. Dette innebærer at vi ikke har informasjon om distributørenes reisemønster utenfor Osloområdet eller trafikkteillinger eller bomstatistikk for varebiler utenfor Oslo bomsystem.

Varebilmatrisene som er etablert i dette prosjektet bygger på grove og forenklete forutsetninger som at varebiltrafikken følger samme reisemønster som øvrig personbiltrafikk, og at andelen er størst i nærheten av de største byene og minst utenfor tettbygd område.

Bomstatistikk fra Oslo bomsystem tyder på at varebilene samlet sett utgjør i underkant av 20 % av antall passeringer i takstgruppe 1 for liten bil. Andelen er noe større i Indre ring enn i Osloringen og Bygrenseringen.

Basert på dette har vi valgt å etablere varebilmatriser ved å forutsette at disse skal bestå av 20 % av personbiltrafikken for reiserelasjoner til og fra tettsteder med mer enn 50 000 innbyggere, 15 % av personbiltrafikken for reiserelasjoner til og fra tettsteder med mer enn 10 000 innbyggere og 10 % for øvrige reiserelasjoner.

For reiserelasjoner til og fra Oslo, brukes varebilmatrisen etablert til RTM 23+.

Det forutsettes videre at persontransportmodellene allerede omfatter en god del av varebiltrafikken. Det er for eksempel naturlig å anta at privat bruk som altså står for 37 % av trafikkarbeidet nasjonalt er omfattet av RVU. I tillegg vil tjenestereisene i modellen dekke noe knyttet til mobile tjenesteytere.

Vi legger derfor til grunn at halvparten av varebilmatrisene allerede er omfattet av persontransportmodellene. Derfor nedjusterer vi varebilmatrisene med 50 % før de fordeles i transportnettverket.

A3.6 Busstrafikk

Busstrafikk er beregnet ut fra kollektivrutebeskrivelsene som ligger i regional persontransportmodell. Disse er opprinnelig hentet fra ENTUR, via en applikasjon som genererer ruter til transportmodellen.

Rutebeskrivelsene angir hvilke lenker hver bussrute traverserer i nettverket, og frekvensen angir antall avganger pr. rute fordelt på morgenrush, ettermiddagsrush og lavtrafikkperioden.

For virkedøgn legger vi til grunn tre timers morgenrush og tre timers ettermiddagsrush. Lavtrafikkperioden er i modellen forutsatt å vare i 12 timer. Helgetrafikken beregnes utelukkende basert på kollektivtilbudet i lavtrafikkperioden, som da forutsettes å vare i 18 timer.

Det lages ikke en turmatrise for bussene. Antall busser beregnes for hver lenke basert på rutebeskrivelsene i modellen. Bussene påvirker dermed ikke trafikkvolumene som brukes til å beregne tidsforsinkelser grunnet kapasitetsbegrensninger.

A3.7 Resultatnettverk

Det gjennomføres nettfordeling av korte reiser fra Tramod, lange reiser fra NTM6, varebilmatrisen og godsmatrisen for alle de fem regionene. Nettfordelingen skjer kapasitetsavhengig i rushtidstimene og kapasitetsuavhengig i lavtrafikkperioden.

Resultatene av denne nettfordelingen lagres som et transportnettverk med trafikkvolumer for hver region. Transportnettverket er på shape-format og inneholder kun lenkene som tilhører hver regions kjerneområde. Til sammen dekker de fem resultatnettverkene samlede trafikk tall for landet som helhet.

Transportnettverkene inneholder en lang rekke egenskaper for hver lenke. De fleste av disse er standardattributter som ligger inne i nettverket fra NVDB eller som beregnes i REGMOD.

Dette kan blant annet være informasjon som veikategori, veinummer, strekning, delstrekning og meter som brukes til å identifisere veilenkene.

Det kan også være informasjon om distanse, skiltet hastighet, veibredde og antall kjørefelt som forteller noe om veiens standard og dermed hvilke transportkostnader bruk av veien er forbundet med.

Skiltet hastighet angir høyeste lovlig tillatte hastighet og er generelt sett 80 km/t utenfor tettbygd område og 50 km/t i tettbygd område dersom annet ikke er oppgitt. Skiltet hastighet gir imidlertid ikke alltid et godt anslag på hvor fort man kjører på veiene. Derfor er det utviklet en fartsmodell som beregner fremføringshastighet for hver lenke blant annet basert på veistandard og kurvatur. Det er denne fremføringshastigheten som brukes ved fri flyt i modellen, og som danner utgangspunkt for den kapasitetsavhengige hastigheten som beregnes for rushtidstimene.

I Norge er høyeste tillatte fartsgrense 110 km/t. Det er en god del av de nyere europaveiene som har skiltet hastighet på 100 km/t og 110 km/t, men dette gjelder kun for lette kjøretøy. For tunge kjøretøy er høyeste tillatte fartsgrense 90 km/t.

I tillegg til fartsmodellen som beregner fremføringshastighet for biler basert på veistandard og kurvatur, finnes det også en fartsmodell for sykkel som blant annet beregner sykkelhastighet basert på vertikalkurvatur og standard. For syklende vil standard primært være definert av andel sykkelveier og sykkelfelt. I sykkel fartmodellen beregnes stigning og fall ut fra geometrien til hver lenke ved å akkumulere positiv og negativ endring i z-verdi mellom alle definerte knekkpunkter på lenkene. Stigning og fall er lenkeegenskaper som er relevante ved utslippsberegninger for veitrafikken.

Resultatnettverket inneholder også en del nye felter beregnet spesifikt i dette prosjektet samt en del felter som er standard i den regionale modellen, men har fått et annet feltnavn i disse resultatnettverkene.

Beregnete trafikkvolumer pr årsdøgn for henholdsvis korte reiser fra regional modell, lange reiser fra nasjonal modell, varebilmatrisen, godsmatrisen og bussrutene finnes i feltene RTMADT, NTMADT, VAREADT, GODSADT og BUSSADT.

Feltene LYDT1-LYDT8 inneholder virkedøgntrafikk for lette kjøretøy for tidsperiode 1 til 8. Feltene VYDT1 -VYDT8 inneholder virkedøgntrafikk for varebiler, mens TYDT1 -TYDT8 inneholder virkedøgntrafikk for godsbiler.

Tidsperiodene 1-3 er morgenrushtimene mellom 0600 og 0900, tidsperiode 4 er lavtrafikkperioden mellom 0900 og 1500, tidsperiodene 5-7 er ettermiddagsrushtimene mellom 1500 og 1800, mens tidsperiode 8 er lavtrafikkperioden mellom 1800 og 0600.

Feltene LTID1-LTID8 inneholder beregnet reisetid på lenken for lette kjøretøy for tidsperiode 1 til 8.

Feltene TTID1-TTID8 inneholder beregnet reisetid på lenken for tunge kjøretøy for tidsperiode 1 til 8.

A3.8 Virkedøgn og årsdøgn

Den regionale persontransportmodellen beregner korte personreiser under 70 km én vei og er estimert basert på data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen. Modellen er satt opp til å beregne trafikk for normale virkedøgn. Dette er hverdager utenom ferier og høytider. Det er omtrent 220 virkedøgn i løpet av et år.

Den nasjonale persontransportmodellen beregner antall lange personreiser over 70 km én vei. Den er også estimert basert på data fra den nasjonale reisevaneundersøkelsen. I den nasjonale reisevaneundersøkelsen svarer respondentene på hvilke korte reiser de har foretatt siste døgn og hvilke lange reiser de har foretatt siste måned. Dette er bakgrunnen for at den nasjonale modellen beregner lange reiser pr måned. Modellen beregner lange reiser for typiske feriemåneder og øvrige måneder. Det legges til grunn at to av årets tolv måneder er slike feriemåneder.

NTM6-trafikken oppgis som årsdøgnstrafikk. Dette beregnes ved å summere turer for to feriemåneder med ti ordinære måneder til trafikk for året, og deretter dividere denne summen på 365 dager.

Godsmodellen produserer lastebilmatriser pr år. Disse divideres også med 365 dager til årsdøgnstrafikk.

Når NTM6-trafikken og lastebiltrafikken tas inn i regional persontransportmodell, divideres turmatrisene med en faktor på 0.9. Dette gjøres for å konvertere årsdøgnstrafikk til virkedøgntrafikk. Det ligger altså en forutsetning om at årsdøgntrafikken utgjør 90 % av virkedøgntrafikken for gods og lange reiser.

