



SINTEF



Rapport

FoU-prosjekt – Kildestøy fra veitrafikk

Etablering av oppdaterte kildemodeller for Norge ved hjelp av målekampanje og KI

Forfattere:

Karen Brastad Evensen, Herold Olsen, Truls Berge, Femke Gelderblom

Rapportnummer:

2024:00816 - Åpen

Oppdragsgiver:

Statens Vegvesen



SINTEF Digital
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919303808 MVA

Rapport

FoU-prosjekt – Kildestøy fra veitrafikk

Etablering av oppdaterte kildemodeller for Norge ved hjelp av målekampanje og KI

EMNEORD

Kildestøy fra veitrafikk,
KI, målekampanje,
Cnossos-EU, Nord2000

VERSJON

0.3

DATO

2024-09-27

FORFATTERE

Karen Brastad Evensen, Herold Olsen, Truls Berge, Femke Gelderblom

OPPDRAGSGIVER

Statens Vegvesen

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Torunn Moltumyr

PROSJEKTNUMMER

102029208

ANTALL SIDER

50

SAMMENDRAG

I samarbeid med Statens vegvesen, har SINTEF gjennomført et forsknings- og utviklingsprosjekt med mål om å vurdere dagens gjeldende kildemodeller for veitrafikkstøy for norske forhold, mer spesifikt Cnossos-EU og Nord2000. Hovedfunnet i prosjektet er at eksisterende kildemodeller ikke er representative for dagens norske forhold, og at de i sin nåværende form hverken gjengir riktig spekter, nivå eller hastighetsavhengighet for norsk bilpark på de norske veidekkene som har blitt undersøkt her.

UTARBEIDET AV

Karen Brastad Evensen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Viggo Henriksen

SIGNATUR

GODKJENT AV

Stian Husevik Stavland

SIGNATUR

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2024:00816

ISBN

978-82-14-07056-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Dokumentet har gjennomgått SINTEFs godkjeningsprosedyre og er sikret digitalt

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2024-07-05	Første utkast oversendt oppdragsgiver
0.2	2024-09-04	Revidert utkast oversendt oppdragsgiver
0.3	2024-09-27	Endelig rapport oversendt oppdragsgiver

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	5
2	Kildemodeller for veitrafikkstøy.....	6
2.1	Bakgrunn	6
2.2	Kildemodell Cnossos	6
2.3	Kildemodell Nord2000	7
3	Metode.....	9
3.1	Beskrivelse av bakgrunn for målekampanjen	9
3.2	Måleutstyr og oppsett.....	9
3.3	Målesteder og periode.....	11
4	Analyse og funn.....	17
4.1	Isolasjon av enkelthendelser i kontinuerlig lydopptak	17
4.2	Datasett.....	17
4.2.1	Datasett A: Manuelt kvalitetssikret datasett.....	18
4.2.2	Datasett B: KI-kvalitetssikret datasett	18
4.2.3	Maskinlæring	19
4.3	Målte kildespekter	21
4.3.1	Målt kildespekter med utbredelseskorreksjon.....	21
4.3.2	Standard kildespekter.....	25
4.3.3	Konsekvenser for innendørs nivå	25
4.4	Undersøkelse av eksisterende kildemodell	26
4.5	Utvikling av oppdatert kildemodell.....	29
4.6	Koeffisienter for norske forhold	30
4.6.1	Nord2000.....	30
4.6.2	Cnossos-EU	34
4.7	Kontrollberegning med nye koeffisienter	37
5	Oppsummering av ny målemetodikk.....	39
6	Oppsummering og anbefalinger	41
6.1	Ubemannet målekampanje og KI.....	41
6.2	Spekter og el-biler	41
6.3	Vurdering av målested og veidekke.....	41
6.4	Kontrollberegninger med nye koeffisienter.....	42
7	Konklusjoner og videre arbeid	43
	Referanser	44

A	Målt kildenivå etter korreksjon for utbredelse	46
A.1	Lette kjøretøy.....	46
A.2	Mellom-tunge kjøretøy.....	49
A.3	Tunge kjøretøy.....	50

1 Introduksjon

Det har i flere år pågått et arbeid med å fornye metodikk og regelverk for beregning av støy fra veitrafikk. Eldre metoder, som Nord96, fases ut, mens nyere metoder, som Cnossos-EU og Nord2000, er på vei inn. De nye metodene har betydelig bedre oppløsning og nøyaktighet enn de eldre, noe som stiller strengere krav til inngangsdata.

Moderne beregningsmetoder, som Cnossos-EU, tar hensyn til en rekke detaljer ved kjøretøypark, kjøremønster og type veidekke, som alle har stor betydning for støyen. Parameterne som brukes for støykildedata er imidlertid enten basert på målinger fra sentrale deler av Europa, som Nederland og Frankrike (Cnossos-EU), eller stammer fra målinger i Norden mer enn 20 år tilbake i tid (Nord96). Det har vært gjort noen oppdaterte målinger i forbindelse med revisjon av Nord2000, men også disse målingene er nå rundt 10-20 år gamle.

Det hersker derfor usikkerhet om de eksisterende kildemodellene og grunnlagsdataene er tilstrekkelig representative for de norske forholdene og dagens kjøretøypark. Dette påvirkes blant annet av at Norge har en betydelig høyere andel elbiler enn resten av Europa, med 20,6% av bilparken i 2022, sammenlignet med bare 1,2% i Europa (1,2). I tillegg har norske veidekker typisk grovere materialer for å kunne motstå slitasje fra piggdekk og vinterbrøyting. Etter normale vintersesonger gir dette en grovere og mer støyende vei-overflate enn det som er vanlig på kontinentet.

For å vurdere om gjeldende kildemodeller og kildedata er representative for norske forhold har SINTEF, i samarbeid med Statens vegvesen (SVV), utført et forsknings- og utviklingsprosjekt. Her har det blitt gjennomført en omfattende ubemannet målekampanje av veitrafikkstøy nær kilden. Kampanjen hadde som mål å samle kildedata fra normal trafikk, og dermed gi grunnlag for en modell av normalsituasjonen for norske forhold. Prosjektet hadde også som mål å utvikle og dokumentere en enkel og reproducerbar metodikk for å skaffe store mengder kildedata der moderne maskinlæring (KI) tas i bruk for automatisert kvalitetssikring. Prosjektets tredje mål var å kvantifisere kildekoefisienter for kildemodellene i Cnossos-EU og Nord2000, til bruk for norske forhold.

2 Kildemodeller for veitrafikkstøy

2.1 Bakgrunn

Det finnes ulike metoder for å simulere og forutsi støynivåer fra veitrafikk. Typisk modelleres veitrafikkilden enten som diskrete punktkilder eller som en kontinuerlig linjekilde. Kilden er definert ved et bestemt lydeffektnivå (L_w) som angir hvor mye lydenergi per tidsenhet (sekund) hvert kjøretøy slipper ut til omgivelsene. Måtene disse lydnivåene hentes inn eller modelleres på, varierer mye fra beregningsmetode til beregningsmetode.

Både Cnossos-EU og Nord2000 modellerer kildene som bevegelige punktkilder, og består av én kildemodell skreddersydd til spesifikke støykilder som veitrafikk og jernbane, og én allsidig utbredelsesmodell som baserer seg på strålegangsanalyse. Både utbredelsesmodellen til Cnossos-EU og Nord2000 inkluderer sfærisk divergens (avstandsdemping) og luftabsorpsjon (friksjon i luften). Utbredelsesmodellene tar også hensyn til skjermingseffekter fra terreng og bygninger, og lydrefleksjoner fra vertikale flater. I tillegg tar de spesielt hensyn til lydabsorpsjon på grunn av bakken.

Mens begge utbredelsesmodellene inkluderer påvirkningen fra omgivelser og værforhold, gir Nord2000 mye mer frihet til å modellere spesifikke værforhold. Metodene skiller seg også i hvordan de håndterer bakkeabsorpsjon, diffraksjon og spredningseffekter. Generelt forsøker Nord2000 å beskrive alle fysiske faktorer som til enhver tid påvirker spesifikk lydutbredelse fra kilde til mottaker. Metoden er med god margin den mest komplekse. Den omtales derfor ofte som «state-of-the-art» blant strålegangsmetodene for støyutbredelse. Cnossos-EU har en mer empirisk tilnærming som er innrettet mot å predikere midlere støynivå for lange tidsrom, typisk et representativt år.

Kildemodellene for veitrafikk for de to metodene er derimot svært like, og det er kun disse som vurderes og beskrives videre i denne rapporten.

2.2 Kildemodell Cnossos

I Cnossos-EU er veitrafikkstøykilden definert som en kombinasjon av ulike klasser kjøretøy, modellert som rundtstrålende punktkilder. Kjøretøyene er gruppert i fem kategorier: lette kjøretøy, middels-tunge kjøretøy, tunge kjøretøy, motoriserte tohjulinger og en åpen kategori. Den åpne kategorien er tenkt å dekke fremtidige behov, som for eksempel elbiler.

Hvert kjøretøy i trafikkstrømmen er modellert som en kombinasjon av to delkilder: lydeffektnivået for rullestøy, gitt ved $L_{WR,i,m}$, og lydeffektnivået for motorstøy (propulsion noise), gitt ved $L_{WP,i,m}$.

For de tre første kjøretøykategoriene $m = 1, 2$ eller 3 (lette, middels-tunge og tunge), er lydeffektnivået fra rullestøyen i frekvensbånd i gitt ved:

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) + \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{studdedtyres,i,m} + \Delta L_{W,R,acc,i,m} + \Delta L_{W,temp} \quad (1)$$

I Cnossos-EUs originale form, er koeffisientene $A_{R,i,m}$ og $B_{R,i,m}$, gitt i oktavbånd for hver kjøretøykategori og referansehastigheten er $v_{ref} = 70$ km/t. De øvrige leddene i ligningen tilsvarer de forskjellige korreksjonene som skal anvendes på rullestøyutslippene for spesifikke dekker eller andre forhold som avviker fra referansebetingelsene. $\Delta L_{WR,road,i,m}$ ivaretar effekten på rullestøy fra en veioverflate med akustiske egenskaper som er forskjellige fra en virtuelle referanseoverflate, $\Delta L_{studdedtyres,i,m}$ korrigerer for piggdekkbruk og $\Delta L_{W,R,acc,i,m}$ tar med virkningen av akselerasjon fra veikryss med trafikkllys eller en

rundkjøring på rullestøybidraget. Det siste korreksjonsleddet, $\Delta L_{W,temp}$ korrigerer for en gjennomsnittstemperatur forskjellig fra 20 °C.

Lydeffektnivået fra motorstøyen er ment å inkludere alle bidrag fra motor, eksos, gir og luftinntak, og er definert som:

$$L_{W,P,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \times \frac{(v_m - v_{ref})}{v_{ref}} + \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,grad,i,m} + \Delta L_{WP,acc,i,m}. \quad (2)$$

I likhet med koeffisientene for rullestøy, er koeffisientene for motorstøy, $A_{P,i,m}$ og $B_{P,i,m}$, opprinnelig gitt i oktavnband for hver kjøretøykategori. Korreksjonsleddene skal anvendes på motorstøybidraget for spesifikke forhold som avviker fra referansebetingelsene. $\Delta L_{WP,road,i,m}$ korrigerer motorstøyen for et annet dekke enn referansedekket, mens $\Delta L_{WP,acc,i,m}$ og $\Delta L_{WP,grad,i,m}$ korrigerer for effekten av veigradienter, og akselerasjon og retardasjon, ved kryss eller rundkjøringer.

Referanseforholdene i Cnossos-EU beskriver en veidekkeoverflate som er et gjennomsnitt mellom "Tett Asfalt 0/11" og "Steinkoblet Asfalt 0/11", alle mellom 2 og 7 år gamle og i en representativ vedlikeholdstilstand.

Det totale kildenivået er gitt ved kombinasjonen av bidrag fra rullestøy og motorstøy:

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \times \lg(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10}). \quad (3)$$

For en definisjon av resten av korreksjonsleddene definert i Cnossos-EU, se det originale EU-direktivet (3).

2.3 Kildemodell Nord2000

Nord2000s kildemodell for veitrafikk ligner veldig på Cnossos-EU kildemodell for veitrafikk. Selv om den opprinnelig ble utviklet på slutten av 1990-tallet (4), forbedret Harmonoise-prosjektet (5) den opprinnelige Nord2000 kjøretøystøymodellen, og introduserte endringer for bedre nøyaktighet i representasjonen av veitrafikkstøy (6). Harmonoise-prosjektet la også grunnlaget for Cnossos-EUs støymodell for veitrafikkilder, noe som langt på vei forklarer likhetene.

Lydeffektnivået, $L_{WR}(f)$, for rullestøy ved et referansedekke som funksjon av frekvens, f , og hastighet, v , er i Nord2000 beskrevet av samme ligning som for Cnossos-EU gitt i ligning (1), med noen forskjeller for korreksjonene. På samme måte følger motorstøybidraget, $L_{WP}(f)$, samme form som motorstøyligningen for Cnossos-EU gitt i ligning (2), sett bort fra korreksjonene.

I Nord2000 er koeffisientene beskrevet litt annerledes og har forskjellige verdier, da utbredelsesmodellen er ulik.

En viktig forskjell mellom de to kildemodellene for veitrafikk er at i Nord2000 modelleres hver kjøretøytype som to punktkilder i ulik høyde. Hvilke kildehøyder som brukes avhenger av kjøretøykategorien. Nord2000 fordeler lydeffektnivået fra hver av de to delstøykildene (motor- og rullestøy) der 20 % av rullestøyen er lagt til den høyeste av de to lydildene, og 20 % av motorstøyen er lagt til den laveste av de to støykildene. For Cnossos-EU brukes én kildehøyde på 5 cm for alle støykildetyper.

En annen viktig forskjell mellom Nord2000 og Cnossos-EUs kildemodell for veitrafikk er at for Nord2000 utføres alle beregninger i tredels oktavbånd fra 25 Hz til 10 000 Hz. For Cnossos-EU i sin originale form, gjøres alle beregninger i oktavbånd. SINTEF har tidligere gjort en tilpasning av denne til å fungere for 1/3-oktavbånd (7).

For flere detaljer om Nord2000 kildemodell for veitrafikkstøy, se den originale dokumentasjonen av metoden og revisjoner (4,5).

3 Metode

3.1 Beskrivelse av bakgrunn for målekampanjen

I introduksjonen beskrives det at prosjektet hadde som mål å samle inn kildedata fra normal trafikk for norske forhold, og utarbeide og dokumentere en enkel og reproducerbar målemetodikk for å skaffe store mengder kildedata. For å oppnå dette ble flere metodiske valg gjort før målekampanjen ble gjennomført.

For det første, ble målestedene valgt med tanke på å representere forholdene i Norge som helhet, noe som gjør at resultatene kan generaliseres. Det ble bevisst unngått å inkludere områder med spesielle typer veidekke. Det var også et bevisst valg å ikke gjøre målinger på referanseveidekker eller på dekker med svært lite slitasje.

Det ble med hensikt unngått bruk av en Close Proximity Method (CPX) måletrailer til fordel for en mer tilgjengelig og lett-reproduserbar metode for støymålinger. NEMO-utstyret brukt for målingene, nærmere beskrevet i underkapittel 3.2 bruker kun én måleposisjon ved veikanten og gir en viss fleksibilitet til plassering (avstand og høyde). Dette gjør det lett å gjenskape utstyret, og man unngår behovet for mer avansert målemetodikk, som for eksempel kreves av målemetoden NT Acou 116 (som er tilpasset Nord2000 og Harmonoise for å kunne skille mellom rulle- og motorstøy fordelt på to kildehøyder). Det gjør det også enklere å finne egnede målesteder langs et veinett, samtidig som analysearbeidet blir lettere. I dette prosjektet har målet vært en mer empirisk etterprøvbart tilnærming.

I prosjektet var det også et mål å utarbeide et pålitelig system som kunne fungere ubemannet, både fordi det er kostnadseffektivt og fordi det muliggjør innsamling av store mengder data. For å oppnå dette ble det tatt konkrete valg knyttet til både instrumentering, og analyseverktøy. I tillegg til mer standard lyd målere/lydopptakere, radar og meteorologienhet, inkluderte prosjektet et kamera med skiltavlesning som muliggjorde automatisk oppslag i det norske kjøretøysregisteret. Dette gjorde at typen kjøretøy som passerte kunne bli registrert, uten at personell var til stede under målingene. I tillegg ble maskinlæring/KI valgt som et hoved-verktøy i prosjektet. Et tidligere prosjekt (8) har demonstrert hvor pålitelig maskinlæring kan være for klassifisering av støykilder ved bruk av lydopptak. I dette prosjektet hadde maskinlæringen to hovedformål:

- Automatisert kvalitetskontroll av lydopptak (slik at disse var fri for påvirkning fra andre samtidige kilder) og
- kategorisere lydopptak som ikke ble klassifisert av kjøretøysregisteret (dersom kameraet for eksempel ikke fanget skiltet til bilen som passerte).

For å lettere finne egnede målesteder, valgte vi ved starten av prosjektet ikke å stille rigide krav til målemikrofonens plassering med tanke på avstand til veien, høyde over terrenget, eller terrengets form. Til gjengjeld har vi lagt vekt på å korrigere nøyaktig for alle slike forhold ved hjelp av simuleringer med Nord 2000 metodikk (omtalt som overføringsfunksjoner nedenfor). Dette gir god kontroll. Ved behov kan resultatene relativt enkelt omregnes til alternative mikrofonplasseringer, for eksempel om man ønsker å sammenligne våre resultater direkte mot mer tradisjonelle målemetoder for pass-by målinger med mer fast mikrofonplassering.