For korte reiser anses forholdet mellom årsdøgnstrafikk og virkedøgntrafikk å variere med reisehensikt. Arbeidsreiser og tjenestereiser foregår i all hovedsak på virkedagene. Dermed forutsettes det at årsdøgntrafikken kun utgjør 77.5 % av virkedøgntrafikken for disse hensiktene. For fritidsreiser anser man derimot at reiseaktiviteten er høyere i helger og ferier enn på virkedagene.

En årsak til at vi bruker virkedøgn i regional persontransportmodell er at rushtiden anses å være et virkedøgnfenomen, og at man må bruke virkedøgntrafikk for å modellere realistiske reisetider i rusket.

Når vi i våre resultater også oppgir trafikkvolum pr årsdøgn, beregnes dette på følgende vis: Vi legger til grunn at det er 220 virkedøgn i året. Dette innebærer at året består av 220 dager med morgenrush og ettermiddagsrush. Turmatrisene for tidsperiodene 1-3 og 5-7 multipliseres derfor med 220. For de øvrige 165 dagene som ikke er virkedøgn, brukes turmatrisen for tidsperiode 4 som estimat for samlet trafikkvolum for timene mellom 0600 og 0900 samt 1500 og 1800.

Dette er de samme forutsetningene som brukes i modellverktøyets Trafikanntnyttmodul som brukes i forbindelse med samfunnsøkonomiske nytteberegninger i transportsektoren, og gir et godt anslag på årstrafikk og årsdøgnstrafikk basert på modellens virkedøgntrafikk.

A4 Validering av resultatene

I dette kapittelet vurderer vi resultatene fra beregningene i noen utvalgte dimensjoner. Underveis i arbeidet har vi (i større og mindre grad) studert hvilke endringer som er beregnet i trafikkarbeid (fra Urbanets tidligere beregninger) for alle kommuner. I og med at det er et svært omfattende materiale, samtidig som det ikke finnes fasit for hva som er *riktig* trafikkarbeid i en kommune, så har vi i dette notatet valgt å konsentrere oss om noen hovedpunkter som forklarer de vesentligste forskjellene fra tidligere beregning.

A4.1 Trafikkarbeid på nasjonalt nivå

De tidligere beregningene til NERVE har rapportert et relativt stort avvik i trafikkarbeid på nasjonalt nivå i forhold til det som oppgis i SSBs kjørelengdestatistikk.

For 2016-beregningen er avviket oppsummert i tabell 4.3 i NILU rapport 27/218 (Weydahl m.fl. 2018), mens det for 2018-beregningen er vist i tabell 4.3 i Urbanet notat 155/2021 (Raustøl m.fl. 2021). Begge tabellene viser at RTM-modellen gir for lavt trafikkarbeid for lette biler, og at bruk av de faste lastebilmatrisene som følger med RTM-modellen gir for høyt trafikkarbeid for tunge biler. Trafikkarbeidet er basert på at Urbanet selv har beregnet etterspørselen etter korte reiser i RTM, mens trafikkarbeid fra lange reiser og godstransport er beregnet basert på faste eksterne matriser som nettutlegges i RTMs veinett. Tabell A1 oppsummerer beregninger og sammenligningsgrunnlag i de to nevnte rapportene.

Tabell A1: Trafikkarbeid i SSBs kjørelengdestatistikk og modellberegnet trafikk, for årene 2016 og 2018. Kilde NILU rapport 27/2018 og Urbanet notat 155/2021. Millioner kilometer.

	Lette biler	Buss	Tunge biler
Urbanet 2016	34755	530	3662
SSB 2016	42249	570	1978
Urbanet 2018	33469	570	3239
SSB 2018	43372	580	2043

Vi ser at modellberegnet trafikkarbeid fra de lette bilene er altfor lavt i forhold til statistikken, mens det for de tunge bilene beregnes for høyt trafikkarbeid. Kolonnen for lette biler inkluderer SSBs trafikkarbeid for «små godsbiler». Dette utgjør ca 7-8000 mill kilometer pr år. Vi har en hypotese om at en del av dette er trafikkarbeid med varebil som er mangelfullt dekket i transportvirksomhetenes modellsystem.

Statistikken for tunge biler omfatter ikke utenlandske kjøretøyers kjøring i Norge. Det er anslått at utenlandske biler står for ca. 8 % av utkjørte kilometer med tunge biler i Norge (Nævestad m.fl. 2022), som innebærer at en kan legge til i underkant av 10 % på SSBs trafikkarbeid for tunge biler når en skal sammenligne med modellberegnet tungtrafikk. Kjøring med utenlandske biler kan dermed forklare noe av forskjellen for tunge biler, men ikke på langt nær alt. En annen årsak til avvik er antakeligvis at det ved etablering av de faste lastebilmatrisene som har vært brukt i RTM har vært lagt til grunn en «videre» tolkning av lastebil enn det SSBs statistikk bruker for tunge biler, ved at man har basert matrisen ved sammenligning mot tellepunkter har inkludert flere lengdeklasser enn det SSB har i sin tungbildefinisjon. Dette kan både gjelde kortere biler og lengdeklasser som i stor grad utgjøres av busser.

Vi har i foreliggende arbeid jobbet med å finne ut årsaker til dette avviket i trafikkarbeid på nasjonalt nivå, og basert på det gjort enkelte endringer i metodikk som beskrevet i kapittel 3.

De viktigste grepene for å komme nærmere SSBs trafikkarbeid på nasjonalt nivå, kombinert med akseptabelt treff mot SVVs trafikktegninger kan oppsummeres slik:

- Forbedringer av modellsystemet
- Forbedring i nettutleggingsalgoritmer slik at køproblematikk i større grad ivaretas
- Forbedringer i veinettskoding/hastighet mv. for å treffe bedre på rutevalg
- Lagt til varebiltrafikk som ikke dekkes av RTM-modellen (siden det ikke er med i estimeringsgrunnlaget fra RVU)
- Tungbiltrafikk fra Nasjonal godstransportmodell (med tilpasninger) i stedet for de faste matrisene som har fulgt med RTMs modellsystem

- Bussruter basert på rutekoding fra ENTUR-database, mens det tidligere var manuell koding av rutene

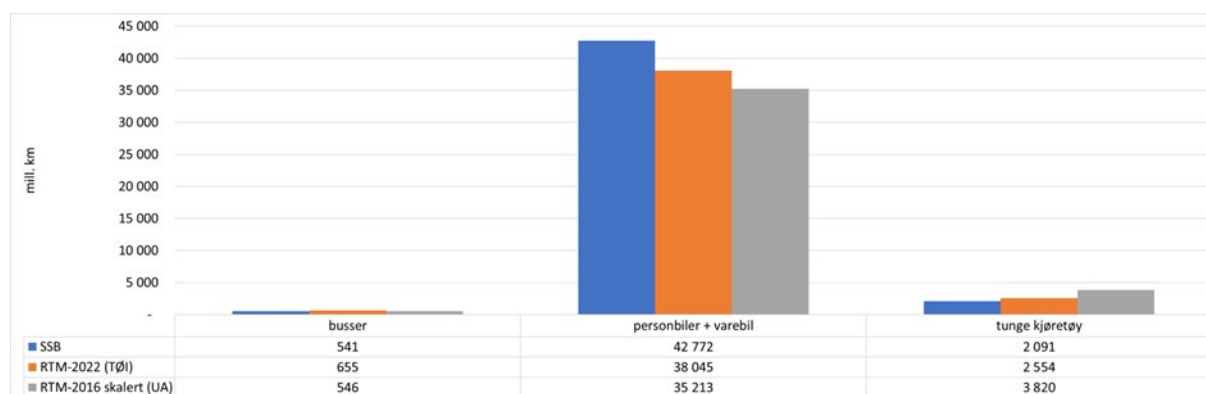
Beregnet trafikkarbeid for 2022 er vist i Tabell A2, sammen med SSBs kjørelengdestatistikk.

Tabell A2: Trafikkarbeid i SSBs kjørelengdestatistikk (SSB tabell 12575) og modellberegnet trafikk for år 2022. Millioner kilometer.

	Lette biler	Buss	Tunge biler
Beregnet 2022	38060	657	2553
SSB 2022	42772	541	2091

Sammenlignet med de tidligere beregningene fra Tabell A1 så viser de nyeste beregningene at vi har kommet et stykke nærmere offisiell statistikk for trafikkarbeid både for lette og tunge biler.

Figur A1 under er laget av NILU og sammenligner våre beregninger av trafikkarbeid for 2022 (oransje søyle) med tall fra SSBs kjørelengdestatistikken for 2022 (blå søyle) og med Urbanets beregning fra 2016, skalert til 2022-nivå basert på utvikling i tellepunkter (grå søyle). Tallene som gjelder vår beregning (RTM-2022 TØI) avviker marginalt fra Tabell A2 over, pga. litt ulik metodikk ved datauttak hos hhv. TØI og NILU.