3.2 Måleutstyr og oppsett

Måleutstyret som ble brukt i dette prosjektet ble utviklet av EU-prosjektet NEMO: «Noise and Emissions Monitoring and Radical Mitigation" (9) og er beskrevet i en tidligere publikasjon (10). Oppsettet inkluderer to mikrofoner, en radar og en meteorologisk enhet, alt lånt fra NEMO-prosjektet. NEMO er primært utviklet for å oppdage ekstra støyende kjøretøy (såkalt værstinger) i løpende trafikk, og måle maksimalt

lydnivå ($L_{A,max}$) fra dem. Signalet fra de to mikrofonene kombineres til en dynamisk direktivitet som brukes til å isolere og «følge» lyden fra slike kjøretøy selv om de er omgitt av andre støyende kjøretøy i umiddelbar nærhet. I vårt prosjekt var vi interessert i det samlede støy-utslippet fra en hel passering (L_E), også for kjøretøy som ikke er ekstra støyende. Dette løste vi ved å detektere kjøretøy som tilstrekkelig langt unna alle andre kjøretøy til at lydmålingen kan knyttes korrekt til det ene kjøretøyet. Denne deteksjonen skjedde ved hjelp av analyser og AI-støtte som ikke er en del av NEMO, men utviklet og testet i vårt prosjekt. I praksis betyr dette at vi brukte kun én av mikrofonene i NEMO og baserte alle lydrelaterte analyser på denne. De grunnleggende rutinene for kalibrering, lydnivå og analyse av spekter og tids-forløp som ble utviklet i prosjektet ble validert ved sammenligning mot resultater i NEMO-utstyret.

Det lånte utstyret fra NEMO manglet kamera for avlesning av skilt. Vi måtte derfor sette opp et eget kamera etter spesifikasjon fra NEMO-prosjektet, og utvikle egne rutiner for oppsett, bildedeteksjon og etterfølgende oppslag i kjøretøyregisteret. Alle opptaksenheter var koblet til et kabinett montert på en mast, eller lignende struktur, tilgjengelig på målestedet. Kabinettet huset forsterkere, strømforsyning og 4G modem for fjernstyring.

Måleutstyret fanget dermed fire typer tidsseriedata med separate klokker: lydnivåmåling (NEMO server klokke), lydopptak (lokal klokke for vårt tilleggsutstyr), nummerskiltavlesning (klokke i kamera) og registrering av kjøretøy-passeringer (lokal instrument-klokke i NEMO). Korrekte analyser forutsetter at avvik i tids-linjene ikke overstiger ca. 30 ms. Det ble derfor en vesentlig oppgave i prosjektet å etablere korrekt tids-synkronisering mellom de fire tidsseriene, både for forskjeller i tids-referanse og for løpende avdrift i hver klokke.

I tillegg til lyd-analysene leverte NEMO data for hastighet og akselerasjon funnet fra radarmålinger, samt lufttemperatur, regn, relativ fuktighet og vindhastighet, fra den metrologiske enheten. De registrerte nummerskiltene ble brukt til å hente kjøretøyinformasjon fra det norske kjøretøyregisteret via et API. Dette inkluderer kjøretøyklasse, produsent, modell, antall aksler, drivstofftype, vekt, registreringsdato, motor-effekt, antall sylindere, kapasitet og dekkdimensjoner. Et bilde av måleoppsettet i bruk er vist Figur 3-1.



Figur 3-1. Målelokasjon 4. Radar og kamera i forgrunnen. Instrumentskap og mikrofonsystem i bakgrunnen.

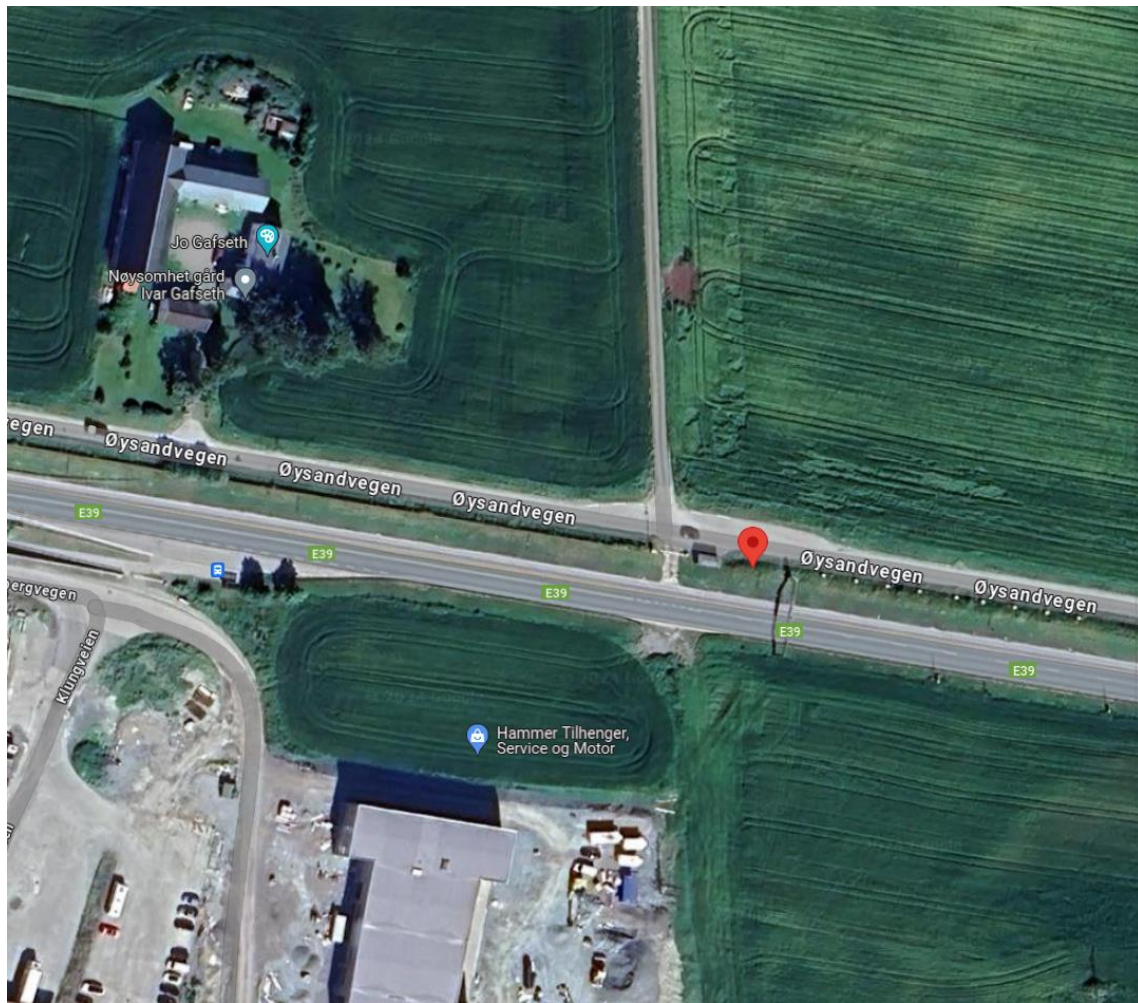
3.3 Målesteder og periode

Selve målekampanjen ble gjennomført på seks utvalgte steder i Trondheimsområdet fra 13. august til 24. september 2023. Målekampanjen hadde som mål å representere de mest typiske norske veidekkene med normale grader av slitasje og ulike fartsgrenser. Målestedene ble valgt slik at de var lett tilgjengelige uten å skape farlige situasjoner for personell som monterte utstyret, og nær veien, slik at lokal terrengpåvirkning på målingene ble håndterbar. En beskrivelse av målestedene er gitt i Tabell 3-1 og i Figur 3-2 til Figur 3-6.

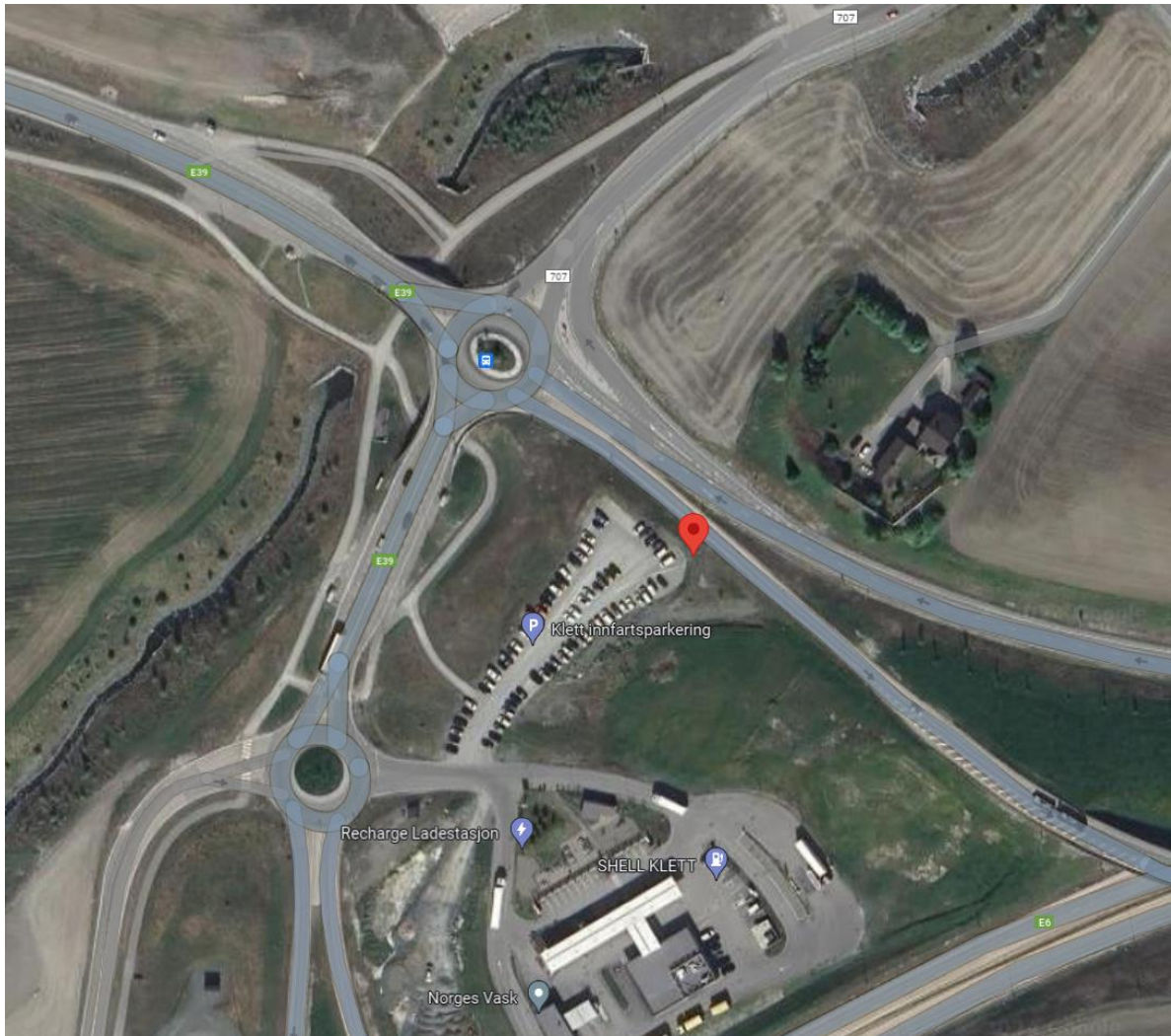
I den opprinnelige planen ble det lagt til grunn et eldre SKA16 dekke på Målested 1, Ab11-dekke på Målested 2 og SKA11-dekke på Målested nr. 6. I arbeidet med analysene i ettertid ble det klart at databasene fra Statens vegvesen som var lagt til grunn ikke hadde korrekt dekkeinformasjon for disse lokasjonene. Det har derfor vist seg at vi fikk noe mindre variasjon i dekketype enn opprinnelig planlagt. Gitt leggear og veidekketype, virker dog SKA16 å være representativt for norske forhold. Se for øvrig avsnitt 6.3 for videre kommentarer.

Tabell 3-1. Målesteder og måleperiode.

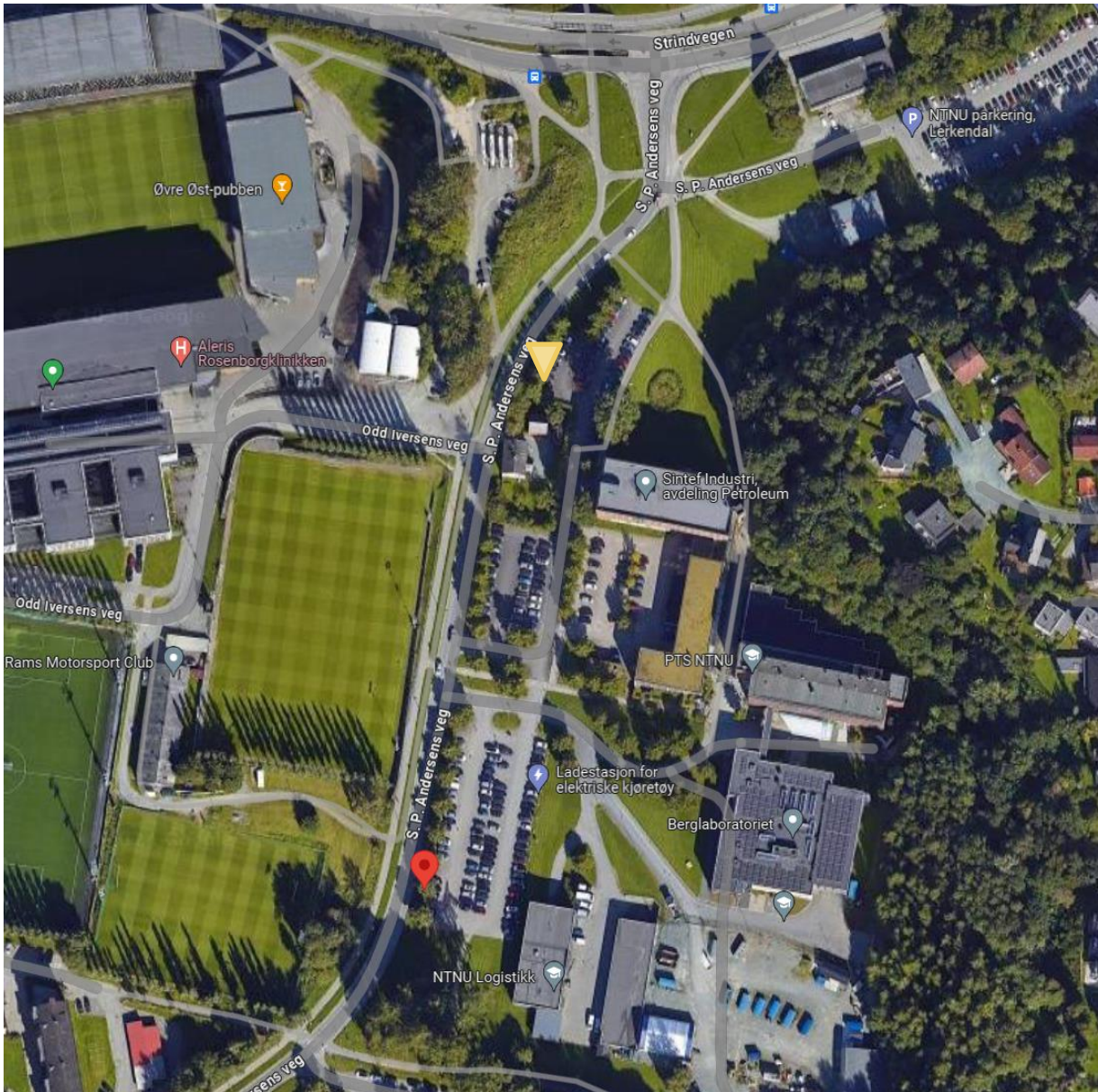
Målested	Vei nr	Beskrivelse	Veidekke	Leggear	Skiltet hast. [km/t]	ÅDT	Periode
1	E39	Øysand	Ska16	2022	80	14648	13.08-24.08
2	E6	Klett, Rampe til E6	Ska16	2020	60	6000	24.08-28.08
3	KV6977	S. P. Andersens vei, flatt	Ska11	2017	50	5200	28.08-31.08
4	KV6977	S. P. Andersens vei, skrå	Ska11	2017	50	5200	31.08-05.09
5	FV6680	Bratsberg	Ska16	2022	60	3600	05.09-11.09
6	E6	E6 Klett/Eikra gartneri	Ska16	2020	100	16500	11.09-24.09



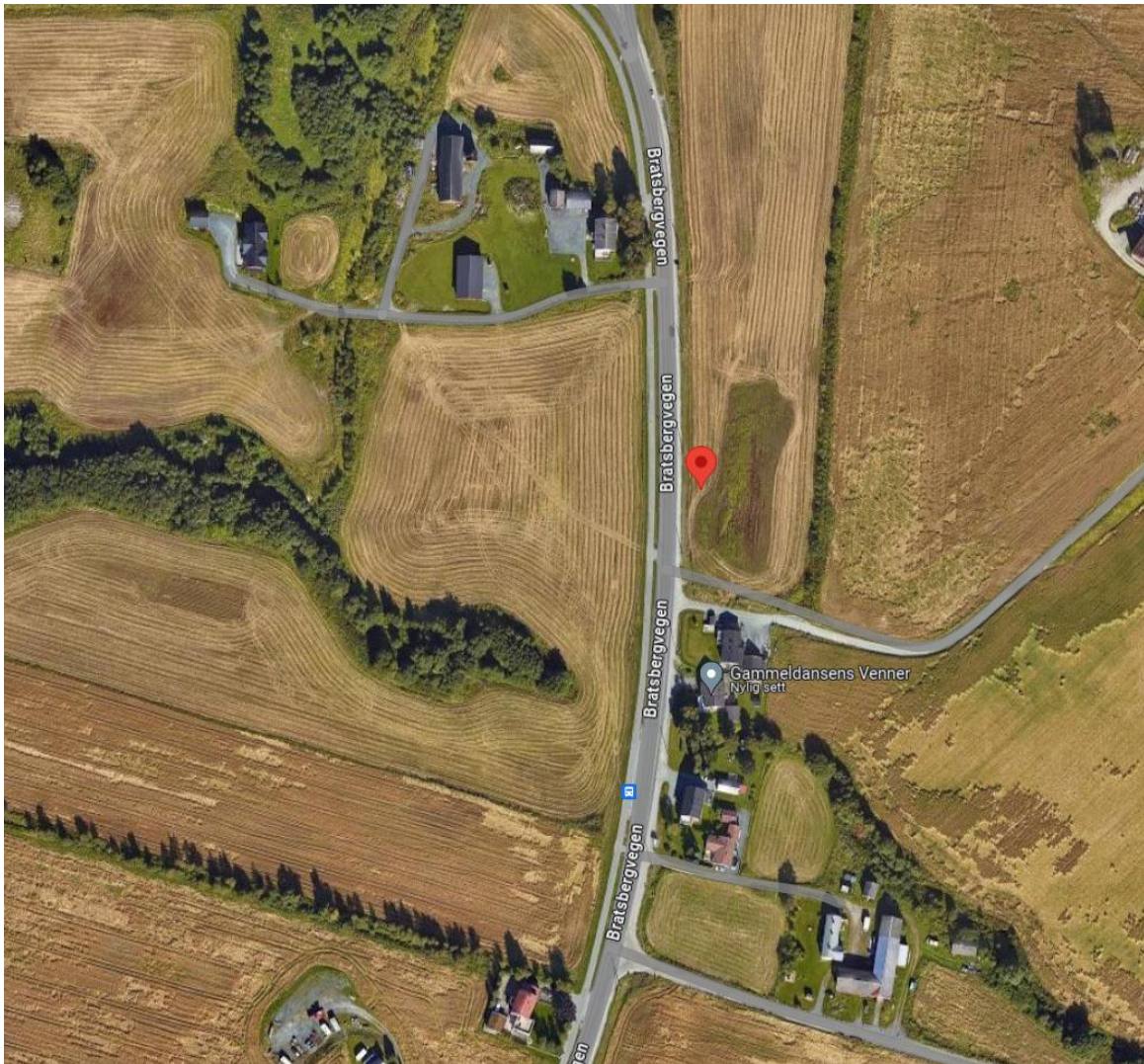
Figur 3-2. Målested 1: E39 Øysand. Målestedet er vist i rødt.



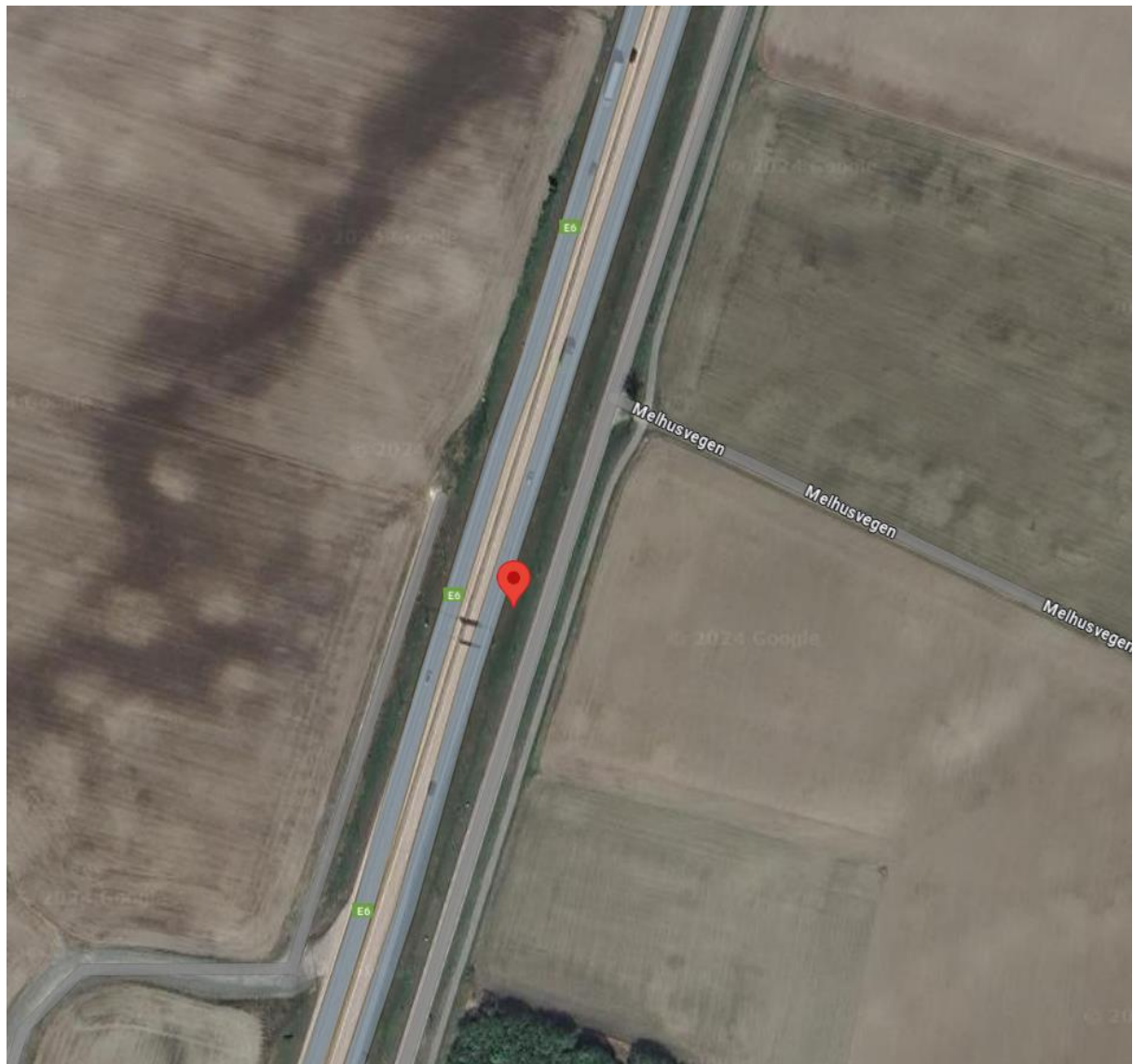
Figur 3-3. Målested 2: Klett, påkjøringsrampe fra E39. Målestedet er vist i rødt.



Figur 3-4. Målested 3 og 4, henholdsvis S. P. Andersens veg flatt (rødt) og S. P. Andersens veg stigning (gul).



Figur 3-5. Målested 5 – Bratsbergvegen. Målestedet er vist i rødt.



Figur 3-6. Målested 6: E6 Storler/Ekra gartneri. Målestedet er vist i rødt.

4 Analyse og funn

4.1 Isolasjon av enkelthendelser i kontinuerlig lydopptak

Ettersom måleutstyret logget normal, kontinuerlig trafikk, og det ble gjort kontinuerlige opptak av lyd og målinger av lydnivå, måtte hver enkeltpassering isoleres og analyseres for å få frem tilhørende spekter i 1/3 oktavbånd.

For å isolere enkelthendelser med kjøretøypasseringer i de kontinuerlige lydopptakene, ble et 3. ordens Savitzky-Golay filter brukt først til å glatte ut lydopptakene og redusere virkningen av forbigående forstyrrelser. Dette filteret gir ikke noen tidsforskyvning. Det ble så brukt en topp-finne-algoritme på de glattede lydopptakene. Grensene for når en passering startet og sluttet ble satt til de tidspunktene der A-veid lydnivå var 6 dB lavere enn topp-verdien.

For maskinlæringsformål ble det laget et lydklipp for hver godkjente topp. Klippet omfatter selve toppen av en forbikjøring, samt 6 dB ned på begge sider. Det samlede spekteret (Sound Exposure Level) for hver kjøretøyhendelse ble deretter beregnet i tredjedelsoktavbånd ved mikrofonposisjonen. Analysen inkluderte i utgangspunktet alle 1/3-oktavbånd fra 50 Hz til 20 kHz. I denne rapporten begrenses frekvensintervallet opptil 10 kHz, da dette er det høyeste frekvensbåndet som Nord2000 inkluderer.

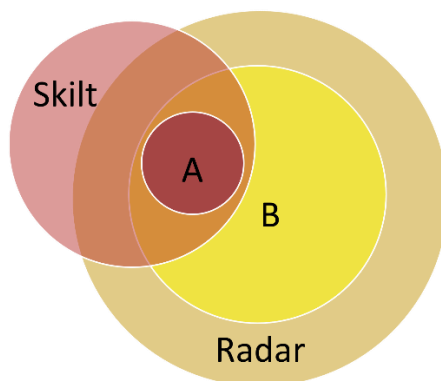
4.2 Datasett

Etter databehandlingen beskrevet i avsnitt 4.1, ble alle enkelthendelser for våt veibane fjernet, da gjeldende regelverk tilsier at det kun skal beregnes for tørr situasjon. Dette inkluderte alle hendelser der det enten var registrert regn, eller de var innenfor to timer etter siste regnfall. Disse dataene kan hentes ut for å analysere situasjon med våt veibane ved et senere tidspunkt, dersom dette skulle være ønskelig. I tillegg ble alle hendelser over fire sekunder fjernet, da det ble ansett for sannsynlig at disse inneholdt flere enn én passering. Etter denne filtreringen var gjort, bestod datasettet av 166 769 enkelthendelser (passeringer med isolerte enkelt-kjøretøy).

Kun et subsett av disse ble identifisert med skilt og automatisk oppslag i kjøretøyregisteret. Et annet delvis overlappende subsett, hadde godkjente registreringer radarregistreringer fra NEMO-systemet. I det videre skiller vi mellom to «nivå» av kvalitetssikring på dette totale datasettet:

- A. Manuelt kvalitetssikret datasett med både skiltinformasjon og radardata
- B. Maskinelt kvalitetssikret datasett både med og uten skiltinformasjon, men med radardata (+ datasett A).

De to datasettene er illustrert på Figur 4-1.



Figur 4-1. Illustrasjon av datasett A og B.

I tillegg finnes det et maskinelt kvalitetssikret datasett uten skiltinformasjon og uten radardata, med enda flere hendelser, men ettersom presis hastighetsinformasjon var kritisk i de videre analysene, har ikke dette blitt benyttet og nevnes derfor ikke videre.

4.2.1 Datasett A: Manuelt kvalitetssikret datasett

For å trene maskinlæringsmodellen, og kontrollere databehandlingen beskrevet i avsnitt 4.1, ble datasett A utarbeidet. Datasett A består av omtrent 620 hendelser med både registrerte skilt og radardata som har blitt manuelt kvalitetssikret av en forsker ved SINTEF. Lydopptakene var gjort i stereo. Dette gjorde det enkelt å høre kjøreretningen til bilen, og avsløre eventuelt flere samtidige biler i opptaket. Alle hendelsene som inngår i dette datasettet, har blitt lyttet på. Det har blitt vurdert om informasjonen fra kjøretøysregisteret stemmer, og om det kun er én hendelse som kan høres på lydklippet. Alle disse hendelsene har deretter blitt merket med enten «lett», «mellom-tunge», «tung» eller «multi». Klassen «multi» ble brukt, der man kunne høre lyd fra mer enn ett kjøretøy i lydklippet, og dermed ikke kunne være sikker på at spekter, lydnivå eller informasjon fra kjøretøysregisteret var riktig. Det har ikke blitt benyttet noen egen klasse for elbiler i maskinlæringsmodellen, da det ikke var mulig å skille på lette elbiler og lette fossilbiler ved lytting alene. Den beskrevne manuelle kvalitetssikringsprosessen resulterte i et troverdig datasett som kunne brukes til trening, validering og testing av en automatisert lydklassifiseringsmodell. Fordelingen mellom de ulike kjøretøyskategoriene for dette datasettet er vist i Tabell 4-1. Tabellen viser også de ulike underkategoriene slik de er beskrevet i det norske kjøretøysregisteret. Det var ikke tilstrekkelig antall to-hjulinger i det opprinnelige datasettet til at disse kunne inkluderes som en egen klasse.

Tabell 4-1. Oversikt over datasett A med maksimal kvalitetssikring.

Klasse	Antall	Antall per underkategori
Lette	276	M1: 235 + N1: 57
Mellom-tunge	66	M3: 37 + N2:5 + M2: 1
Tung	107	O4: 106 + N3: 17
Multi	172	IR

4.2.2 Datasett B: KI-kvalitetssikret datasett

Datasett B omfatter Datasett A, samt alle hendelser som har blitt klassifisert som Lett, mellom-tunge eller tung av maskinlæringsmodellen, og som har radardata. Fordelingen mellom de ulike kjøretøyskategoriene for dette datasettet er vist i Tabell 4-2.

Tabell 4-2. Oversikt over datasett B med KI-kvalitetssikring.

Klasse	Antall
Lette	19921
Mellom-tunge	1485
Tunge	2537

4.2.3 Maskinlæring

Siden KI er et relativt nytt fagfelt gir vi her en svært forenklet innføring i de brukte metodene og viktige fagtermer som følger med (uthevet).

Maskinlæring er en gren av **kunstig intelligens** (KI) som benytter statistiske metoder for å la datamaskiner oppdage mønstre i store datamengder. I stedet for å bli eksplisitt programmert, lærer datamaskinen gjennom erfaring. Denne treningsprosessen kalles også å trene en modell. For å trene en modell kreves et solid treningsgrunnlag, som innebærer å gi maskinen en stor mengde data med tilhørende korrekte svar. Maskinen bruker disse korrekte svarene til å lære, en metode kjent som **veiledet læring** (supervised learning) (11).

Merkede data er avgjørende for maskinens læring og for å evaluere hvor godt den treffer med prediksjonene sine. Under treningsprosessen tilpasses modellen **treningsdataene**, mens **valideringssett** brukes til å justere parametere og forhindre overtilpasning. Valideringssettet skiller seg fra den endelige ytelsestesten og brukes til å finne de optimale innstillingene før modellen testes på et separat **testsett**.

Automatisk **klassifisering av miljølyder** (Environmental Sound Classification, ESC) er en maskinlæringsteknikk som brukes til å identifisere og kategorisere forskjellige lyder fra omgivelsene, som dyrellyder, trafikkstøy og værlyder. Maskinlæring, og særlig veiledet læring, har vist seg å være svært nyttig for automatisk gjenkjenning av slike lyder, med modeller som kan klassifisere alt fra fuglesang til lyden av gravemaskiner og andre naturlyder (12).

For å trene maskinlæringsmodellene i dette prosjektet, ble Datasett A benyttet som trenings, test- og valideringsgrunnlag. Dette ble delt inn i et treningssett (70%), et valideringssett (15%) og et testsett (15%).

I de senere år har store språkmodeller og forhåndstrente datasett forbedret lydklassifiseringsmodellenes evner betydelig. Disse forhåndstrente modellene kan forbedre ytelsen og redusere treningstiden, da de bringer med seg forhåndslært kunnskap fra store datamengder, noe som gjør dem svært effektive for oppgaver som miljølydklassifisering. I dette prosjektet har tre slike forhåndstrente modeller blitt utforsket. Disse er:

- En **MobileNet-v2**-(13) basert modell forhåndstrent på **DCASE-settet** for miljølydklassifisering
- En **CNN-14-basert PANN**-modell (14) forhåndstrent på **Googles AudioSet** (15)
- En transformerbasert **BEATs-modell** (16), også forhåndstrent på **Googles AudioSet**

For å evaluere disse mot hverandre ble det utført et omfattende **hyperparametersøk for alle tre modellene**. Dette viste at PANN-modellen var best til å identifisere kategorien «mellom-tunge», mens BEATs var bedre til å skille mellom de andre kategoriene. Disse to modellene ble derfor kombinert, slik at PANN-modellen først klassifiserte alle hendelser på en binær måte som «mellom-tunge» eller ikke, mens BEATs deretter ble brukt til å klassifisere resten av hendelsene.

Målet var å oppnå en modell som kan klassifisere hendelser fra datasettene med høy presisjon. Det er, for vårt formål, viktigere at modellen er sikker på det den klassifiserer, enn at den klarer å klassifisere alle hendelsene. Det har derfor blitt benyttet en relativt høy terskel, som prioriterer presisjon. Når modellen predikerer verdier under denne terskelen, merkes prøven som «Ukjent». Resultatene på datasett A er vist i Tabell 4-3.

Tabell 4-3. «Confusion matrix»: Modellens ytelse på datasett A.

		Lett	Mellom- tung	Tung	Multi	Ukjent
Reelt	Lett	93%	5%	0%	0%	2%
	Mellom- tung	0%	80%	0%	0%	20%
	Tung	0%	0%	94%	0%	6%
	Multi	4%	4%	0%	88%	4%
		Prediksjon				

Merk at ingen av prøvene har en reell (sannhetsverdi) verdi «Ukjent». Imidlertid anses det ikke som «feil» hvis modellen klassifiserer en hendelse som «Ukjent» for vårt formål. En modell som klassifiserer alle hendelser som «Ukjent», vil imidlertid ikke ha noen verdi i det hele tatt. Derfor ønsker vi å se høye tall på diagonalen i matrisen i Tabell 4-3, men vi foretrekker høye verdier i den siste kolonnen fremfor høyere verdier hvor som helst ellers utenfor diagonalen.

Tabell 4-3 viser at for lette kjøretøy identifiseres 93% av lette kjøretøy som lette kjøretøy, og bare 5 % av hendelsene er feilklassifisert. For de middels tunge kjøretøyene er treffprosenten litt lavere: 80 %. Dette betyr at for 1 av 5 prøver i den middels tunge klassen er modellen usikker, men når modellen predikerer et middels tungt kjøretøy, er dette alltid korrekt. Den tunge kjøretøykategorien har også treffprosent, på 94 %. Den høyeste prosentandelen av feilklassifiseringer skjer for klassen «Multi» med flere passeringer, men for denne klassen er 88 % av prøvene fortsatt korrekt klassifisert.

Derfor konkluderer vi med at modellene fungerer godt og kan brukes til å oppnå representative kildedata for de ulike kategoriene.