Figur A1: Trafikkarbeid 2022 i SSBs kjørelengdestatistikk, TØIs modellberegnete trafikk for år 2022 og trafikk ved skalering til 2022 av tidligere modellberegnet trafikk. Millioner kilometer.

For de lette bilene ligger vi fremdeles noe under kjørelengdestatistikken, antakeligvis er det slik at RTM underestimerer noe den trafikken som den skal dekke samtidig som vi kanskje også ligger noe for lavt på den varebilmatrisen vi har laget. Dette er utfordringer vi håper kan «plukkes opp» og studeres videre i modellutviklingsprosjekter i regi av transportvirksomhetene. Forhold som bør undersøkes er om det er transport som mangler i modellene, i hvilken grad modellenes sonesystem bidrar til at det blir regnet for få kjørte kilometer i veinettet, og om norske bilers kjøring i utlandet kan bidra til at kjørelengdestatistikken viser for høye tall. I den siste vurderingen må man også ta hensyn til «motsatt» problematikk, dvs. kjøring av utenlandske biler i Norge (som ikke er dekket av kjørelengdestatistikken).

For buss ligger den nye beregningen en del høyere enn tidligere nivå, og også høyere enn kjørelengdestatistikken. Det kan være en indikasjon på at rutetilbudet som er kodet i transportmodellene er noe bedre enn det er i praksis, noe som f.eks. kan skje dersom man i modellen fortsetter at rushtiden, med bedre kollektivtilbud enn ellers, strekker seg over for mange timer, eller at det «typiske» kollektivtilbudet utenom rush gjelder lenger utover kvelden enn det som er tilfelle i

praksis. Også dette er en problemstilling som det kan være verdt å ta videre til transportvirksomhetene i forbindelse med at de i disse dager ser nærmere på «ENTUR-appen» som genererer kollektivruter fra ENTUR til bruk i modellene.

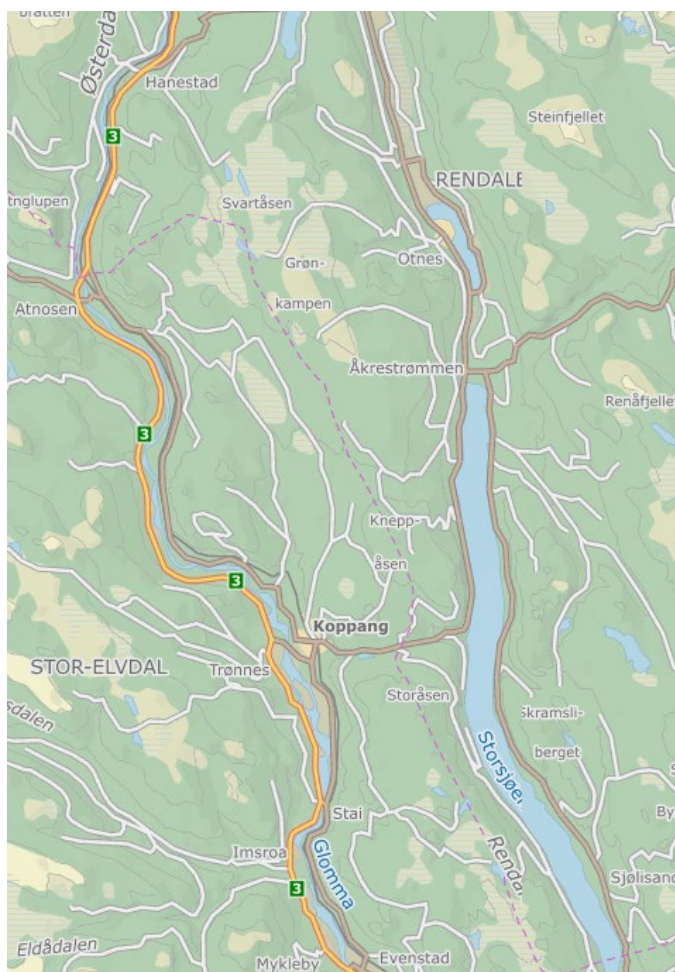
Kjørte kilometer med tung bil ligger noe over SSBs kjørelengeteststatistikk, men ikke så mye som tabellen tilsier siden våre beregnede kilometertall også omfatter utenlandske bilers kjøring i Norge, mens det ikke er dekket i statistikken. Hvis vi grovt legger til ca. 10 prosent på de norske bilenes kjøring så får vi et sammenligningsgrunnlag på 2300 millioner kilometer med tungbil. I arbeidet med innkalibrering av tungbiltrafikken i veinettet måtte vi noe opp i kilometer fra det som var beregnet gjennom Nasjonal godstransportmodell, for å unngå altfor store avvik fra trafikktegninger.

A4.1 Rutevalg

I transportmodellene beregnes antall reiser mellom ulike soner i nettverket, fordelt på reisehensikter, transportmidler, tidsperioder etc. Disse turene blir fordelt ut på de enkelte veilenker i veinettet basert på rutevalgsalgoritmer. Beste rute velges basert på en vekting av tidskostnader, distansekostnader og direkte utlegg i form av bompenger og fergetakster (gjørne kalt generalisert kostnad). I tidskostnadene inngår både «normal» kjøretid og eventuell tilleggstid som følge av kø. I modellens fordeling av trafikantene på ulike ruter ligger det inne forutsetninger om blant annet tidsverdier for ulike reisehensikter og hvor stor vekt man legger på direkte utlegg som bompenger. I praksis vil det også være mange andre forhold som styrer en bilists rutevalg, som kvalitet og kurvatur på veien, skilting, om en rute vinterstid er glattere enn en annen, naturopplevelser underveis etc. Enkelte veier er også stengt deler av vintersesongen. I noen tilfeller vil man kunne ha veivalg som i modellen har så lik generalisert kostnad at en marginal endring i ett av elementene (tidsbruk, kilometerkostnad eller direkte utlegg) kan endre veivalget for store grupper av bilister.

I beregningene vi nå har gjort har vi kjørt gjennom de fem regionale modellene med et litt mer «sofistikert» oppsett for nettlekking enn det som er brukt til NTP-framskrivingen, for bedre å få tatt hensyn til forsinkelser og endret rutevalg som følge av kø i rushtidsperioder. Dette vil nødvendigvis innebære at rutevalgene blir forskjellige i områder som er købelastet (i tillegg til at selve forsinkelsene beregnes mer nøyaktig). I tillegg ser det ut til at det er enkelte forskjeller fra tidligere beregninger som berører rutevalget for lengre turer og for godsbiler. Et tydelig eksempel på dette er veien over Suleskar (raskeste alternativ mellom Oslo og Stavanger), som er dårlig egnet for tunge biler hele året og vinterstengt for alle biler. Vi har i våre beregninger valgt å holde veien stengt for godsbiler, med den konsekvens at trafikkarbeidet for tunge biler i Gjesdal kommune blir betydelig lavere enn ved tidligere NERVE-beregning. Vi antar at det skyldes at Suleskarveien da var forutsatt åpen for godsbiler.

At dagens modell har et nyere og mer oppdatert veinettverk (inklusive bomstasjoner) enn før, kombinert med mindre endringer i rutevalgsalgoritmer og noen manuelle tilpasninger for å nedjustere hastigheten på veier som feilaktig ble valgt i modellen, så blir det og andre rutevalgsendringer. Som oftest betyr det lite for kjørte kilometer pr. kommune, men vi ser at det i enkelte tilfeller blir «overføring» av mye trafikk mellom kommuner. Et eksempel på dette er trafikken i Østerdalen, der vår beregning viser betydelig høyere trafikk i Stor-Elvdal (rv.3 i kartet i Figur A2) og lavere trafikk i Rendalen (fylkesveien til høyre i kartet) enn tidligere beregninger, med ca. en dobling av trafikkarbeid i Stor-Elvdal og halvering i Rendalen. «Trafikkoverføringen» gjelder både lette og tunge biler og tyder på at tidligere beregning har «bommet» på foretrukket veivalg gjennom Østerdalen, der fylkesveien har blitt valgt framfor rv 3.



Figur A2: Illustrasjon av veivalgsmuligheter gjennom Østerdalen (rv3 i Stor-Elvdal og fylkesvei i Rendalen) som påvirker trafikken i de to kommunene.