4.3 Målte kildespekter

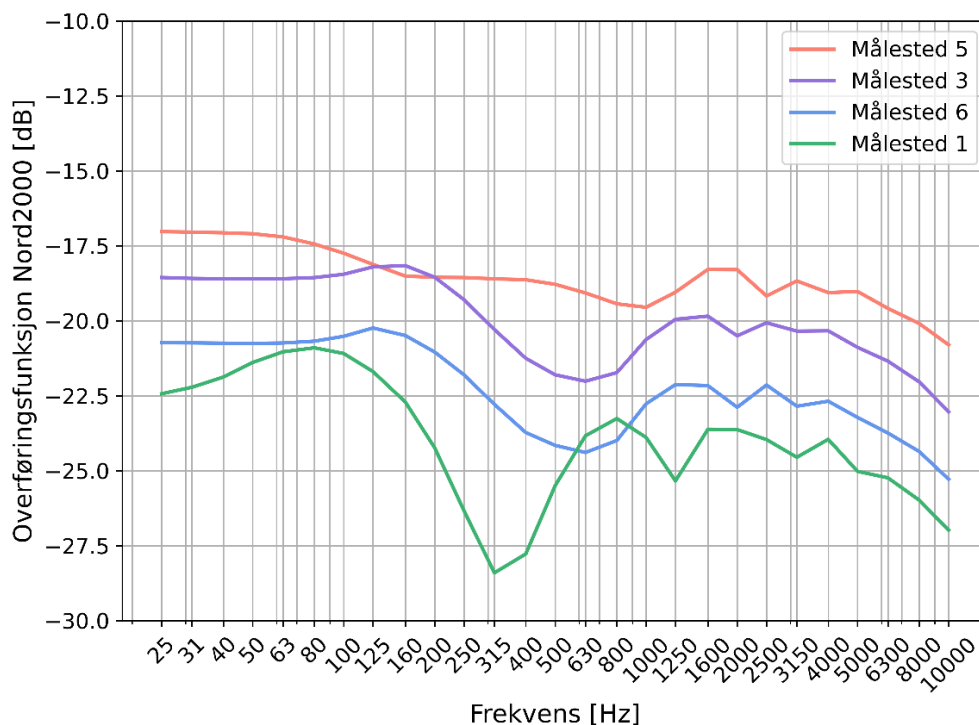
4.3.1 Målt kildespekter med utbredelseskorreksjon

Alle målelokasjonene beskrevet i Tabell 3-1 prosjektet er langs rette veistrekninger med fri sikt mellom kjørebane og mikrofon. Alle målingene gjelder kjøretøy i nærmeste kjørefelt. For å regne om fra målt lydtryknivå i mikrofonposisjonene til opprinnelig lydeffekt ved kilden, har vi beregnet et sett med såkalte overføringsfunksjoner. En overføringsfunksjon er differansen i dB mellom målt lydtryknivå i mikrofonposisjonen og lydeffektnivået for kilden, integrert over hele passeringen. Overføringsfunksjonene fra nærmeste kjørefelt til mikrofonposisjonen ble beregnet for hver enkelt passering, for hvert enkelt målested.

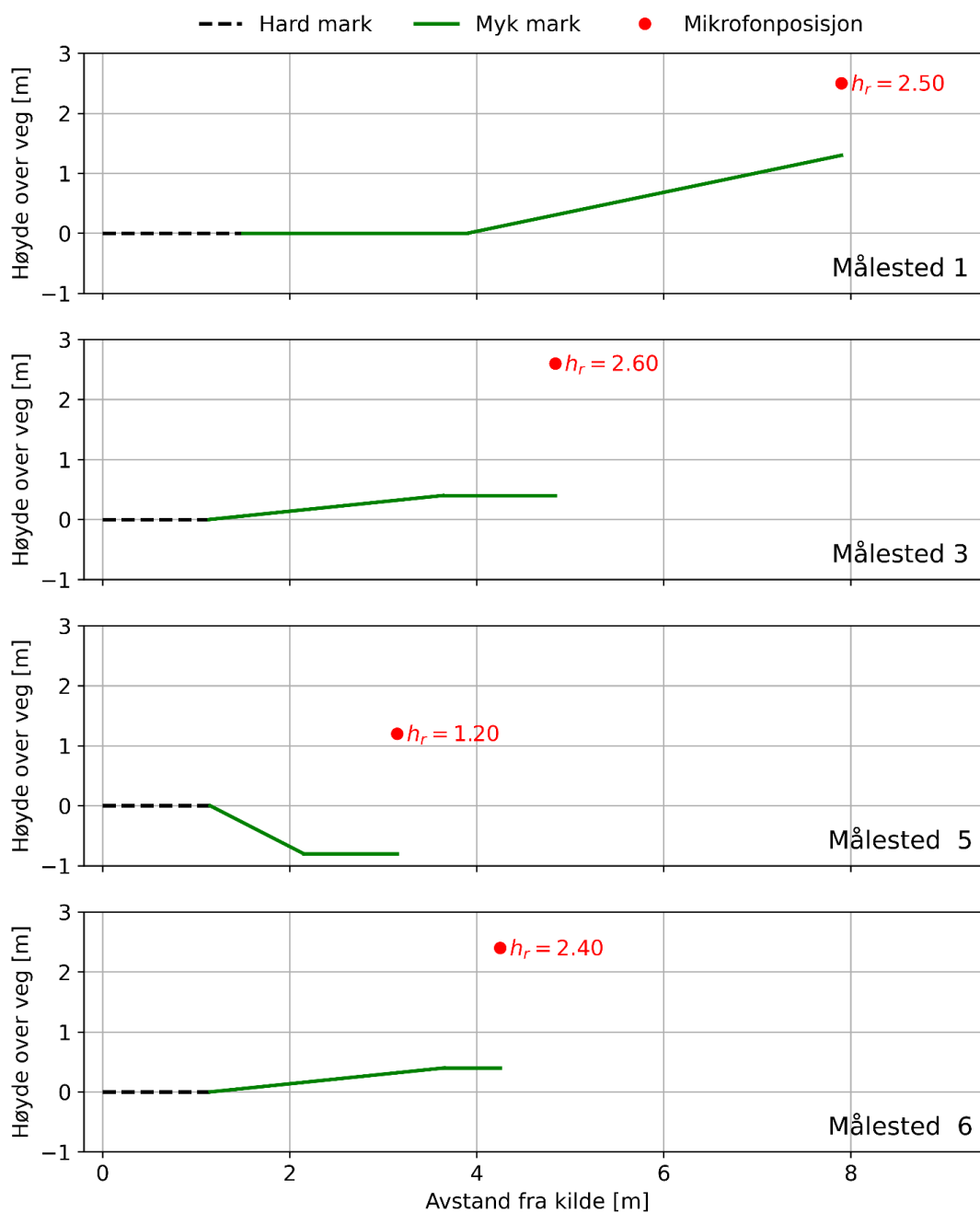
I det følgende arbeidet med basis-kildemodeller har vi valgt å utelukke målingene fra målested 2 og 4. Disse har stort innslag av akselerasjon, og ansees derfor ikke å være tilstrekkelig representativ for jevn trafikk, noe som også vises tydelig i de målte spektrene. Virkningen av stigning på veien og/eller akselerasjon er uansett ikke en del av den innværende analysen.

Etter en vurdering av overføringsfunksjonene beregnet med utbredelsesmodellen til Cnossos-EU og Nord2000, ble det klart at Nord2000 i større grad fanget de faktiske lokale utbredelseeffektene, og kun disse har derfor blitt brukt i de videre analysene. Dette stemmer overens med tidligere publisert litteratur (17).

Overføringsfunksjonene for hver av de fire gjenstående målestedene, beregnet med Nord2000, er vist på Figur 4-2. «Innbyrdes forskyvning» mellom kurvene gjenspeiler korreksjon for hastighet (hendelsens varighet) og avstanden til mikrofonen, mens «forskjeller i kurveform» mellom 100 Hz og 2 kHz gjenspeiler virkning av terrengprofilen på målestedet. Skiltet hastighet for målested 3, 5, 1 og 6 er stigende, som gitt i Tabell 3-1, og dekker spennet fra 50 km/t til 100 km/t. Terrengprofilene for de fire målestedene 1, 3, 5 og 6 er vist på Figur 4-3.



Figur 4-2. Overføringsfunksjoner fra nærmeste kjørefelt til mottakerposisjon for de fire målestedene: 1 (grønn), 3 (lilla), 5 (rød) og 6 (blå).



Figur 4-3. Terrengprofiler for de fire målestedene (målested 1 øverst, målested 6 nederst). De sorte stiplede linjene viser området modellert med hard mark (delen av veien fra høyre hjulspor til mottaker) og den grønne linjen viser terrenget modellert som myk mark. Den relative mottakerhøyden over vei, h_r , er vist i rødt.

For beregning av kildenivå til bruk i bestemmelse av oppdatert norsk kildemodell var det ønskelig å skille mellom el-biler og fossile biler. For lette biler, ble derfor kun delen av dataene i Datasett B som innehold skiltinformasjon inkludert. I tillegg ble kun data innenfor det relevante hastighetsområdet inkludert. Alle data i Datasett B har radardata, lydopptak og meteorologidata, og har enten blitt godkjent av maskinlæringsmodellen eller har blitt validert manuelt (Datasett A). Dataene brukt i de videre analysene er beskrevet i Tabell 4-4.

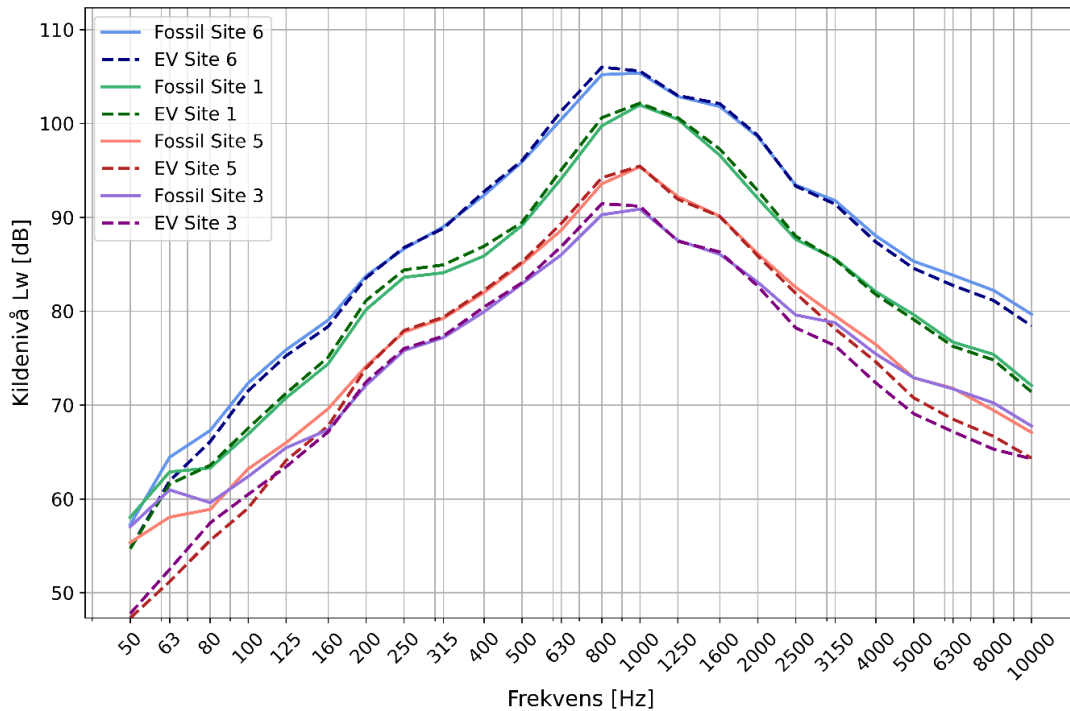
Tabell 4-4. Antall passeringer inkludert i beregning av kildespekter

Hastighet, ± 2,5 km/t	Lette fossilbiler	Lette elbiler	Mellom- tunge	Tunge
35	58	21	36	4
40	98	47	43	9
45	83	41	50	11
50	102	49	61	34
55	157	81	79	96
60	91	49	51	105
65	72	26	87	208
70	76	22	116	417
75	88	37	95	629
80	52	22	45	422
85	43	21	6	132
90	46	26	3	29
95	44	31	1	21
100	20	16	0	5
105	13	8	0	4
sum	1043	497	673	2126

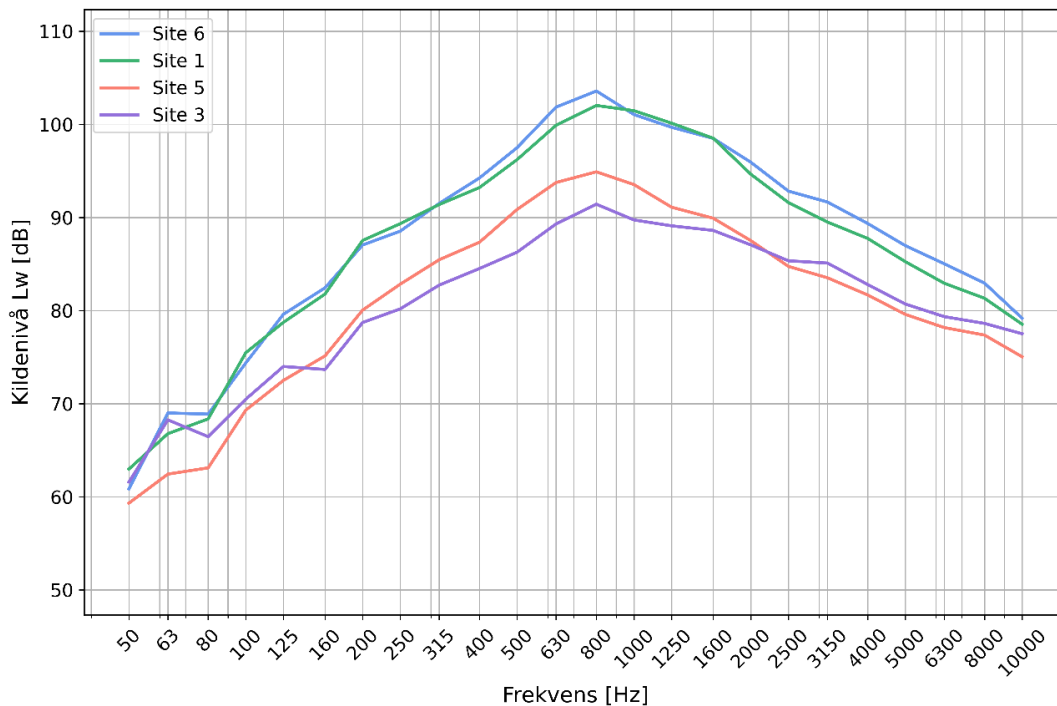
De gjennomsnittlige målte kildespektrene, etter korreksjon for effekter fra lokal lydutbredelse, som vist i Figur 4-2, er presentert separat for lette fossilbiler og lette elbiler i Figur 4-4, fordelt på de fire målestedene. Høyden på spekteret påvirkes i stor grad av hastigheten på målestedene, som var 100, 80, 60 og 50 km/t for henholdsvis målested 6, 1, 5 og 3. For tabulerte verdier for kildenivå som funksjon av hastighet og frekvens, se Appendix A.1. Spektrene har blitt sjekket mot spektrene funnet fra Datasett B, beskrevet i Tabell 4-2, som altså innehar et mye høyere antall passeringer, uten at særlig avvik er funnet.

For mellom-tunge og tunge kjøretøy, er de målte spektrene vist i Figur 4-5 og Figur 4-6, og de tabulerte korrigerede målte spektrene kan sees i Appendix A.2 og A.3.

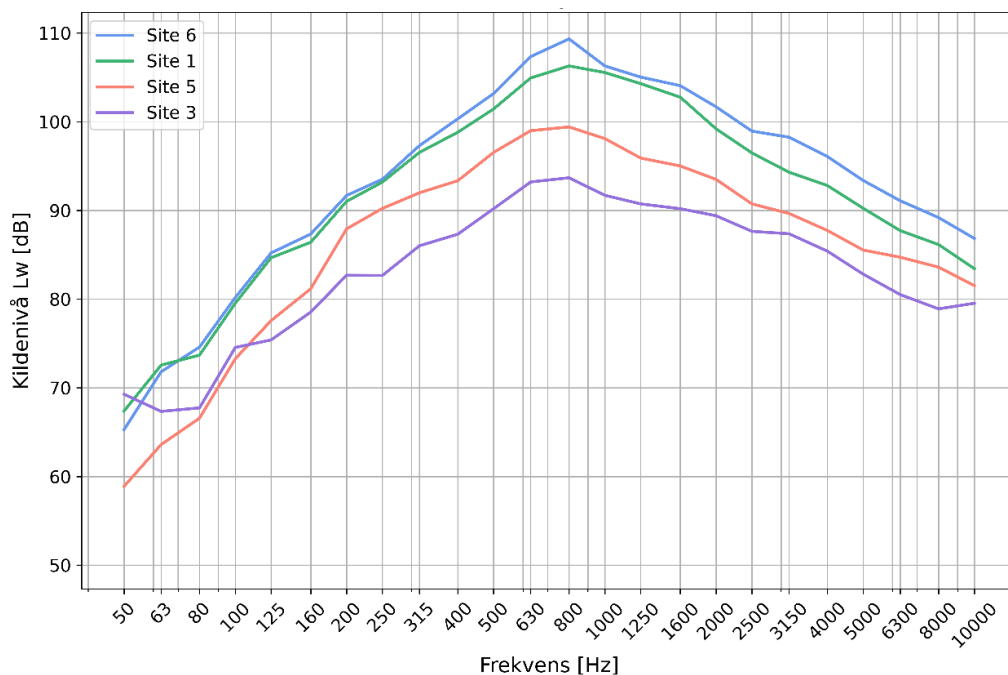
Det påpekes at det av Figur 4-4 sees at det er relativt lite forskjell mellom EV (elektriske lette kjøretøy) og fossile lette kjøretøy. Merkbare forskjeller sees kun for frekvenser over 1600 Hz og under 200 Hz for de to laveste hastighetene (Målested 3 (50 km/t) og 5 (60 km/t)).



Figur 4-4. Målt A-veid kildespekter L_W for lette fossilbiler, kjøretøykategori $m = 1$ (heltrukket), og lette elbiler (stiplet), kjøretøyskategori $m = 5$ for de ulike målestedene: Målested 6 (blå, 100 km/t), Målested 1 (grønn 80 km/t), Målested 5 (rød, 60 km/t) og Målested 3 (lilla, 50 km/t).



Figur 4-5. Målt A-veid kildespekter L_W for mellom-tunge kjøretøy, kategori $m = 2$ for de ulike målestedene: Målested 6 (blå, 100 km/t), Målested 1 (grønn 80 km/t), Målested 5 (rød, 60 km/t) og Målested 3 (lilla, 50 km/t).



Figur 4-6. Målt A-veid kildespekter L_W for tunge kjøretøy, kategori $m = 3$, for de ulike målestedene. Målested 6 (blå, 100 km/t), Målested 1 (grønn 80 km/t), Målested 5 (rød, 60 km/t) og Målested 3 (lilla, 50 km/t).