Vi ser også store utslag enkelte andre steder der det finnes flere tilnærmet like gode veivalg, f.eks. mellom Oslo og Bergen der en bl.a. kan velge mellom Hardangervidda, Hol-Aurland, Hemsedalsfjellet og Filefjell. I tidligere beregning var tungtrafikkandelen i Hemsedal kun 1,3%, noe som åpenbart er for lavt. I den nye beregningen er andelen 23,5 %, noe som ikke er et urimelig nivå basert på data fra tellepunktene langs hovedveien over Hemsedalsfjellet. Trafikken i en kommune er imidlertid sammensatt av mye mer enn det som passerer gjennom kommunen på en hovedvei, så hvorvidt det er et riktig nivå for tungbilandelen i kommunens trafikkarbeid er vanskelig å si. Her finnes det dessverre ingen fasit. Den store endringen i tungbilandel mellom de to beregningene skyldes etter all sannsynlighet at store deler av trafikken som i tidligere beregning valgte Hardangervidda er «overført» til Hemsedalsfjellet. Dette kan til en viss grad verifiseres ved at tungtrafikkandelen i Eidfjord, som i tidligere beregning var på over 40 %, nå er kraftig redusert.

Selv om vi ser at det har vært gjort grep som vi mener forbedrer tallene for kjørte kilometer i en del kommuner, så vil vi presisere at det fortsatt er stor usikkerhet i beregningene som er gjennomført. Vi er ganske sikre på at det også er kommuner der trafikkarbeidet i siste beregning er lenger unna det faktiske trafikkarbeidet. Tellepunktene i veinettet dekker bare en liten del av trafikken i en kommune, og det finnes ingen «fasit» for hva som skjer i resten av veinettet. Man kunne tenke seg at en enkel beregning basert på antall innbyggere eller antall biler i en kommune kunne gi en slags fasit, men det er så store forskjeller kommunene mellom både når det gjelder omfang av gjennomgangstrafikk og lengden på lokale reiser at også et sånt mål vil være beheftet med svært stor usikkerhet.

A4.2 Busstrafikk

Trafikkarbeidet for busstrafikken beregnes, som i tidligere NERVE-versjoner, basert på det som er kodet av bussruter i de regionale transportmodellene. En svakhet ved dette er at det kun er rutegående busser som kommer med, mens turbusser og eventuell annen busstrafikk som ikke går i rute ikke inkluderes. En sammenligning mot SSBs statistikk over kjørte kilometer med buss viser likevel brukbart samsvar (modellberegningene ligger litt høyere enn SSBs kjørelengdestatistikk), så det ser ikke ut til å være noen stor svakhet på nasjonalt nivå. For enkelte kommuner, spesielt de som har stort innslag av turistbusser, vil nok likevel manglende turbusskjøring innebære at beregnet trafikkarbeid for buss er for lavt.

For buss ble det i 2018 gjort en omfattende endring i kodegrunnlag i modellene, da man gikk over fra manuell koding av kollektivtilbudet til bruk av en applikasjon (Kwong og Ævarsson, 2018) som henter data direkte fra ENTUR. Dette har bidratt til en mye mer detaljert og nøyaktig beskrivelse av bussrutene i nettverket. I de fleste kommuner der det beregnes store endringer i kjørte kilometer med buss mellom de to beregningene, vil sannsynligvis denne endringen i metode for rutekoding i modellene ha betydd mer enn eventuelle reelle endringer i busstilbudet i kommunen.

A5 Trafikkutveksling

Klimagassutslipp fra biltrafikk er avhengig av hvor mye man kjører, hvordan man kjører og hva man kjører. Tidligere i dette arbeidsdokumentet har vi beskrevet forutsetninger som ligger til grunn for beregning av trafikkmengde og kjørehastighet ved bruk av transportmodellene. Dette kapittelet beskriver forutsetningene som ligger til grunn for etablering av trafikkutvekslingsmatrisen.

Data for bilparkens sammensetning foreligger på kommunenivå, men for å koble dette mot det beregnede trafikkarbeidet i kommunene, må man skille mellom trafikkarbeid utført av kommunens egen befolkning, og trafikkarbeid utført av bilister med bosted utenfor kommunen. For mange kommuner vil gjennomgangstrafikk og pendlertrafikk utgjøre en betydelig andel av beregnet trafikkarbeid. Trafikkutvekslingsmatrisen inneholder det beregnede trafikkarbeidet i hver kommune fordelt etter opphavskommune.

Transportmodellene kan beregne trafikkarbeid på to måter. Man kan fordele bilturene i transportnettverket, og summere sammen produktet av veilengde og trafikkvolum for alle veilenkene i nettverket. Alternativt kan man summere produktet av turmatrisen og distansematrisen over alle soneparene i modellen.

Da vi beregnet trafikkmengder og kjørehastighet, la vi til grunn at veinettet har kapasitetsbegrensninger som innebærer at forsinkelser og køer kan gi lavere kjørehastigheter og endret rutevalg i rushtiden. Når nettfordelingen på denne måten kjøres iterativt og kapasitetsavhengig, er det enklest å beregne trafikkarbeidet fra lenkene i nettverket.

Det er imidlertid ikke hensiktsmessig å legge til grunn samme detaljeringsgrad ved beregning av trafikkutvekslingen. Den regionale modellen opererer med grunnkretsinnndelingen fra 2020 og består av totalt 356 kommuner. Det vil være ekstremt tidkrevende å gjennomføre full, kapasitetsavhengig nettfordeling på timenivå for alle modellens kommuner.

Det er også andre faktorer som kompliserer en slik detaljert tilnærming. Nettfordelingen av turene ble gjennomført separat i de fem regionale modellene. Langdistansetrafikken fra NTM6 og Godsmodellen som krysser regionsgrensene ble koblet til såkalte eksternsoner på regionsgrensene. Vi kjenner hverken opphav eller destinasjon til en del av disse turene når de på denne måten fordeles i en regional modell. Trafikkutvekslingen for langdistansetrafikken fra NTM6 og godsmodellen må derfor beregnes nasjonalt, og kø og kapasitetsbegrensninger er ikke inkludert i de nasjonale transportmodellene.

A5.1 Metode

Trafikkarbeidet i trafikkutvekslingsmatrisen beregnes ved å multiplisere turmatrise og distansematrise. For de korte turene gjøres dette i de regionale persontransportmodellene og for de lange turene gjøres det i den nasjonale persontransportmodellen.

Distansematrisene beregnes på bakgrunn av transporttilbudet i lavtrafikkperioden, og tar ikke hensyn til at rushtidsforsinkelser og kø kan gi flere attraktive rutevalg mellom hvert sonepar. Alle lenkene i nettverket knyttes til kommunen A-noden ligger i og for hver kommune etableres det en LOS-datamatrikse som inneholder utkjørt distanse innenfor kommunens grenser for alle modellens sonepar.

Turmatrisene splittes etter opphavskommune. Persontransportmodellene produserer primært bostedsbaserte utreiser som gjør at det aller meste av trafikkarbeidet enkelt kan knyttes til bostedskommune. Vi brukes samme prinsipp for næringstransporten i Godsmodellen. Forutsetningen om at godsbilene hører hjemme i kommunen turen starter i er naturligvis forbundet med stor usikkerhet, men vi har ikke noe annen informasjon å basere oss på.

A5.2 Turkjeder

Persontransportmodellene beregner altså bostedsbaserte utreiser. Nasjonal persontransportmodell beregner rene tur-retur-reiser. Det forutsettes der at hver utreise har en hjemreise. Bosatte i en gitt kommune står dermed for alle lange utreiser med opphav i kommunen og alle hjemreiser med destinasjon i kommunen.

I regional modell beregnes det også rene tur-retur-reiser. Men i tillegg beregnes det turkjeder med flere reisemål. Alle reiser er nemlig ikke rene tur-retur-reiser definert med én enkelt reisehensikt. Noen henter barna i barnehagen på vei hjem fra jobb, eller stikker innom butikken for å handle. Slike kombinerte reiser utgjør en ganske stor del av de korte turene i modellen, og håndteres litt forenklet gjennom de såkalte LEG-turene. LEG1-turene inneholder turer fra bosted til første reisemål. LEG2-turene inneholder turer fra første reisemål til andre reisemål. LEG3 turene inneholder turer mellom andre reisemål og bostedet.

Man kjenner bosted for LEG1 og LEG3-turene, men ikke for de mellomliggende LEG2-turene. Disse fordeles til bostedskommune basert på sannsynlighetsvurdering. Metoden er utarbeidet og dokumentert av Asplan Viak (Raustøl m.fl. 2021).

Kort fortalt bruker man informasjon om LEG1-turene til å fordele LEG2-turene etter bosted. Man vet at alle LEG1-turer som ender opp i en gitt destinasjonssone, finnes som LEG2-turer med opphav i LEG1-turenes destinasjonssone. Hvis 10 % av LEG1-turene som ender opp i en gitt destinasjonssone B har opphav i bostedssonen A, forutsetter man at 10 % av LEG2-turene som starter i B har bosted i A. Man bruker altså fordelingen fra LEG1-turene til å koble LEG2-turene til bosted.