4.3.2 Standard kildespekter

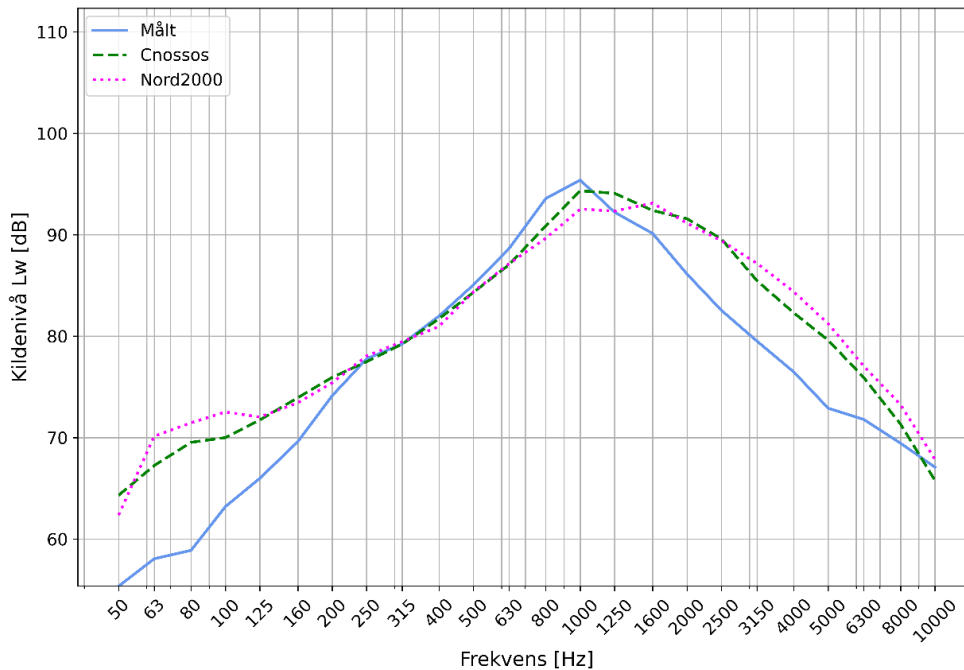
I tillegg til spektrene illustrert her, har SINTEF i en tidligere fase brukt dataene i Datasett B til å utarbeide et «standard spektrum» når utendørs støy kun foreligger som A-veid lydnivå, som for eksempel beregnet med den eldre metoden Nord 96. Dette arbeidet er presentert separat i prosjektnotatet «*Validering av standard støyspektrum for veitrafikk*» datert 2024-02-27. Spektrene presentert her i det arbeidet blitt sammenlignet med tilsvarende eldre spektra gitt i HB47. Notatet påviser store avvik mellom våre målte spektra og eldre standard spektra for veitrafikk i HB47, særlig ved lave frekvenser og ved lav hastighet. Standard spektra fra HB47 er betydelig høyere enn målt, i nedre del av spekteret.

4.3.3 Konsekvenser for innendørs nivå

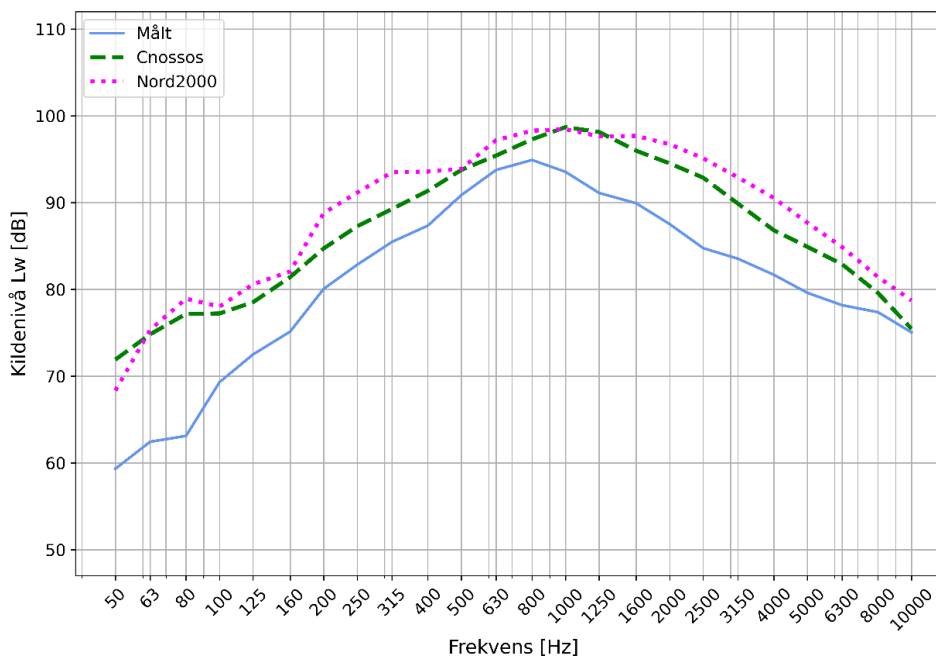
Et parallelt oppdrag for Statens vegvesen har handlet om hvilke konsekvenser et nytt kildespektrum for veitrafikkstøy vil ha for beregnet støynivå inne i utsatte boliger nær en trafikkert vei. For å vurdere dette, har SINTEF hatt tilgang til detaljerte konstruksjonsdata for 270 støyutsatte rom hvor det har blitt foretatt befaring og utredning av innendørs beregning av støy ved hjelp av verktøyet StøyBygg. Disse har blitt brukt til å analysere konsekvensene av overgang til nytt spekter og av utvidelse av spekter ned til 50 Hz. Resultatene av dette arbeidet er beskrevet i et eget notat «*Konsekvens for innendørs nivå av endring i utendørs spektrum for veitrafikkstøy*» datert 2024-06-06. Hovedfunnet i arbeidet var at en overgang til oppdatert spektrum kan forventes å føre til 1-4 dB reduksjon i beregnet innendørs A-veid lydnivå. Dette gjelder selv om den nedre grensen for frekvensområdet senkes fra 100 Hz til 50 Hz.

4.4 Undersøkelse av eksisterende kildemodell

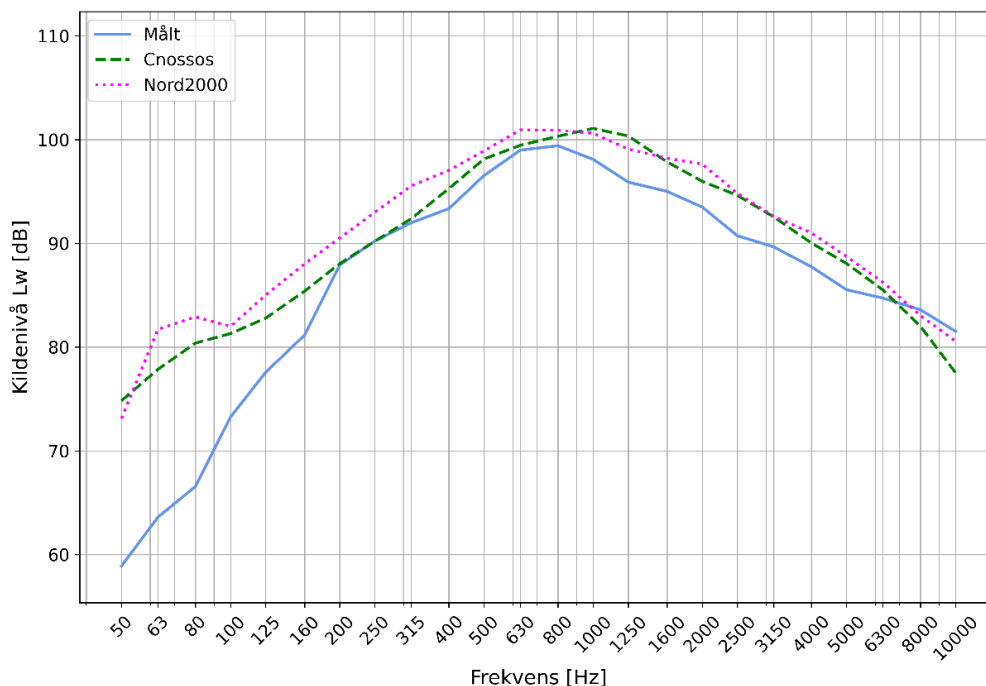
Et overordnet mål i prosjektet var å finne representativ kildemodell for norske forhold. En av de første oppgavene i prosjektet var derfor å sammenligne eksisterende kildemodeller for Nord2000 og Cnossos-EU med de målte lydeffektnivåene. Spektre for de tre kjøretøykategoriene for Målested 5, er vist på Figur 4-7 til Figur 4-9. Målested 5 er vist fordi de representerer en slags middelvei for alle målestedene.



Figur 4-7. A-veide spekter for lette fossilkjøretøy for målested 5. Spektrene for Cnossos-EU og Nord2000 er vist for skiltet hastighet 60 km/t.



Figur 4-8. A-veid spekter for mellom-tunge kjøretøy for målested 5. Spektrene for Cnossos-EU og Nord2000 er vist for skiltet hastighet 60 km/t.



Figur 4-9. A-veid spekter for tunge kjøretøy for målested 5. Spektrene for Cnossos-EU og Nord2000 er vist for skiltet hastighet 60 km/t.

Ved visuell sammenligning av målt spekter og spekter for Cnossos-EU og Nord2000, sees det at det er betydelige forskjeller, særlig for lave frekvenser, og for frekvenser over 1000 Hz. Dette er konsistent for alle målestedene, og ikke begrenset til de resultatene som vises her. Konklusjonen var dermed at det er behov for å oppdatere eksisterende spekter for å gjøre korrekte beregninger for norske forhold.

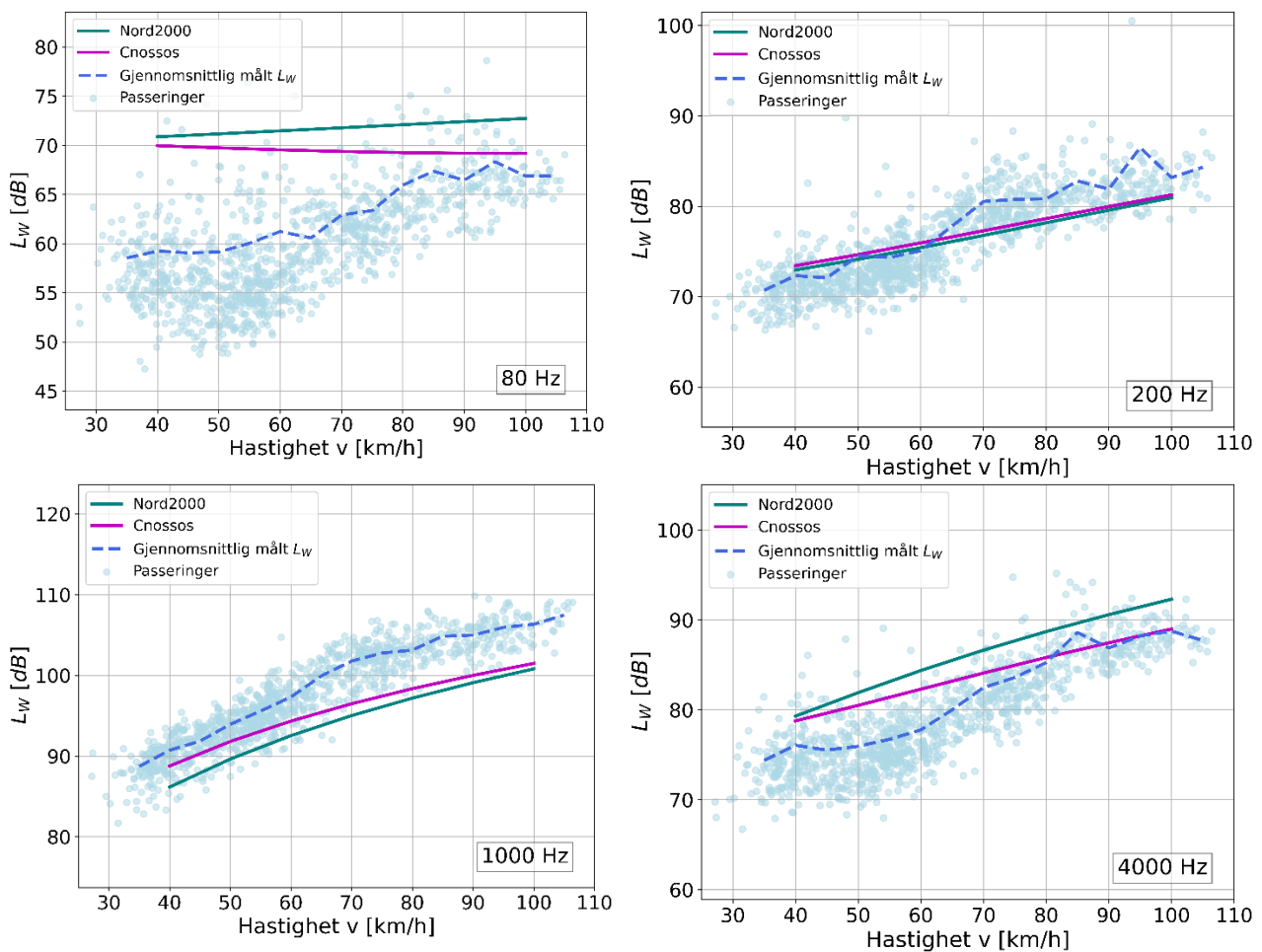
I tillegg til formen på spekteret for de tre kjøretøykategoriene, var det nødvendig å undersøke hastighetsavhengigheten til de eksisterende kildemodellene, for å validere at sammenhengene gitt i ligning (1) til (3) kan brukes for norske forhold.

For lette fossilbiler vises målt kildenivå L_w , som funksjon av hastighet for fire representative frekvenser i Figur 4-10. Hver blå sirkel i figuren representerer en individuell passering med et gitt kildenivå og en spesifikk hastighet for den respektive frekvensen. Disse dataene, som består av enkelthendelser for hver passering, er inkludert som blå sirkler for å illustrere variasjonen i målt kildenivå for de ulike passeringene.

De stiplede mørkeblå linjene i figuren indikerer det gjennomsnittlige kildenivået (L_w) for hver frekvens, der resultatene er midlet over lydeffekt (i Watt, ikke dB). Dette gjennomsnittet gir en forventningsrett fremstilling av hastighetsavhengigheten for kildenivået som skal representere alle målingene (avbildet med blå sirkler). Ettersom midlingen er basert på lydeffekt (i Watt, ikke dB), ligger den stiplede kurven litt høyere enn den aritmetiske middelveiden av de viste datapunktene (i dB).

I figuren vises også referansedata for kildenivå som funksjon av hastighet, representert ved den rosa heltrukne linjen for Cnossos-EU-modellen og den grønne heltrukne linjen for Nord2000-modellen, begge for de samme frekvensene. Disse modellene gjelder kun for lette fossilbiler, ettersom de ikke inkluderer elektriske biler. Figurene er begrenset til et utvalg frekvenser og kjøretøykategorier for å redusere kompleksiteten i presentasjonen, mens en fullstendig oversikt over målt kildenivå som funksjon av hastighet for alle frekvenser og kjøretøykategorier finnes i Appendix A.

For perfekt overenstemmelse mellom kildnivået modellert ved Cnossos-EU og Nord2000 som funksjon av hastighet og det målte, ville den mørk blå stiplede linjen overlappet med de heltrukne linjene for Cnossos-EU (rosa) og Nord2000 (grønn). Av Figur 4-10 sees det at dette ikke er tilfellet. For noen frekvenser faller målt verdi under eksisterende modeller, for andre er målt verdi over eksisterende modeller. Dette er tilfellet for alle kjøretøyskategorier. Undersøkelsen viste dermed at det var behov for å revidere hastighetsavhengigheten til de gjeldende kildemodellene for å finne en bedre representasjon av norske forhold. De mørk blå stiplede linjene danner dermed grunnlaget for utvikling av en oppdatert kildemodell, som videre beskrevet i avsnitt 4.5.



Figur 4-10. Gjennomsnittlig målt A-veid lydeffektnivå, L_W [dB] som funksjon av hastighet v , for fire frekvensbånd: 80 Hz, 200 Hz, 1000 Hz og 4000 Hz, for lette fossilbiler. Original Cnossos er vist i rosa, original Nord2000 i grønt, gjennomsnittlig målt lydeffektnivå som mørk blå stiplet, og alle inkluderte passeringer i lysblå.

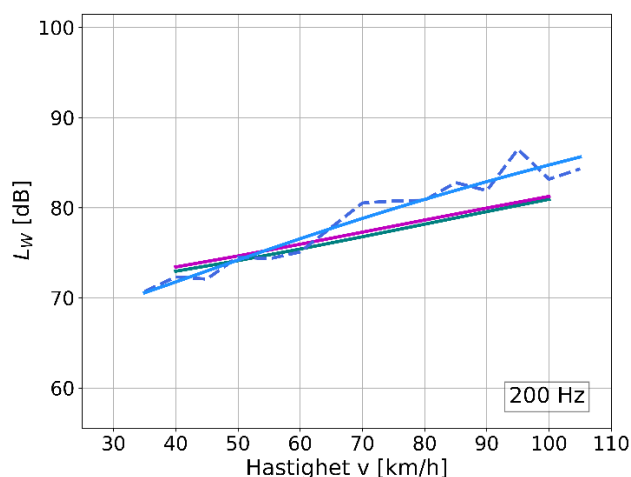
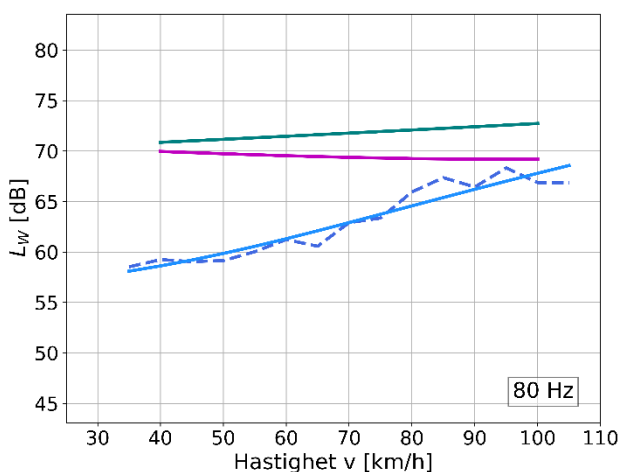
4.5 Utvikling av oppdatert kildemodell

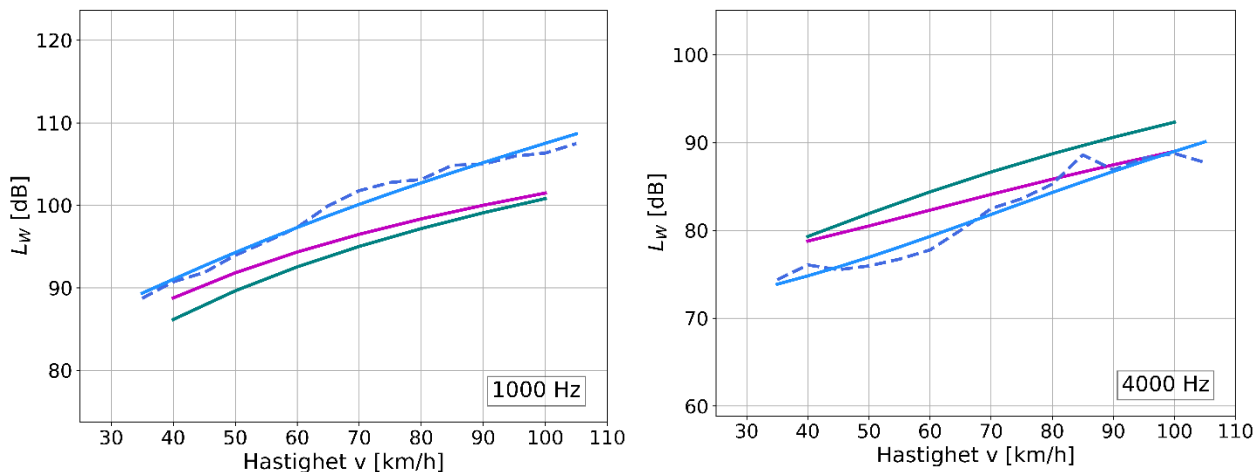
Målet til prosjektet var først å validere eksisterende kildemodeller for veitrafikkstøy for norske forhold, og deretter å revidere eksisterende modeller om det viste seg nødvendig. Funnene presentert i avsnitt 4.4, viser at revisjon av eksisterende modeller ble nødvendig, og at eksisterende modeller ikke bør brukes uten tilpasninger.