A5.3 Om leveransen

Elbiler utgjør en stadig større andel av kjøretøyparken av personbiler. Siden elbiler og biler med forbrenningsmotor har forskjellige transportkostnader knyttet til blant annet drivstoff og bompenger, beregner persontransportmodellene separate turmatriser for elbiler og biler med forbrenningsmotor.

Når vi rapporterer kommunefordelt trafikkarbeid beregnet i persontransportmodellene, skiller vi imidlertid ikke mellom trafikkarbeidet utført med elbiler og biler med forbrenningsmotor. Elbilandelene hentes i utgangspunktet ikke fra persontransportmodellene, men beregnes i NERVE-modellen basert på kjøretøyparken,

Leveransen av trafikkutvekslingsmatrisen besto i utgangspunktet av tre delmatriser. Disse omfattet trafikkarbeidet fra korte turer produsert i RTM, trafikkarbeidet fra lange turer som i hovedsak er produsert i NTM6, samt trafikkarbeidet fra godsbiler. Senere ble det også gjort et alternativt uttak der vi tok ut egne trafikkutvekslingsmatriser for elbiler og biler med forbrenningsmotor fra RTM og NTM6.

Trafikkutvekslingsmatrisen for korte turer inkluderer også arbeidsplassbaserte turer. Disse er ikke bostedsbaserte, og burde nok strengt tatt vært utelatt. Men de står for en marginal andel av trafikkarbeidet i modellen, og det anses derfor som uproblematisk å forutsette at disse starter i bostedskommunen.

Trafikkutvekslingsmatrisen for lange turer omfatter NTM6-trafikken samt turer til Sverige og tilbringerturer til og fra norske flyplasser. Skolereisene er ikke inkludert i trafikkutvekslingsmatrisen. Skolereisene utgjør en marginal andel av trafikkarbeidet med bil i modellen.

Det er ikke etablert en egen trafikkutvekslingsmatrise for varebiler. Varebilmatrisen er i all hovedsak utledet fra turmatrisene i regional persontransportmodell, og det er dermed ikke grunnlag for at trafikkutvekslingen for varebiler skal avvike fra trafikkutvekslingen for korte turer fra RTM.

Det er heller ikke etablert en egen trafikkutvekslingsmatrise for busser. Vi har ingen turmatrise for busser. Trafikkarbeidet for bussene er beregnet direkte ut fra rutetilbudet. Vi har derfor ikke noe grunnlag for å bruke utviklet metodeverk til å beregne trafikkutveksling for busser.

Tabell A3 viser fylkesfordelt trafikkarbeid beregnet for korte personturer, lange personturer og gods fordelt på fylker, sammenstilt med trafikkarbeidet i utvekslingsmatrisene.

Tabell A3: Modellberegnet trafikkarbeid for år 2022. Millioner kilometer.

Fylke	Transportmodell	Utsveksling	Avvik
3	2291	2236	-2.4%
11	2995	3066	2.4%
15	1674	1694	1.2%
18	1365	1420	4.0%
30	10992	10744	-2.3%
34	3908	3924	0.4%
38	3812	3632	-4.7%
42	2542	2557	0.6%
46	4226	4435	4.9%
50	3210	3202	-0.3%
54	1517	1545	1.9%
Samlet	38532	38454	-0.2%

Tabellen viser at utvekslingsmatrisen samsvarer bra med våre tidligere beregninger av trafikkarbeid til bruk i NERVE-modellen. Tabellen viser trafikkarbeidet fra den opprinnelige utvekslingsmatrisen som inneholder summen av elbiler og biler med forbrenningsmotor.

I de alternative utvekslingsmatrisene der det skilles mellom elbiler og biler med forbrenningsmotor er avvikene noe større for enkelte fylker, men små på aggregert nivå. Dette skyldes at modellen er kjørt på ny med oppdaterte elbilandeler før disse utvekslingsmatrisene ble etablert.

Referanser tilhørende Vedlegg A

- Grønland S E (2022). Kostnadsmodeller for transport og logistikk. Basisår 2021. TØI rapport 1884/2022.
- Halse A H, Mjøsund C, Killi M, Flügel S, Jordbakke G N, Hovi I B, Kouwenhoven M, Jong G D (2019). Bedrifters verdsetting av raskere og mer pålitelig transport. Den norske verdsettingsstudien for godstransport 2018. TØI rapport 1680/2019.
- Hansen W, Johansen B G, Rosnes O (2023). Likevektsmodellen NOREG versjon 2.2. Dokumentasjon av modellsammenhenger. TØI rapport 1937/2023.
- Hovi I B (2018). Varestrømmer i Norge – en komponent i Nasjonal godsmodell. TØI rapport 1628/2018.
- Jong G D, Ben-Akiva M and Baak J (2013). Method Report - Logistics Model in the Norwegian National Freight Model System (version 2). Den Haag, Significance.
- Kwong C K, Ævarsson G (2018). Automatisk rutekoding for regionale persontransportmodeller. TØI rapport 1624/2018.
- Malmin O K, Arnesen P, Babri S, Diez-Gutierrez M, Hjelkrem O A og Thorenfeldt U K (2022): CUBE – Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell. Versjon 4.4_beta. Sintef Community.
- Malmin O K, Arnesen P, Babri S, Hjelkrem O A og Thorenfeldt U K (2020). CUBE – Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell. Versjon 4.2.2. Sintef Community.
- Malmin O K, Arnesen P, Babri S, Hjelkrem O A og Thorenfeldt U K (2019). CUBE – Teknisk dokumentasjon av Regional persontransportmodell. Versjon 4.1. Sintef Byggforsk.
- Madslie A og Steinsland C (2022). Framskrivinger for persontransport til NTP 2025-2036. TØI rapport 1926/2022.
- Madslie A, Hovi I B og Hansen W (2022). Framskrivinger for godstransport til NTP 2025-2036. TØI rapport 1918/2022.
- Madslie A, Steinsland C og Grønland S E (2016). Nasjonal godstransportmodell. En innføring i bruk av modellen. TØI rapport 1247/2016.
- Nævestad T-O, Hesjevoll I S, Sagberg S, Hovi I B og Elvik E (2022). Tunge kjøretøys ulykkesrisiko i Norge. TØI rapport 1886/2022.
- Raustøl J, Strætkvern A, Høyem H og Alstad S (2021). Dokumentasjon og validering av oppdaterte trafikkberegninger til NERVE. UA Notat 155/2021.
- Rekdal J, Larsen O I, Hamre T N, Malmin O K, Hulleberg N, Flügel S og Madslie A (2021). Etablering av etterspørselsmodell for korte personreiser. Teknisk dokumentasjon fra estimeringen. TØI rapport 1814/2021.
- Rekdal J, Hamre T N, Flügel S, Steinsland C, Madslie A, Hoff A, Zhang W og Larsen O I (2014). NTM6 – Transportmodeller for reiser lengre enn 70 km. Rapport 1414, Møreforskning Molde.
- Rekdal J, Larsen O I, Løkketangen A og Hamre T N (2012). TraMod_By Del 1: Etablering av nytt modellsystem. Rapport 1203, Møreforskning Molde. Revidert versjon av rapporten i 2013: Rapport 1313.
- Rosnes O, Vennemo H, Erraia J og Hansen W (2020): Regional økonomisk framskrivning basert på likevektsmodellen NOREG. VISTA analyse, rapport 2020/8.
- Tørset T, Malmin O K, Flaata E H og Hjelkrem O A (2022). CUBE – Regional persontransportmodell versjon 4.4. Sintef Community 2022-10-29. Rapportnr. 2021:01297.
- Weydahl T, Grythe H, Haug T W og Høyem H (2018). NERVE – Utslippsmodell for veitrafikk. Dokumentasjon av beregningsmodell for klimagassutslipp i norske kommuner. NILU rapport 28/2018.

Vedlegg B

Trafikkskalering. Beregning av trafikkindeks for hver kommune

Dette vedlegget beskriver prosedyren for å beregne en trafikkindeks for hver kommune. Prosesseringen er implementert i et python-script som ligger åpent på git.nilu.no²⁷.

Tellinger²⁸ hentes for aktuelle år via API med script utviklet av NILU²⁹. Følgende kategorier trafikk er behandlet i prosesseringen:

- **Totaltrafikk: «VolumeAverage»**
- **Korte kjøretøy under 5,6 meter: «LessThan560»**
- **Lange kjøretøy over 5,6 meter: «MoreThan560»**

Sykkelpunkt inngår ikke. For å beregne aggregerte indekser på fylkes- og nasjonalt nivå brukes trafikkdata fra RTM med skalering fra foregående år til trafikkvekting. F.eks. for prosesseringen av tidsserien 2009-2023 er trafikken for året **2022** benyttet.

Statens vegvesen (SVV) har i sin prosessering av trafikkindeks gjort en vurdering av tellepunkt som av ulike grunner ikke skal inngå i beregningsgrunnlaget. Listen over disse punktene mottas fra SVV for hvert år. Det gjøres en manuell tilleggsvurdering av tellepunkt i enkelte kommuner. Dette gjelder særlig kommuner hvor indeksen utpeker seg i positiv eller negativ retning eller fraviker mye fra fylkesindeks eller byindeks der det er relevant.

Nasjonal og fylkesvis trafikkindeks fordelt på totaltrafikk, lette og tunge hentes fra SVV³⁰. I tillegg hentes byindeksen for enkelte byer/byområder for lette biler. Disse indeksene benyttes i evaluering av den beregnede indeksen. I tillegg brukes fylkesindeksen som kommuneindeks for de kommunene som har et lavt antall tellepunkt.

Tellepunkt med for lav dekningsgrad «Coverage» fjernes før indeksen beregnes. **Krav til dekningsgrad har blitt satt til 90%.** For hver trafikk-kategori (dvs. total, korte, lange) beregnes følgende:

1. En foreløpig trafikkindeks, I'_i , for hvert tellepunkt, i , i år y og $y-1$, hvor Q er ÅDT på tellepunktet beregnes:

$$I'_i = \frac{Q_{i,y}}{Q_{i,y-1}}$$

2. Sorter ut indekser som har for ekstreme verdier, dvs. som er større enn $I_{\text{limit_up}}$ eller mindre enn $I_{\text{limit_down}}$. Fra 2022 til 2023 er denne grensen satt til $I_{\text{limit_up}}=2,0$ og $I_{\text{limit_down}}=0,67$.
3. Videre prosessering av kommunal indeks skjer kun for kommuner med et tilstrekkelig antall tellepunkt. Kravet til antall tellepunkt er **8 eller flere**.
4. Basert på gjenværende data beregnes en kommunal indeks for alle kommuner med tilstrekkelig antall tellepunkt:

$$I_k^{\text{lok}} = \sum_i^{N_k} \frac{Q_{i,y}}{Q_{i,y-1}}$$

²⁷ <https://git.nilu.no/emissionmodels/NERVE.git> under katalogen «pre».

²⁸ <https://www.vegvesen.no/trafikkdata/>

²⁹ <https://git.nilu.no/hvr/nilu.importers/-/blob/master/release/nilu.importers.traffic.exe>

³⁰ <https://www.vegvesen.no/fag/trafikk/trafikkdata/trafikkutvikling/>

5. Kommuner med for få godkjente tellepunkt bruker en fylkesindeks. Det er valgt å bruke SVV sin fylkesindeks, I_k^{SVV} , direkte fra veitrafikkindeksen. Det er ikke et mål for statistikken at fylkessnittet skal stemme så godt som mulig, men at hver kommune skal få en mest mulig representativ indeks.
6. For sammenligning mot veitrafikkindeksen (SVV) beregnes en fylkesindeks som et trafikkvektet gjennomsnitt av kommuneindeksene I_k (I_k^{lok} og I_k^{SVV}). Indeksene er vektet med kommunens trafikk for aktuell kjøretøykategori fra RTM innenfor fylket f , $TA_{RTM,k}$ er totalt trafikkarbeid innenfor kommunen k , og $TA_{RTM,f}$ er summert trafikkarbeidet i fylket f .
Trafikkindeksen er da gitt ved:

$$I_f = \frac{1}{TA_{RTM,f}} \sum_{k \in f} (TA_{RTM,k} \cdot I_k)$$

Nasjonal indeks beregnes tilsvarende ved å summere over alle kommuner.

Vedlegg C

Kaldstart implementering og sensitivetsberegninger

Deler av innholdet i dette vedlegget er tidligere publisert i (Grythe et al., 2022).

Cold start emissions are in HBEFA calculated based on different input parameters than regular emissions. Cold start emission factor is an addition to the regular driving emissions that comes from starting a cold engine. The emission factor is in HBEFA given as g/start. The magnitude of the cold start emissions depends on outdoor and engine start temperature, the type of vehicle and length and type of driving. The engine temperature of a start depends further on the outdoor temperature and the time since, and thus the temperature of the engine at, the end of the last trip. Emissions from cold start are typically >0, but not necessarily so for all compounds/vehicles/starts. It also varies with the type of driving that follows. Seo et al. (2022) show that high speeds with a cold engine particularly increase emissions and Weber et al. (2019) found a strong difference in emissions from EDC driving cycles at cold outdoor temperatures with a cold engine. The latter is very much in line with HBEFA, whereas the former is not resolved.

To calculate the cold start emissions from HBEFA, 3 distinct sets of data are needed. 1) Is outdoor temperature, 2) the vehicle fleet and 3) the Number length and time between each trip. For NERVE only the third of these 3 presents a challenge. Both vehicle fleet on subsegment and municipal resolution is available in the data feeding to NERVE. Gridded and measured temperatures are available from met (frost API + gridded data).

In SSB statistics, the number and types of starts have been calculated for all types of starts based on travel statistics (RVU). This is based on the quasi bi-annual survey data from the national travel survey, in combination with vehicle driving statistics on a national level. This considers both climatic conditions, vehicle types and driving lengths/ # starts. For light vehicles the emissions from cold start contributed about 4-6 % of total light vehicle CO₂ emissions in 2013 (Holmengen & Fedoryshyn, 2015). The emission from cold start was from about 55% to 80% of total VOC emissions. On the contrary, cold start acts to reduce NO_x emissions from diesel engines (see Holmengen & Fedoryshyn 2015 Table 34). Calculated cold start NO_x emissions by the current proposed methodology are consistent with other reported emissions (Boulter & Latham, 2009).

In literature, the relative importance of cold start emissions varies significantly for CO₂, but generally agree that CO₂ emissions increase when the starting engine temperature significantly differs from the operating temperature. The effect on emissions can be much larger for other compounds such as air quality compounds, PM and NO_x. E.g., when starting the engine, the catalytic converter has not warmed up, and thus NO₂ is not effectively removed (EMEP/EEA guidebook 2013). The method proposed in the EMEP/EEA guidebook (European Environmental Agency (EEA), 2023) is very similar to that of HBEFA, considering the same parameters, and treating cold start emissions separately and additional to warm engine emissions.

For the NERVE model, cold start needs to be treated in a statistical way, same as is done by SN, as each individual start cannot be treated individually. To resolve individual trips would not only require knowing the length of each trip conducted by a vehicle each year, but also when it was done. As opposed to aviation or ship traffic, where these data are available, this cannot be done for road vehicles. Furthermore, a full account of emission factors is not available as HBEFA only publish emission factors for light vehicles. This appears also to be the same in COPERT and EMEP guidelines, only light vehicles have cold start emission factors.

Though it is feasible to use the local temperature of a grid of perhaps 500 m, this can be applied in the time variation of emission, later in the process. Practically, a larger area with a representative

temperature such as a municipality, an annual temperature distribution can be used as temperature. This can be obtained either from gridded reanalysis data or from measurement stations. This way, a local temperature distribution per start can be obtained. A further simplification to this method is to do this once, to obtain regional temperature differences, then to adjust this based on the annual average temperature.

To obtain the local numbers of starts and stops, municipal vehicle fleets and their driving distances can be used. For this also a trip length and time between starts would be required. It is probably not possible to obtain a local distribution of the latter, and the question then is if there should be done any local / regional adjustment to national numbers or if the national numbers can be applied directly as an adjustment to the local driving distances. The main uncertainty in this is whether there are large implications of geographical differences in number and average trip lengths. The only real quantitatively source of data to investigate this would be driving distances and trips from RTM, but there are several limitations on how to apply this. Therefore, it is worthwhile to investigate if the difference in total emissions would change much as a consequence of the choice of resolution in the different input data. This way we can find out if it is advisable to spend time and resources on this.

C1 Sensitivity of cold emission factors for Norway

A complete set of the most highly resolved cold start emission factors for Norway were extracted from HBEFA (4.1). It contains ~170 000 emission factors for light (PC and LCV) vehicles. In addition to national and seasonal emission factors for Norway for some 90 subsegments, it has dependencies on outdoor temperature, parking time and driving distance. It does not say to what extent parking conditions such as garage or indoor parking is considered.