Innledende analyser viste at det ville være like lett å predikere målt lydeffektnivå L_W med en vesentlig lettere og mer lineær kildemodell enn Cnossos-EU og Nord2000s mer kompliserte eksponentielle kombinasjon av delkilder. Det var dog et overordnet hensyn i prosjektet, at arbeidet skulle resultere i kildekoeffisienter som kunne brukes i eksisterende rammeverk for Cnossos-EU og Nord2000. Dette både av hensyn til eksisterende regelverk, og av hensyn til de som skal implementere norsk kildemodell i sine respektive beregningsverktøy. Når ny kildemodell skulle utvikles for norske forhold, var prosjektet dermed ganske låst til å finne nye verdier for de eksisterende parameterne $A_{R,i,m}$ og $B_{R,i,m}$, gitt ligning (1) og $A_{P,i,m}$ og $B_{P,i,m}$, gitt i ligning (2), med kombinasjonen gitt i ligning (3).

Av ligningene, sees det at $A_{R,i,m}$ og $A_{P,i,m}$, sammen gir kildenivået ved 70 km/t. I dette prosjektet har rullestøy og motorstøy ikke blitt målt separat. Det foreligger derfor ikke data som kan brukes til å skille entydig mellom disse to parameterne. $A_{R,i,m}$ og $A_{P,i,m}$ ble derfor satt til gjennomsnittlig målt lydeffektnivå for hver frekvens ved 70 km/t, og fordelt likt mellom P og R. $B_{R,i,m}$ og $B_{P,i,m}$, ble satt til 0. Deretter ble $B_{R,i,m}$ og $B_{P,i,m}$ justert slik at det ble minst mulig forskjell mellom målt og modellert lydeffektnivå L_W som funksjon av hastighet, for hver frekvens. Dette ble gjort ved hjelp av Powells metode (18).

Koeffisientene som ga minst avvik mellom målt og modellert lydeffektnivå, ble funnet for hver frekvens og for hver kjøretøysklasse. Gjennomsnittlig målt lydeffektnivå L_W som funksjon av hastighet (blå stiplet linje), sammen med ny modellert L_W lydeffektnivå som funksjon av hastighet (blå heltrukken linje) er vist sammen med eksisterende Cnossos-EU og Nord2000, for lette fossilbiler, for et utvalg frekvenser på Figur 4-11. Den mørk blå stiplede linjen er den samme som på Figur 4-10.





Figur 4-11. Gjennomsnittlig målt A-veid lydeffektnivå, L_W [dB] som funksjon av hastighet v , for fire frekvensbånd: 80 Hz, 200 Hz, 1000 Hz og 4000 Hz, for lette fossilbiler. Original Crossos er vist i rosa, original Nord2000 i grønt, gjennomsnittlig målt lydeffektnivå som mørk blå stiplet og den nye modellen i lys blå som heltrukken linje.

Sammenligningen i Figur 4-11 mellom måleresultater (stiplet blå linje) og oppdatert kildemodell (lys blå heltrukken linje) viser avvik innenfor +/- et par dB. Målingene følger ikke en jevn avhengighet av hastigheten, slik modellen forutsetter. Nærmere undersøkelser viser en tendens til trinnvise forløp ved visse hastighets-overganger. Overgang fra 60 til 70 km/t gir for eksempel typisk større utslag enn tilsvarende overgang mellom andre hastigheter. Dette viser seg å falle sammen med skifte av målested. Det oppstår et sprang i kurven når støy ved én hastighet bestemmes av målinger på ett målested, og neste hastighet har data fra et annet målested. Målingene er allerede korrigert for avstand, hastighet (hendelsens varighet) og lokal terrengprofil. Den gjenværende parameteren som kan forklare forholdet er dermed variasjon i veidekke. Høye sprang i lydnivå fra en hastighet til neste må derfor tilskrives overgang fra et veidekke til et annet, og er nærmere diskutert i avsnitt 6.3.

4.6 Koeffisienter for norske forhold

Kildekoeffisientene som produserer den nye modellen som illustrert i Figur 4-11 blir gjengitt i de følgende tabellene. Av Figur 4-4 sees det at det er relativt små forskjeller mellom de målte resultatene for lette biler med fossil motor sammenlignet med elektriske drift. I det følgende skiller vi allikevel mellom lette fossilbiler og lette elektriske biler. Det er av flere grunner. For det første er det systematiske forskjeller i støynivå ved visse frekvenser, særlig i bassområdet, der elektriske biler er stillere enn fossile kjøretøy. Dette kan påvirke både komfort og oppfatning av støy i trafikkmiljøet, spesielt innendørs der lave frekvenser har større betydning. Videre har Norge et sterkt fokus på elbiler, med en betydelig andel av bilparken som består av elektriske kjøretøy. Dette skaper i seg selv et behov for å ta hensyn til elbiler spesielt. Til slutt svarer dette skillet på både lokal og internasjonal nysgjerrighet rundt konsekvensene av overgang til elbiler, ettersom Norge er en pioner innen elektrisk mobilitet. Å skille mellom dem i kildemodellen er en måte å dokumentere og dele fakta om hvordan elektriske og fossile biler påvirker samfunnet og miljøet.

4.6.1 Nord2000

For Nord2000 er de resulterende kildekoeffisientene etter analysen beskrevet i avsnitt 4.5 vist for lette kjøretøy i Tabell 4-5, mellom-tunge kjøretøy i Tabell 4-6 og tunge kjøretøy i Tabell 4-7. Det presiseres at koeffisientene er utarbeidet for beregning av A-veid lydeffektnivå for hvert frekvensbånd. Om de skal brukes til beregning av Z-veid nivå (uvedid) må tallene for A_R og A_P justeres med negativ A-veing for hver frekvens.

Tabell 4-5. Kildekoeffisienter for norske forhold for Nord2000 for lette kjøretøy, og åpen klasse: lette elektriske kjøretøy.

Frekvens	Lette fossilbiler				Lette elektriske biler			
	A_R	A_P	B_R	B_P	A_R	A_P	B_R	B_P
50	53.7	53.7	-1.5	-0.1	48.6	48.6	26.4	8.5
63	58.9	58.9	31.7	0.4	54.6	54.6	46.4	10.5
80	59.9	59.9	43.0	4.3	58.0	58.0	58.3	5.4
100	63.8	63.8	54.6	5.0	62.5	62.5	62.1	8.4
125	67.0	67.0	60.0	5.4	66.4	66.4	60.1	9.8
160	70.8	70.8	47.5	10.2	70.2	70.2	51.0	10.6
200	75.8	75.8	42.2	12.2	76.0	76.0	42.9	12.3
250	79.3	79.3	39.3	12.0	79.5	79.5	38.7	12.7
315	80.7	80.7	49.0	11.3	80.8	80.8	46.9	11.9
400	83.3	83.3	55.9	10.7	83.7	83.7	54.6	11.4
500	86.6	86.6	56.3	11.7	86.7	86.7	56.4	12.2
630	91.0	91.0	57.0	15.2	91.6	91.6	59.3	15.5
800	96.0	96.0	53.5	17.3	96.6	96.6	53.3	17.4
1000	97.1	97.1	45.3	18.1	97.0	97.0	46.3	17.8
1250	94.6	94.6	47.5	19.0	94.3	94.3	49.6	19.2
1600	92.6	92.6	51.9	18.2	92.6	92.6	53.7	19.0
2000	88.8	88.8	60.6	15.9	88.6	88.6	61.1	17.8
2500	84.4	84.4	54.3	13.6	83.9	83.9	52.6	17.5
3150	82.2	82.2	63.0	10.5	81.3	81.3	62.0	16.1
4000	78.8	78.8	57.1	10.4	77.6	77.6	57.0	17.1
5000	76.0	76.0	58.0	10.5	74.4	74.4	60.3	17.1
6300	73.9	73.9	64.2	8.2	72.0	72.0	68.0	15.6
8000	72.2	72.2	66.4	7.8	70.4	70.4	65.9	16.7
10000	69.2	69.2	70.0	6.3	67.4	67.4	72.8	11.5

Tabell 4-6. Kildekoeffisienter for norske forhold for Nord2000 for mellom-tunge kjøretøy.

Frekvens	Mellom-tunge			
	A_R	A_P	B_R	B_P
50	57.7	57.7	0.7	-1.9
63	62.3	62.3	48.8	-7.5
80	63.7	63.7	33.0	-2.6
100	69.5	69.5	13.5	3.6
125	74.0	74.0	33.5	4.7
160	76.6	76.6	34.6	10.3
200	82.3	82.3	37.2	11.1
250	83.8	83.8	28.5	11.3
315	85.7	85.7	27.1	10.5
400	88.1	88.1	30.5	11.9
500	91.0	91.0	30.4	12.8
630	95.0	95.0	37.6	15.9
800	97.2	97.2	42.4	17.0
1000	96.1	96.1	41.8	17.6
1250	94.6	94.6	43.6	16.6
1600	93.3	93.3	44.6	14.6
2000	89.9	89.9	46.5	10.3
2500	86.8	86.8	47.2	7.4
3150	85.0	85.0	52.3	3.5
4000	83.2	83.2	49.4	5.1
5000	80.7	80.7	50.9	4.0
6300	78.4	78.4	51.9	1.6
8000	77.0	77.0	46.2	-0.2
10000	74.1	74.1	43.6	-4.6

Tabell 4-7. Kildekoeffisienter for norske forhold for Nord2000, for tunge kjøretøy.

Frekvens	Tunge			
	A_R	A_P	B_R	B_P
50	60.6	60.6	-11.0	3.8
63	66.4	66.4	21.7	4.7
80	68.5	68.5	40.0	-2.6
100	75.0	75.0	18.4	8.1
125	79.4	79.4	26.7	9.5
160	81.9	81.9	32.2	-0.4
200	87.0	87.0	16.5	6.3
250	88.7	88.7	16.6	5.8
315	91.9	91.9	21.7	6.9
400	94.1	94.1	29.0	11.3
500	96.7	96.7	30.9	11.8
630	100.0	100.0	38.9	14.9
800	101.3	101.3	44.0	17.2
1000	99.3	99.3	39.7	15.6
1250	98.0	98.0	40.7	15.4
1600	97.4	97.4	37.5	13.0
2000	95.0	95.0	36.4	10.6
2500	92.3	92.3	38.4	8.1
3150	91.1	91.1	44.2	7.4
4000	89.1	89.1	43.0	7.7
5000	86.4	86.4	42.9	6.2
6300	84.4	84.4	35.0	4.5
8000	82.8	82.8	26.0	5.5
10000	80.5	80.5	22.9	5.5

4.6.2 Cnossos-EU

Ettersom Cnossos-EU og Nord2000 modellerer lydfeltet nært kilden forskjellig, vil koeffisientene nødvendigvis bli forskjellige. Parameterne i Cnossos-EU er opprinnelig avledet fra kildemodellen i Harmonoise, som er den samme som i Nord 2000. Avledningen er i utgangspunktet en beregning der nye Cnossos-EU parametere blir inn-justert slik at de gir samme beregnede støynivå som Harmonoise på et bestemt sted tett på en vei. Men detaljene i hvordan denne beregningen gjøres er ikke avklart i grunnlaget for metoden. I stedet for å finne frem til en ny beregning for en slik innjusteringen, tilpasset vårt prosjekt, har vi valgt å videreføre det eksisterende forholdet mellom offisiell Nord2000 og offisiell Cnossos-EU. I praksis betyr dette at differansen i kildekoeffisientene A_R og A_P , mellom Nord 2000 og Cnossos, er den samme i nye og originale kildemodeller. Dette blir også mest konsistent vis-a-vis de eksisterende parametersett. Resultatet er at revidert Cnossos-EU kilde (nedenfor) er avledet fra revidert Nord 2000 kilde på samme måte som eksisterende Cnossos-EU kilde er avledet fra eksisterende Harmonoise kilde. Nye kildekoeffisienter for norske forhold for Cnossos-EU er gitt i Tabell 4-8 til Tabell 4-10. Det presiseres at om de skal brukes til beregning av Z-veid nivå (uveid) må tallene for A_R og A_P justeres med negativ A-veing for hver frekvens.

Tabell 4-8. Kildekoeffisienter for norske forhold for Cnossos-EU for lette kjøretøy, $m = 1$, og åpen klasse, lette elektriske kjøretøy $m = 5$.

Frekvens	Lette fossilbiler				Lette elektriske biler			
	A_R	A_P	B_R	B_P	A_R	A_P	B_R	B_P
50	51.9	52.0	-1.5	-0.1	46.8	46.9	26.4	8.5
63	55.8	62.4	31.7	0.4	51.5	58.1	46.4	10.5
80	55.1	62.5	43.0	4.3	53.2	60.6	58.3	5.4
100	60.3	66.6	54.6	5.0	59.0	65.3	62.1	8.4
125	64.2	67.4	60.0	5.4	63.6	66.8	60.1	9.8
160	67.3	70.4	47.5	10.2	66.7	69.8	51.0	10.6
200	73.9	75.2	42.2	12.2	74.1	75.4	42.9	12.3
250	76.0	80.6	39.3	12.0	76.2	80.8	38.7	12.7
315	75.9	82.2	49.0	11.3	76.0	82.3	46.9	11.9
400	77.8	85.4	55.9	10.7	78.2	85.8	54.6	11.4
500	85.5	85.1	56.3	11.7	85.6	85.2	56.4	12.2
630	89.7	90.3	57.0	15.2	90.3	90.9	59.3	15.5
800	93.2	94.5	53.5	17.3	93.8	95.1	53.3	17.4
1000	94.0	97.1	45.3	18.1	93.9	97.0	46.3	17.8
1250	91.6	96.9	47.5	19.0	91.3	96.6	49.6	19.2
1600	92.0	93.7	51.9	18.2	92.0	93.7	53.7	19.0
2000	87.2	88.3	60.6	15.9	87.0	88.1	61.1	17.8
2500	83.2	82.7	54.3	13.6	82.7	82.2	52.6	17.5
3150	83.0	83.0	63.0	10.5	82.1	82.1	62.0	16.1
4000	80.9	79.2	57.1	10.4	79.7	78.0	57.0	17.1
5000	77.8	76.2	58.0	10.5	76.2	74.6	60.3	17.1
6300	74.9	74.2	64.2	8.2	73.0	72.3	68.0	15.6
8000	74.1	73.6	66.4	7.8	72.3	71.8	65.9	16.7
10000	71.9	70.7	70.0	6.3	70.1	68.9	72.8	11.5

Tabell 4-9. Kildekoeffisienter for norske forhold for Cnossos-EU for mellom-tunge biler, $m = 2$.

Frekvens	Mellom-tunge			
	A_R	A_P	A_R	A_P
50	53.4	54.4	0.7	-1.9
63	58.1	63.1	48.8	-7.5
80	58.2	65.8	33.0	-2.6
100	65.1	69.8	13.5	3.6
125	69.6	75.9	33.5	4.7
160	71.5	77.1	34.6	10.3
200	76.9	86.1	37.2	11.1
250	81.5	88.6	28.5	11.3
315	82.8	91.2	27.1	10.5
400	86.5	92.2	30.5	11.9
500	89.5	91.7	30.4	12.8
630	96.7	93.3	37.6	15.9
800	98.8	94.7	42.4	17.0
1000	96.2	94.8	41.8	17.6
1250	93.7	94.6	43.6	16.6
1600	93.9	95.8	44.6	14.6
2000	89.7	93.3	46.5	10.3
2500	84.1	90.6	47.2	7.4
3150	82.0	89.7	52.3	3.5
4000	81.4	88.5	49.4	5.1
5000	77.1	85.2	50.9	4.0
6300	74.3	81.7	51.9	1.6
8000	75.6	79.8	46.2	-0.2
10000	76.8	76.9	43.6	-4.6

Tabell 4-10. Kildekoeffisienter for norske forhold for Cnossos-EU, for tunge kjøretøy $m = 3$,

Frekvens	Tunge			
	A_R	A_P	B_R	B_P
50	53.3	58.9	-11.0	3.8
63	59.2	70.3	21.7	4.7
80	60.0	71.1	40.0	-2.6
100	67.6	75.4	18.4	8.1
125	72.0	81.6	26.7	9.5
160	73.9	84.6	32.2	-0.4
200	79.1	89.3	16.5	6.3
250	84.1	92.5	16.6	5.8
315	86.4	96.4	21.7	6.9
400	88.9	97.8	29.0	11.3
500	91.0	100.0	30.9	11.8
630	97.6	101.4	38.9	14.9
800	99.3	98.2	44.0	17.2
1000	96.1	97.0	39.7	15.6
1250	93.8	96.2	40.7	15.4
1600	94.6	97.5	37.5	13.0
2000	91.4	97.8	36.4	10.6
2500	86.2	93.8	38.4	8.1
3150	84.7	92.3	44.2	7.4
4000	84.0	91.0	43.0	7.7
5000	79.8	88.2	42.9	6.2
6300	77.9	86.4	35.0	4.5
8000	79.6	84.3	26.0	5.5
10000	82.1	81.7	22.9	5.5

4.7 Kontrollberegning med nye koeffisienter

Så langt i omtalen av våre analyser har vi fokusert på frekvensspektre for måleresultater og modeller. Dette er viktig fordi spektra for lydutbredelse til omgivelsene varierer sterkt. Den endelige nøyaktigheten til beregningene krever at kilden modelleres så korrekt som mulig ved alle frekvenser.

I praktisk bruk står imidlertid A-veid lydnivå i fokus. Det er derfor av interesse å vise hvordan ny kildemodell påvirker A-veid lydnivå ved kilden. I Tabell 4-11 har vi vist A-veid lydeffektnivå (L_w) for de to beregningsmetodene, for en rekke kombinasjoner av kjøretøyklasse og hastighet. Lydeffektnivåene viser lyd-utslippet fra kilden, helt upåvirket av lydubredelse. Tall i parentes viser endring i lydeffektnivå fra tidligere kildemodeller. For Nord 2000 er dette kildemodellen for originalt referansedekke pluss 1.6 dB tillegg i rulle-støy-komponenten, for tilpasning til norske forhold. For Cnossos-EU er tallene i parentes relatert til gjeldende referansedekke, etter omregning til 1/3-oktavbånd.

Tabell 4-11. A-veid lydeffektnivå i dB ved ulike hastigheter, for hver kildemodell og kjøretøykategori. Tall i parentes viser endring i dB fra tidligere kildemodell.

		30 km/t	50 km/t	70 km/t	90 km/t	110 km/t
Nord 2000	Lett fossil	93.3 (+1.3)	99.5 (+1.4)	105.4 (+2.2)	110.7 (+3.5)	115.4 (+4.8)
	Lett Elektrisk	93.1	99.5	105.5	110.9	115.7
	Middels	96.4 (-5.6)	101.6 (-4.3)	106.5 (-3.2)	111.0 (-2.3)	115.1 (-1.3)
	Tung	101.5 (-3.0)	106.4 (-1.1)	110.9 (+0.3)	115.1 (+1.5)	118.9 (+2.6)
Cnossos EU	Lett fossil	93.3 (+0.2)	98.9 (0.0)	104.6 (+1.1)	109.8 (+2.8)	114.7 (+4.7)
	Lett Elektrisk	93.1	99.5	105.5	110.9	115.7
	Middels	96.4 (-5.6)	101.6 (-4.3)	106.5 (-3.2)	111.0 (-2.3)	115.1 (-1.3)
	Tung	101.5 (-3.0)	106.4 (-1.1)	110.9 (+0.3)	115.1 (+1.5)	118.9 (+2.6)

Av tabellen ser vi at A-veid lydeffektnivå har økt for lette kjøretøy, med tiltagende økning ved høyere hastighet. Økingen kan ha sammenheng med høyere vekt og bredere dekk som gir økt støy på norske veidekker. For middels tunge kjøretøy har lydeffektnivået avtatt, særlig ved lave hastigheter. Dette kan ha sammenheng med mer stillegående motor og drivverk. Lignende tendens kan spores for tunge kjøretøy, der nivået har avtatt ved lave hastigheter, men økt ved høy hastighet. Videre ser vi generelt sterkere avhengighet av hastighet, sammenlignet med tidligere modeller. Dette kan ha sammenheng med at teksturen til dekke-overflatene øker med vei-type, for veier med større hastighet og mer trafikk.

Tabellen viser liten forskjell mellom lydeffektnivå for Cnossos-EU sammenlignet med Nord 2000. Det følger av at modellene har samme empiriske grunnlag, og er ellers ganske like for frekvensområdene som er dominerende for A-veid L_w . Latente forskjeller mellom modellene (primært ved lave frekvenser) vises imidlertid i form av innbyrdes avvik mellom noen av tallene (lette fossile kjøretøy).

Det presiseres at denne presentasjonen av A-veid lydeffektnivå ikke gir noen fullgod analyse av konsekvensene av å gå over til nye kildemodeller. De nye modellene har betydelig mindre lyd ved lave frekvenser, og mer konsentrert lydenergi omkring frekvensbåndene ved 1000 Hz. Dette gjør for eksempel at «den nye» veitrafikkstøyen lettere kan dempes av bakkedemping og skjerming. Resultatet kan bli lavere støynivå i enkelte nabolag, og høyere støynivå i andre.

Vi har også gjort noen enkle beregninger av A-veid lydtrykknivå (L_p) i et utvalgt mottakerpunkt nær en vei. Dette er gjort dels for å vise mulig innvirkning av lydubredelse over de første 10 meter fra veien, og dels

for å kontrollere de nye koeffisientene gjennom en prøveberegning med NorStøy. Beregningen ble gjort med de nye koeffisientene for Cnossos-EU og Nord2000, og for de gamle koeffisientene med gjeldende norske korreksjoner (inklusive +1.6 dB øking av rulle-støy). Det ble benyttet en trafikkmiks bestående av 75 % lette kjøretøy, 15 % mellomtunge og 10 % tunge kjøretøy. Veibanen ble satt til vanlig asfalt, altså akustisk hard flate. Mottakeren ble satt 4 meter over bakken, 10 m fra kilden, med myk mark mellom veien og mottakeren. Det ble beregnet for to hastigheter: 50 km/t og 70 km/t. Resultatene er vist i Tabell 4-12 som differanser mellom de involverte modellene.

Tabell 4-12. Resultater av kontrollberegning med eksisterende Nord2000, eksisterende Cnossos-EU og nye koeffisienter. Differanser i A-veid lydtryknivå, i dB.

Differanse	50 km/t	70 km/t
Cnossos-EU original – Nord2000 original	1.6	1.1
Cnossos-EU revidert – Nord2000 revidert	0.2	-0.3
Nord2000 revidert – Nord2000 original	-0.4	0.8
Cnossos-EU revidert – Cnossos-EU original	-1.8	- 0.6

Av tabellen kan vi se at for den valgte trafikken og det valgte beregningspunktet vil overgang til ny kildemodell gir marginalt lavere støynivå (de to siste linjene), og at avviket mellom Nord 2000 og Cnossos-EU blir mindre enn før (de to første linjene). Det presiseres igjen at denne typen utslag vil variere fra tilfelle til tilfelle.

5 Oppsummering av ny målemetodikk

Et delmål for dette prosjektet var å utvikle målemetodikk for ubemannet måling av kildestøy fra løpende veitrafikk langs norske veier. Vesentlige deler av denne metodikken er implisitt beskrevet i foregående kapitler om måling og analyse. Vi gir her en skjematisk oppsummering av denne metodikken i form av enkle spesifikasjoner av instrumentering, prosedyrer og analyser. Den er løstrevet fra de praktiske løsningene vi brukte i prosjektet, slik som NEMO, og retter seg mot anvendelse i fremtidige måleprosjekt med lignende formål. Oppsummeringen går ikke i detalj, av det omfanget som kreves for standardiserte metoder, men gir en stikkordsmessig fremstilling som vi mener kan være egnet til videre utvikling av instrumentering og metodikk.

1. Instrumentering

- a. Kalibrert lydmåler med
 - i. En målemikrofon
 - ii. Løpende analyse av L_{eq} spekter minst 8 ganger per sekund
 - iii. Løpende opptak av lyd til fil
- b. Hastighetsmåler som registrerer
 - i. Kjøretøyenes hastighet og kjøreretning
 - ii. evt. Akselerasjon
- c. Kamera som registrerer
 - i. Kjøretøyenes kjennemerke
- d. Øvrig utstyr og programvare for
 - i. Samkjøring og tids-synkronisering mellom ovenstående komponenter
 - ii. Oppslag av kjennemerker mot kjøretøyregisteret
 - iii. Registrering av vær- og føreforhold
 - iv. Innmåling av terrengprofil og markslag
 - v. Strømkilde

2. Prosedyrer

- a. Måling:
 - i. Skaff tillatelse til å montere utstyr ved veien og til å registrere kjennemerker
 - ii. Velg et målested langs en rett strekning med nogen lunde enkel terrengprofil mellom vei og mikrofon.
 - iii. Velg mikrofon-posisjon med avstand og høyde innenfor 10-30 grader stigning fra veien, minimum 1.5 meter over lokal bakke
 - iv. Kjør kontinuerlig måling, gjerne med varighet på mange timer eller døgn
 - v. Merk utstyret med info om at lydopptak pågår og at skilt registreres

3. Analyser

- a. Støydata
 - i. Kontroller kalibrering og innbyrdes tids-synkronisering mellom komponentene. Avvik bør ikke overstige 30-50 ms. Evt. justering av tiden kan skje med GPS klokke-signal, korrelasjonsanalyse mellom resulterende tidsserier e.l. Vær oppmerksom på tids-tyver som drift i klokkene (f.eks. lyd-kort/system-klokke/PC) og latens i operativsystem, server-interaksjoner, datanett, veiefilter o.l.
 - ii. Kontroller oppslag i kjøretøyregisteret som henter ut info om kjøretøyet. Vær f.eks. oppmerksom på ofte forekommende feilstavelser (f.eks. at V forveksles med Y).

- iii. Kontroller at all person-relatert info (kjennetegn etc.) slettes umiddelbart etter bruk.
 - iv. Bruk lydopptaket til å identifisere alle hendelser maskinelt. Søk etter topp i glattet A-veid tidslinje, og avgrens hver hendelse til -6 dB punktet før og etter toppen.
 - v. Ta bort alle hendelser med urimelig kort eller lang varighet. Normale grenser ligger typisk i området 1 til 4 sekunder.
 - vi. Lag et lydklipp for hver hendelse i form av en separat lydfil
 - vii. Ta bort hendelser med mer enn ett samtidig kjøretøy. Dette kan gjøres automatisk med KI-rutiner (nedenfor)
 - viii. Beregne samlet lydnivå (L_E eller SEL) for hendelsene på basis av spektrene fra lydmåleren.
 - ix. Koble hendelsene til registrert kjøretøy info og målt hastighet/akselerasjon
 - x. Om det mangler info om kjøretøy, kan hendelsen likevel inkluderes i videre analyser etter deteksjon med KI-rutiner (nedenfor)
NB! Dette punktet betyr at det er mulig å klare seg helt uten registrering av kjennetegn. I det tilfellet utgår krav om kamera, oppslag mot registeret og tillatelse til overvåking. Prosjektet forenkles betydelig.
 - xi. Beregne kildens lydeffekt ved hjelp av en overføringsfunksjon som regner målt L_E om til kildens L_W .
Overføringsfunksjonen beregnes ved en simulering med Nord 2000 for aktuell kombinasjon av terrengprofil, kjøretøyklasse, hastighet og hendelses-grenser. Simuleringen bør oppløses med minst 10 kildepunkter per sekund. Bruk gjerne et fiktivt kildnivå på $L_W=100$ dB for alle frekvenser. Overføringsfunksjonen blir da lik differansen i dB mellom simulert lydnivå L_E i mikrofonposisjonen, og det fiktive kildnivået.
 - xii. Kontroller at L_W får frekvensforløp som ikke er preget av uventede svingninger mellom 100 Hz og 500 Hz. Slike svingninger kan være tegn på feil terrengprofil som gir uheldige utslag i en Nord 2000 simulering. Evt. kontroller og juster terrengprofilen. Vær f.eks. oppmerksom på at små avvik i helning nær kilden kan gi store utslag.
 - xiii. Bruk samlingen av L_W til å bestemme parameter-settene A og B for Nord 2000 kildemodell. Dette gjøres ved hjelp av Powell's optimaliseringsalgoritme for hver kjøretøyklasse og hver frekvens (18). A bestemmes først av målt lydeffektnivå ved 70 km/t. Deretter bestemmes B_P og B_R ved kurvetilpassing.
 - xiv. Beregne A og B for Cnossos ved videreføre differansene mellom original Nord 2000 og original Cnossos.
- b. KI-rutiner
- i. Vårt prosjekt har utviklet en KI-modell for kvalitetssikring av målte hendelser og automatisk klassifisering. Modellen er en programvare-rutine som leser inn et lydklipp og svarer med om dette er «lett kjøretøy», «mellom-tungt kjøretøy», «tungt kjøretøy», «flere samtidige kjøretøy» eller «ukjent». Vi forutsetter at treningsgrunnlaget for KI i vårt prosjekt er representativt for nye måleprosjekt.
 - ii. Her kunne vi satt opp prosedyrer for hvordan man kan utvide og raffinere KI-modellen, men det blir for omfattende i denne omgangen. Teknologien er fortsatt på forsknings-stadiet. Men den kan forventes å bli tilgjengelig kommersielt om ikke lenge.

6 Oppsummering og anbefalinger

6.1 Ubemannet målekampanje og KI

Prosjektet har vist at det er mulig å gjennomføre en ubemannet målekampanje på veitrafikkstøy i løpende trafikk og samtidig ha god kontroll på dataene som samles inn. Bruken av KI sammen med menneskelig kvalitetskontroll av lydopptak gjorde det mulig å samle inn detaljerte og omfattende støydata med minimal menneskelig involvering. Vi ser ingen grunn til at dette ikke skal være lett å gjenbruke i andre regioner, også uten tilgang på NEMO-utstyret, ettersom de underliggende teknologiene, KI, lydopptak, radaropptak, meteorologioptak og nummerskiltgjenkjenning—er fullt mulig å reproducere. Dersom det benyttes KI modeller trent på datasettet utarbeidet i dette prosjektet, vil man kunne skille mellom «lette», «mellom-tunge» og «tunge» kjøretøy uten å trenge oppslag i kjøretøysregisteret, noe som vil lette forarbeidet. I forbindelse med den menneskelige kvalitetskontrollen av lydopptakene ble det tydelig at det ikke var mulig å skille mellom elektriske og fossildrevne lette kjøretøy ved lytting alene, i de hastighetsintervallene som har blitt undersøkt her (ca. 35 til 105 km/t). Dersom det skal undersøkes nærmere om dette er mulig ved lavere hastigheter, må oppslag i kjøretøysregisteret inkluderes.

6.2 Spekter og el-biler

Et av de mest interessante funnene i arbeidet, er den tydelige endringen i formen på kildespekteret fra Cnossos-EU og Nord2000, til de målte spektrene i dette arbeidet, som illustrert på Figur 4-7 til Figur 4-9. Her sees det tydelig at de nye målte spektrene har en ganske annen form enn de eldre spektrene, og at det særlig er reduksjon i bassen og diskanten. Dersom de nye spektrene sammenlignes med HB47, som beskrevet i avsnitt 4.3.2, blir denne tendensen enda tydeligere. Denne endringen i spekter skyldes først og fremst en teknologisk utvikling på kildesiden, spesielt for tunge kjøretøy. Da strengere støykrav ble innført på 90-tallet, måtte mange produsenter utstyre sine tunge kjøretøy med innkapslet motor. Dette fordyret bilene, samt at de ikke alltid var like praktisk å gjøre vedlikehold og reparasjoner. Det ble derfor intensivt arbeid med å redusere støy fra forbrenningsprosessen, inklusive å dempe eksosstøy med mer effektive lydempere. På denne måten har man etter hvert klart å redusere støynivået fra motor/eksos-komponenter, slik at bilene klarer strengere støykrav.

For lette kjøretøy, vil overgangen til elektriske biler også ha en effekt på spektra, men først og fremst for frekvenser under ca. 200 Hz, som vist i Figur 4-4. En slik endring kan ha betydning for reduksjon av lavfrekvent støy innendørs, men som arbeidet presentert i avsnitt 4.3.3 beskriver, forsvinner imidlertid nesten denne effekten når frekvensspekteret utvides med en nedre grense fra 100 Hz til 50 Hz. Fra samme figur sees det også at for at målesteden med lave hastigheter (Målested 5 med 60 km/t og Målested 3 med 50 km/t), sees det også lavere nivåer for frekvenser over ca. 2000 Hz for elektriske biler i forhold til fossile. Det er sannsynligvis knyttet til en mer høyfrekvent komponent fra forbrenningsprosessen på fossile biler, som ikke er framtrede ved høyere hastigheter.

Utover disse forskjellene i spekter, er også et hovedresultat i prosjektet at vi får overraskende lite forskjell mellom elektriske biler og fossile. I avsnitt 4.5 ble det nevnt at en enklere kildemodell, som ikke skiller mellom rulle- og motorstøy, ga minst like stor frihet til å tilpasse modellen til målingene. Dersom man har i bakhodet at elektriske biler i det store og det hele kun skal ha rullestøy, og null motorstøy, faller den fysiske forklaringen bak dagens kildemodeller som skiller på disse bort, og det kan argumenteres for at det er en unødvendig komplisert beskrivelse som ikke lenger fanger virkeligheten for moderne biler.

6.3 Vurdering av målested og veidekke

Ved oppstart av prosjektet var det viktig å få en viss variasjon i veidekker, innenfor rammen av det som er representativt for Norge. Tanken var at variasjon mellom ulike veidekker skulle vise noen lunde konsistent sammenheng med dekke-korreksjoner fra eksisterende kildemodeller, og dermed legge til rette

for justering av nye måledata til et slags felles referansedekke. Vi forventet for eksempel at SKA16 skulle gi noe høyere støy enn SKA11 for samme kjøretøyklasse, hastighet og dekke-alder. Vi finner imidlertid ingen slik korrelasjon i vårt grunnlag. Det vi derimot finner er en systematisk øking av støynivå fra målesteder med lav hastighet og lite trafikk til steder med høyere hastighet og mer trafikk. Økingen vises som tydelige forskjeller i støynivå mellom to målesteder, for samme kjøretøyklasse og samme reelle hastighet.