In order to evaluate the necessity of using cold start emission factors on a high resolution, the emission factor data was coupled to the municipal driving distances per subsegment for the years 2009-2020. This gives a fleet average emission factor that is resolved on the municipality level and would thus give insights into the actual variability between municipalities. Some select stations/years of daily average temperature data were also used covering the same period. Each dependency of the emission factors was examined independently before some co-dependencies and general thoughts sum up the study.

C1.1 Relative importance of cold start for different compounds

To evaluate the relative importance of adding the cold start to the emissions a coarse estimate was made. Based on the national the national driving distance, private cars (PC) drove 33 872 million km and Light commercial vehicles (LCV) drove an additional 7 183 million km in 2020. Using 12.4 km/trip, the average driving distance of the European Union (European Environmental Agency (EEA), 2023), this gives 3 300 million starts done by light vehicles in Norway.

An estimate for the emissions of each compound was obtained (Tabell C1) by using the average cold start emission factors. Within the limitation of the coarse approach, Tabell C1 shows that cold start is a dominating contributor to emissions of several compounds. Carbon monoxide (CO), methane and other VOCs are almost exclusively emitted by cold start, but cold start also has a relevant contribution to PM.

For CO₂, fuel consumption (FC) and notably NO_x, there are relatively very low emissions from cold start to the total, all around 5%. This is purely an effect of cold operating the engine and does not consider more difficult driving conditions during winter in Norway.

*Tabell C1: Cold start emissions for Norway in 2020 under a set of assumptions, for all available compounds. A comparison to the HOT emissions for relative importance. (*There has not been done a correction in table 1 for cold start emissions of CO₂ rep for biofuel +includes electric) Table from (Grythe et al., 2022)*

Compound	Cold (kTon)	NERVE hot (kTon)	% Cold /(Hot+Cold)
CH ₄	0.388	0.180	68
CO	33.1	7.25	82
CO ₂ (rep)*	270	4966	5.2
FC	85.8	1699	4.8
FC_MJ+	3.71	76.0	4.7
HC	6.30	0.724	90
NMHC	5.91	0.544	92
NO _x	0.718	15.3	4.5
PM	0.0637	0.312	17

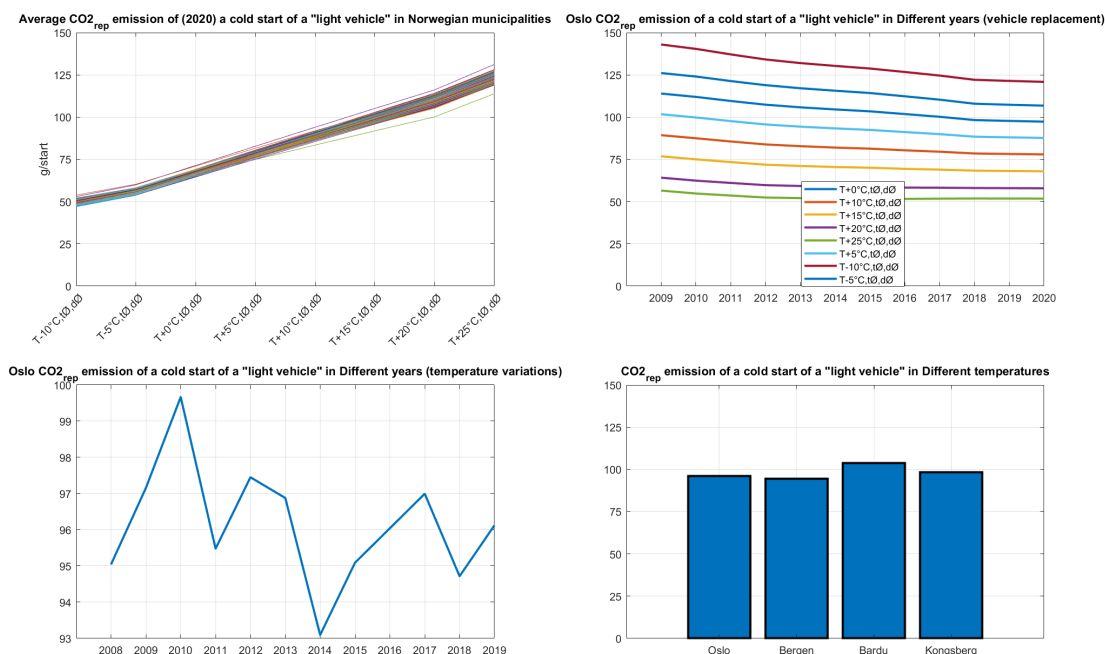
C1.2 Outdoor temperature

Outdoor temperature affects the engine start temperature but also the temperature of the air injected to the engine. In addition, for cold outdoor temperatures there is a need for heating the seating area (and cooling in very warm temperatures).

Though cold start emissions are most associated with cold outdoor temperature it is an effect also in warm weather. This is clear from Figur C1(a), where each of the lines represent the weighted vehicle distribution of Norway's 356 municipalities. In F1a the temperature goes from +25 to -10 and shows a linear increase from about 50 g/start to 125 g/start, averaged over national average (Ø) driving distances (d) and parking times (t). The inter municipality difference is minimum 6 g/start at 25°C and maximum 17 g/start at 17°C. **This difference equates to about 12% and is purely an effect of differences in the vehicles present in different Norwegian municipalities.**

To look at how the sensitivity of the vehicles changes over time, the vehicle composition of Oslo was used. The average emission factors of Oslo's vehicles are shown for 2009-2020 at different temperatures in Figur C1(b). There is a decline in cold start emissions over the 12-year period in about 1% per year due to changes in the vehicle fleet. Holding the vehicle fleet constant and using actual temperatures (Figure(c)), the interannual variability due to differences in temperature between the coldest (2010) and warmest year (2014) is about 7% with the 2020 vehicle fleet of Oslo.

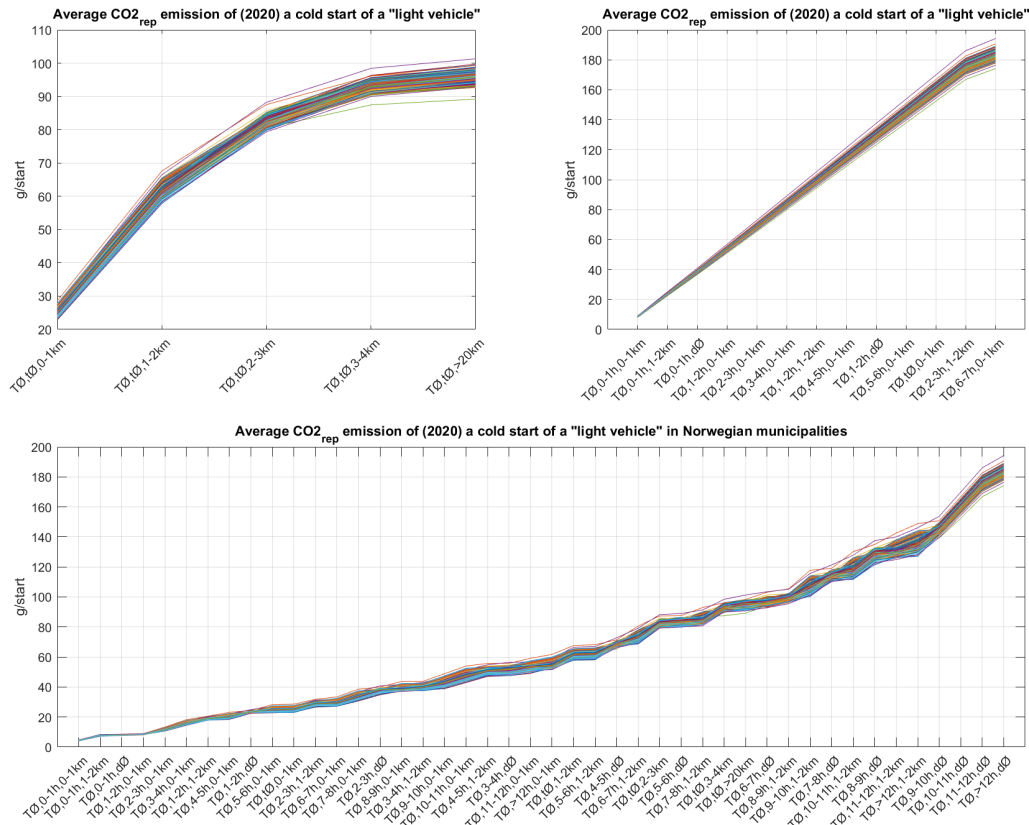
Finally, the annual temperature varies with the geography of Norway (Figur C1(d)). To investigate this, we calculated the average cold start emission factors of the vehicle fleet from Oslo using temperatures from 4 stations around Norway; Blindern (Oslo), Flesland (Bergen), Bardufoss, and Kongsberg. We used a 10-year time series daily mean temperature. The **resulting emission factor differences for cold start is about 18% between the coldest (Bardufoss) and warmest (Bergen) location**.



Figur C1: **Upper left / a):** each line represents the emission factor of 1 of Norway's 356 municipalities (2020) and is shown averaged over the assumed driving distances and temperatures in Norway. **Upper right / b):** The time evolution of emission factors with the exchange of vehicle fleet in Norway. **Lower left / c):** Emission factors of the 2020 vehicle fleet in Oslo, for each year based on observed Blindern temperature. **Lower right / d):** emission factor of the 2020 Oslo vehicle fleet based on temperatures measured across Norway. Figure from (Grythe et al., 2022)

C2 Driving patterns assumed

Driving distance and parking time between trips have a significant effect on the emissions. Cold start emissions increase from about 10 gCO₂/start, for a short trip (<1km) after a short parking (<1hour) to nearly 200 gCO₂/start for a long trip after a long parking time (Figur C2). Thus, there is a large potential for differences in cold start emission factors by the trip distribution in time and space.

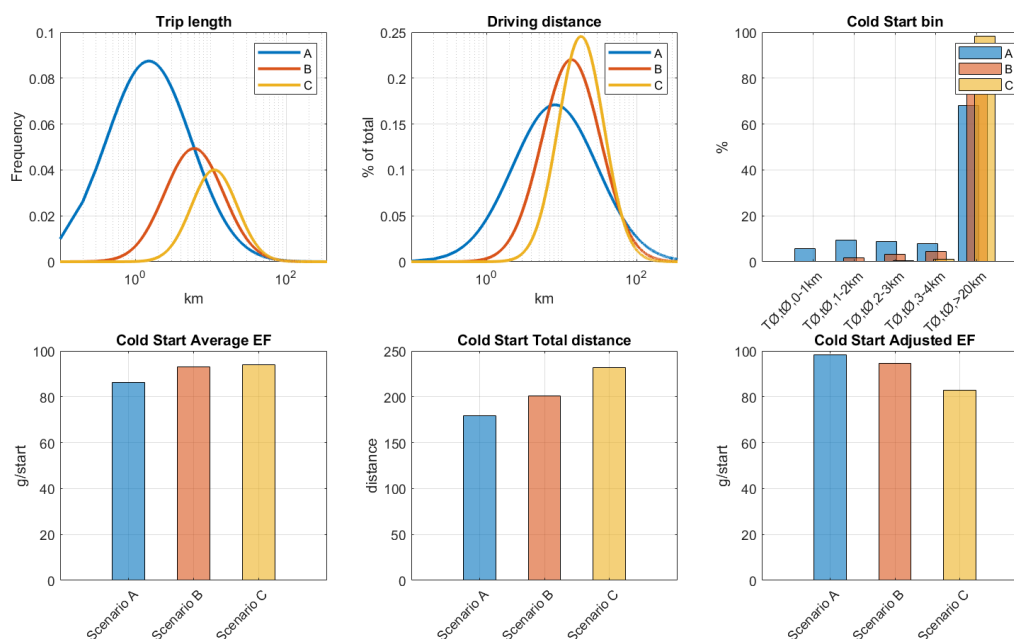


Figur C2: **Upper left / a):** Emission factors dependence on driving distance after the start for Norwegian average ($\emptyset$) parking time and temperature. **Upper right / b):** As a, but letting parking time vary. **Lower / c):** Sorted emission factors based on parking time and driving distance averaged over Norwegian temperatures.

Some scenarios with trip length distribution were constructed to check the sensitivity to these assumptions. Again, using the vehicle distribution and temperature of Oslo three scenarios were created. Scenario A, B and C were made to represent the trip distribution of the Norwegian light vehicles. This is grossly simplified as this is probably not a single model distribution, but it captures some important points. For each of the three scenarios a lognormal distribution of length of trips was assumed. Each has an assumed average driving distance of 2, 8 and 10.2 km shown in Figur C3 top left.

The following plots in Figur C3 show the resulting statistics of average emission factor, distance driven and “adjusted emission factor”. The adjusted emission factor is the most relevant parameter for NERVE, as the starts assumed will be limited by the total driving distance. Thus, the lower distance of scenario A makes for a larger number of trips to fulfill a given total driving distance.

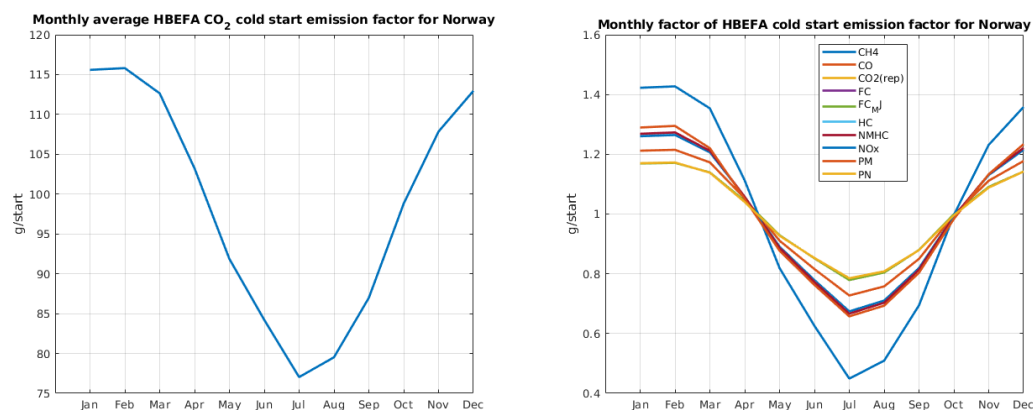
Given a constant total driving distance the effect of fewer and longer trips thus results in higher cold start emission factors, however the total sum of cold start emissions will be lower due to fewer starts. It is possible to do a similar analysis of parking times, but it is harder to analyze. Increased parking times are probably connected to similar assumptions as for the trip length. While a decrease in average parking time will reduce the emission factors, it will at the same time lead to more starts and thus increase total emissions. The combined effect of trip and parking time assumptions / data is therefore probably the most important factor to determine total trips, and hence also total cold start emissions. Within the assumed range of average driving lengths, 20-30 % variance can be expected.



Figur C3: **Top:** Trip distribution (**left**), driving distances (**middle**) and according binning of distances of scenario A,B,C (**right**). **Bottom:** emission factors total driving distance and adjusted (EF/starts required to make the same distance).

C3 Monthly time variation of cold start emissions

Seasonality of emissions is of interest for the time variation of emissions. The sensitivity is similar for most compounds. The monthly factors in Figur C4 should only be applied to emissions from cold start and not to total emissions.



Figur C4: Monthly weight of emission factor in Norway for all available compounds based.

C4 Summary and conclusion

Cold start emission factors increase emissions for all compounds investigated. The relative importance of cold start is very dependent on the compound and the assumptions made. Cold temperatures increase all emissions.

Temperature variations both between years and between geographical regions in Norway are relatively small. For a cold year in a cold region, cold start emissions would be about 20% larger than in a warm region in a warm year. If 5% of emissions are due to cold start as for CO₂, this would make a difference in total emissions of 0.1% due variations in temperature.

The difference in emissions varies also with the vehicles. Having used all the vehicle fleets of the Norwegian municipalities, the inter-municipal emissions variations are about 10%. This should be about constant in time, as cold start emissions go down about 1% per year, a similar rate of hot emissions (per/km).

The largest variability is found for combined parking times and trip lengths. There is however probably a strong connection between short parking and short trips and so errors in data or assumptions here may not be crucial. Suitable temperature and vehicle data exists in NERVE to make high resolution emission factors for these two dependencies. To also resolve trips and parking time would depend on the input data availability but could show similar or larger impact on cold emissions and can therefore also be considered implemented in NERVE as local properties. Number and length of trips can be accessed in the RTM model to produce data for NERVE, parking time will probably also be possible to base on this.

NILU er et norsk, nonprofit og uavhengig klima- og miljøforskningsinstitutt stiftet i 1969. Vi startet som et luftforskningsinstitutt, men har utvidet til å i dag forske på nær alle sider av hvordan mennesker, klima og miljø påvirker hverandre.

Vårt mål er bedre livskvalitet for alle! Det bidrar vi til gjennom vår forskning på atmosfærens sammensetning, klimaendringer, luftkvalitet, miljøgifter, helseeffekter, bærekraftige systemer, sirkulærøkonomi og digitalisering. Til sammen muliggjør dette bærekraftige løsninger på aktuelle samfunns- og næringslivsutfordringer.

www.nilu.no