Det er velkjent at rullestøy fra norske veidekker styres av teksturen til dekkets overflate (19). Denne teksturen styres dels av trafikk-parametere som trafikkmengde (ÅDT), hastighet og piggdekkbruk, og dels av parametere for asfalten som steinmateriale, bindemiddel og øvrig sammensetning. Klima og strategi for vintervedlikehold spiller også inn. Det er imidlertid en utfordring at det knapt finnes noen operativ modell for å prediktere teksturrelatert støy for det norske veinettet, og at underliggende parametere for asfalt og slitasje er svært vanskelig tilgjengelig for praktisk bruk ved kartlegging av støy. Et studium fra 2009 (20) belyser for eksempel noen grunnleggende sammenhenger mellom tekstur og støy, men mangler kobling til variasjon i kjøretøytype, dekktype og hastighet».

Resultatene av dette måleprosjektet indikerer at den eksisterende løsningen for valg mellom SKA11 og SKA16, som to tilgjengelige valg i beregningsmodellen, neppe er brukbar som parameter. Det ser derimot ut til å finnes en alternativ akse for veidekkets betydning som går fra «lite trafikkerte veier med lav hastighet» (lav støy) til «store veier med mye trafikk» (høy støy). Ved å knytte denne aksene til skiltet hastighet (eventuelt med kobling til ÅDT), oppnår man en modell der de styrende parameterne alltid er lett tilgjengelig for praktisk bruk i støykartlegging. Om forutsetningen i vårt prosjekt stemmer; dvs. at de valgte målestedene er representative for Norge, er denne modellen allerede på plass i form av den nye hastighets-avhengigheten i de oppdaterte A- og B- parameterne. Skulle forutsetningen ikke holde, bør det gjøres flere målinger for ytterligere oppdatering med tanke på å oppnå tilstrekkelig representativitet. Løsningen vil på den måten kunne raffineres gjennom enkel empiri fra feltmålinger i stedet for utvikling av kompliserte fysiske modeller for asfalt og slitasje.

6.4 Kontrollberegninger med nye koeffisienter

Kontrollberegninger med nye koeffisienter viste at A-veid lydeffektnivå har økt for lette kjøretøy sammenlignet med original Cnossos-EU og Nord2000 med 1.6 dB tillegg for rullestøy på norske veidekker. Økingen kan henge sammen med høyere vekt og bredere dekk som følger av en nyere kjøretøypark, og ruere dekker. For middels tunge kjøretøy har støynivået gått ned, spesielt ved lave hastigheter, trolig på grunn av mer stillegående motorer og drivverk. En lignende tendens sees for tunge kjøretøy, der støynivået har falt ved lave hastigheter, men økt ved høy fart. Generelt er avhengigheten av hastighet blitt sterkere, muligens på grunn av grovere dekkeoverflater på høyhastighetsveier med mer trafikk.

Som et ledd i å kontrollere kvaliteten til de nye koeffisientene ble det gjort en enkel prøveberegning av resulterende støynivå tett på en fiktiv vei. Ideelt sett burde vår kontrollberegning brukt et beregningspunkt nær veien der Nord 2000 og Cnossos-EU gir samme resultat. Dette punktet finnes ganske sikkert, i hvert fall i teorien. Men det er uklart hvordan omregningen av A- og B-parametere fra Harmonoise til Cnossos egentlig ble gjort i grunnlagsarbeidet for Cnossos. I stedet for å grave til bunns i dette gjorde vi som nevnt et valg om å videreføre eksisterende differanser mellom Nord 2000 og Cnossos parametere. En konsekvens av dette er at vi ikke umiddelbart har funnet det beregningspunktet der metodene gir samme resultat for samme kildegrunnlag.

Det presiseres at denne kontrollberegningen ikke er ment å vise de overordnede konsekvensene av et skifte av beregningsmetode og/eller datasett for støykilde. Den viser bare differanse for et tilfeldig valgt mottakerpunkt nær veien. De endelige konsekvensene bør utredes gjennom større beregninger som omfatter et bredere utvalg av terrengforhold, avstander, mottakerforhold osv. En slik beregning må

forventes å gi til dels betydelige differanser med varierende fortegn, særlig når avstand fra veien blir større. Differansene vil avhenge av interaksjonen mellom kildepekter og dempingsforhold som bakkedemping, skjerming, refleksjoner og luftabsorpsjon. Det er p.t. uvisst om overgang til ny kilde vil medføre generell utvidelse eller innskrenking av beregnede støysoner. Men vi har en klar forventning at det vil oppstå betydelige endringer i beregnet støybelastning for mange steder langs veinettet. Overgang til oppdatert støykilde er derfor viktig for å få en rettferdig behandling av berørte naboer på disse stedene.

7 Konklusjoner og videre arbeid

I samarbeid med Statens vegvesen, har SINTEF gjennomført et forsknings- og utviklingsprosjekt med mål om å besvare tre sentrale spørsmål: 1) Er dagens gjeldende kildemodeller for veitrafikk, mer spesifikt Cnossos-EU og Nord2000, representative nok for dagens norske forhold? 2) Kan dette undersøkes ved hjelp av en ubemannet målekampanje og KI? Og 3) dersom kildemodellene bør oppdateres, hva bør de nye kildekoeffisientene være?

Funnene presentert i denne rapporten, illustrerer behovet for oppdatering av dagens kildemodeller for veitrafikkstøy for at disse skal være representative for dagens norske forhold. Hverken Cnossos-EU eller Nord2000 i sin nåværende form gjengir riktig spekter, nivå eller hastighetsavhengighet for norsk bilpark på de norske veidekkene som har blitt undersøkt her. Funnene presentert i rapporten viser at EL-biler har mindre innvirkning på støynivået enn forventet, men det påpekes at dette ikke har blitt undersøkt i de laveste hastighetsområdene. Særlig i boligstrøk med lave hastigheter, forventes det fortsatt at EL-biler kan påvirke støynivået. I hvilken grad dette er tilfellet, og hvordan støynivået påvirkes er et gjenstående forskningsspørsmål.

Prosjektet har videre illustrert at det er fullt mulig å gjøre oppdaterte kildemålinger ved hjelp av ubemannede målinger og KI-kvalitetssikring, og har skissert hvordan dette kan gjentas. Det påpekes at det har blitt målt på et begrenset antall veidekker, og at målinger i andre regioner vil være nyttig for å, med større sikkerhet, kunne hevde at de oppdaterte kildenivåene er representative for norske forhold.

Prosjektet har også svart ut det tredje spørsmålet, og presentert konkrete kildekoeffisienter for Nord2000 og Cnossos-EU for de nye målte kildenivåene, som anbefales tas i bruk. En større konsekvensutredning av de nye koeffisientene har ikke vært fokus i prosjektet, og dette er et område for videre forskning. Dette bør gjøres samtidig som det utføres målinger lenger fra kilden, for ikke bare å kunne påpeke forskjeller i utbredelsesmodellene, men å også kunne forbedre modellene.

Referanser

1. Statistisk Sentralbyrå. 07849: Registrerte kjøretøy, etter region, drivstofftype, statistikkvariabel og år [Internet]. 2024. Available from: <https://www.ssb.no/statbank/table/07849>
2. European Environment Agency. New registrations of electric vehicles in Europe [Internet]. 2023. Available from: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles>
3. EU DIRECTIVE. COMMISSION DIRECTIVE (EU) 2015/996 of 19 May 2015, establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. Luxembourg: OPEU; 2015.
4. Jonasson HG, Storeheier S. Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise. Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute; 2001 Dec. Report No.: 2001:10, ISBN 91-7848-853-2.
5. Salomons E, van Maercke D, Defrance J, de Roo F. The Harmonoise Sound Propagation Model. Acta Acustica united with Acustica. 2011 Jan 1;97(1):62–74.
6. Kragh J, Thysell E, Finne P, Pedersen F, Michelsen L, Fryd J. The Nord2000 prediction method for road traffic noise—outline and validation, and application in environmental noise mapping. The Journal of the Acoustical Society of America. 2023;154(1):547–55.
7. Evensen KB, Dutilleux G, Olsen H. Adaptations of Cnossos from octave bands to 1/3 octave bands. 2021 Jul p. 25. Report No.: SINTEF: 2021:00435.
8. Benjaminsen C. Kunstig intelligens avslører støykilder. forskning.no [Internet]. 2021 Nov; Available from: <https://www.forskning.no/data-helse-kunstig-intelligens/kunstig-intelligens-avslorer-stoykilder/1935981>
9. NEMO [Internet]. 2024. NEMO - Noise and Emissions Monitoring and Radical Mitigation. Available from: <https://nemo-cities.eu/>
10. Rauniyar A, Berge T, Kuijpers A, Litzinger P, Peeters B, Gils EV, et al. NEMO: Real-Time Noise and Exhaust Emissions Monitoring for Sustainable and Intelligent Transportation Systems. IEEE Sensors Journal. 2023;23(20):25497–517.
11. Nasteski V. An overview of the supervised machine learning methods. Horizons b. 2017;4(51–62):56.
12. Mushtaq Z, Su SF. Efficient classification of environmental sounds through multiple features aggregation and data enhancement techniques for spectrogram images. Symmetry. 2020;12(11):1822.
13. Howard A, Zhmoginov A, Chen LC, Sandler M, Zhu M. Inverted residuals and linear bottlenecks: Mobile networks for classification, detection and segmentation. In 2018. p. 4510–20.
14. Q. Kong, Y. Cao, T. Iqbal, Y. Wang, W. Wang, M. D. Plumbley. PANNs: Large-Scale Pretrained Audio Neural Networks for Audio Pattern Recognition. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing. 2020;28:2880–94.
15. Gemmeke JF, Ellis DP, Freedman D, Jansen A, Lawrence W, Moore RC, et al. Audio set: An ontology and human-labeled dataset for audio events. In IEEE; 2017. p. 776–80.

16. Chen S, Wu Y, Wang C, Liu S, Tompkins D, Chen Z, et al. Beats: Audio pre-training with acoustic tokenizers. arXiv preprint arXiv:221209058. 2022;
17. Peeters B, van Blokland G. Correcting the CNOSSOS-EU road noise emission values. Conference Proceedings, Euronoise. 2018;8.
18. Powell MJ. A direct search optimization method that models the objective and constraint functions by linear interpolation. Springer; 1994.
19. Siebert D. How wear affects road surface texture and its impact on tire/road noise. PhD Thesis. NTNU; 2017.
20. Storeheier S. Miljøvennlige vegdekker - Resultater fra teksturmålinger 2006 - 2008. Statens vegvesen/ SINTEF A10917; 2009 Nov. (Vegteknologiseksjonen). Report No.: 2561.

A Målt kildenivå etter korreksjon for utbredelse

A.1 Lette kjøretøy

Tabell 0-1. Målt korrigert A-veid kildenivå L_w [dB] for lette kjøretøy som funksjon av frekvens [Hz].

$v \pm 2,5$ [km/t]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
35	55.3	57.3	58.4	60.9	64.2	66.3	70.6	74.4	75.9	78.2	80.8	83.6	87.3	87.7	85	84.2	81.3	77.6	77.2	73.9	71.2	70	68.6	66
40	55	58	58.2	62.1	64.6	66.9	71.6	75.3	76.8	79.4	82.2	85.4	89	89.5	86.8	86.2	83	79.4	78.3	74.8	72	71.1	69.6	67.9
45	55.2	58.3	57.2	61.1	63.7	66.8	72	75.9	77.3	80.1	83.1	86.4	90.4	90.9	88.2	87.1	83.7	79.5	78.5	74.8	71.9	70.5	69	66.8
50	54.4	57.9	59.7	61.4	64.7	68.7	73.6	77.2	78.5	81.3	84.5	87.8	92.1	93.4	90.7	89.1	85.8	81.8	79.4	76.3	72.8	71.4	70	67.6
55	54	57.6	57.7	61.4	65.1	68.9	74.4	78.2	79.3	82	85.3	89.1	93.8	95.3	92.6	90.3	86.5	82.6	79.6	76.5	73.2	71.4	70.2	67.6
60	54.7	58.3	59.6	63.3	68.6	71.2	76.1	79.9	81	83.5	86.8	91	96.1	97.7	95.4	92.6	88.5	84.4	81.6	78.4	75.3	73.2	71.9	69.6
65	57.6	61.4	62.2	66.7	69.4	73.6	79	82.4	83.2	85.5	88.8	93.8	99	100.5	98.6	95.4	91.2	86.9	84.7	81.4	78.7	76.5	75.2	72.2
70	57.6	63.1	64.3	68.1	71.2	75.7	80.8	84	84.9	87.2	90.5	95.5	100.3	101.8	100.2	97.1	92.9	88.5	86.4	83.2	80.4	78	76.5	73.4
75	58.6	63.3	64.9	70.5	72.8	76.4	81.6	84.7	85.9	88.9	92.4	97.3	101.7	102.7	101	98.3	94.3	89.9	88.2	85.1	82.4	80.4	78.8	76.1
80	57.6	63.9	67.1	70.8	74.5	77.6	82.2	85.5	87.3	91.1	94.6	99.1	103.1	103.4	101.7	100.1	96.3	91.7	90	86.9	84	82	80.5	77.6
85	56.4	63.9	66.3	71.8	75.8	77.6	82.6	86	87.9	91.7	95.2	99.6	103.7	103.8	102	101.3	97.4	92.6	90.8	87.4	84.6	83.1	81.6	78.8
90	55.3	63.7	66.5	71.5	75	77.4	83.3	86.2	88.1	91.7	95.2	99.7	104.1	104.1	102.1	101.8	98	92.9	91.1	87.6	84.7	83.3	82	79.2
95	55.4	63.6	66.6	71.4	75.2	78.7	83.8	86.4	88.6	92.2	95.5	100.3	104.8	104.8	102.7	102.4	98.5	93.5	91.6	88.1	85.1	83.8	82.4	79.6
100	55.6	63.9	67.2	72.2	75.8	78.9	83.2	87	89.2	92.6	95.9	100.7	105.4	105.3	103.3	103	99.1	94	92.1	88.5	85.4	84.1	82.7	79.8
105	56.4	64.2	67.2	72.2	76	79	83.9	87.6	89.6	92.8	96.1	101.3	106	106	103.8	103.4	99.6	94.5	92.6	89	86.1	84.7	83.1	80.2

Tabell 0-2. Målt korrigert A-veid kildenivå L_w [dB] for lette fossilbiler som funksjon av frekvens [Hz].

$v \pm 2,5$ [km/t]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
35	58.1	58	58.5	62.1	64.9	66.4	70.7	74.5	75.6	78.3	81.1	83.9	88	88.7	85.7	84.5	81.7	78.5	77.9	74.4	71.7	70.4	69.3	66.6
40	57.6	60.5	59.2	63.2	66.1	67.8	72.3	75.9	77.6	79.8	82.9	85.9	90.2	90.7	87.4	86	83.1	79.7	78.9	76.1	73.4	72.5	70.9	69.1
45	56.1	61.3	59.1	61.1	64.4	67.4	72.1	75.9	77.4	80.2	83.3	86.3	90.8	91.9	88.7	86.9	83.5	80.1	78.8	75.5	73	71.5	69.9	67.3
50	54.9	59.2	59.1	63.5	67	69.7	74.5	77.9	78.6	81.3	84.3	87.4	92	93.9	90.7	88.6	85.1	81.5	79.1	75.9	72.1	70.3	68.5	65.8
55	55.5	60.5	60	62.5	65.5	69.5	74.3	78	79.2	82.2	85.3	89	93.8	95.6	93	90.5	86.3	82.7	79.7	76.7	73.4	72.2	69.8	67.3
60	57.5	59.8	61.2	64.7	66.9	71.1	75.1	79.1	81	83	86.2	89.9	95.2	97.3	94.6	92.2	88	84.1	81.2	77.8	74.6	73.5	70.9	68.3
65	56.2	60.8	60.6	64.7	68.4	72.2	77.8	81.5	82.1	84.3	87.6	92.4	98.2	99.9	97.9	94.6	90	85.8	83.4	80	77.9	74.8	73.7	70.5
70	57.1	62.5	62.9	67.8	70.3	74.6	80.5	83.7	84.3	86.2	89.6	94.4	99.7	101.8	100.3	97	92.5	88	86	82.5	79.8	77.1	75.7	72.5
75	58.9	62	63.4	67.9	71.1	75.2	80.7	84.2	85.3	87.4	90.8	95.9	100.9	102.8	101.1	97.6	93.5	88.9	87.1	83.6	80.8	77.8	76.1	72.7
80	57.5	62.7	65.9	69.3	72.7	75.5	80.8	84.8	86.2	89.2	92.6	97.1	102.2	103.1	101.3	99	95.3	90.3	88.7	85.3	82.9	80.9	79.6	77
85	57.2	64.1	67.4	71.7	76.4	78.7	82.8	86.1	88.8	92.7	96.2	100.5	104.9	104.9	102.3	101.1	98	93.2	91.9	88.6	86.2	85	83.5	81
90	57	64.7	66.4	70.9	74.3	76.7	81.9	86	88.1	91.5	94.7	99.8	104.9	105	102.5	101.1	97.8	92.6	90.9	86.9	83.9	82.7	80.7	77.9
95	56.3	64.9	68.3	74.2	77.5	81.4	86.5	87.6	89.6	92.7	96.3	100.7	105.5	105.9	103.4	102.5	99.2	93.9	92.1	88.2	85.2	83.6	81.9	79.3
100	56.7	65.4	66.9	71.8	76.8	79.3	83.2	87.3	89.6	92.5	96.3	100.9	106.2	106.3	104	103.2	99.8	94.6	92.6	88.8	86.1	84.6	83.2	81
105	55.2	64.4	66.9	72.9	76.2	79.3	84.3	87.5	90.2	93.4	96.5	101.6	106.6	107.5	104.8	102.7	99.4	94.2	92.3	87.7	84.8	83.4	81.8	79.1

Tabell 0-3. Målt korrigert A-veid kildenivå L_w [dB] for lette elektriske biler som funksjon av frekvens [Hz].

$v \pm 2,5$ [km/t]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
35	45.8	51.3	56.6	60	62.4	66.1	71.2	74.5	76	78.7	80.8	84.4	88.5	89	85.4	83.8	80.5	76	73.9	69.7	66.7	64.9	62.6	61.4
40	46.2	51.4	57.6	60.4	63.1	66.9	71.8	75.5	76.8	79.3	82.1	85.6	90.2	90.6	86.9	85.8	82.1	77.7	75.7	71.3	68.2	66	64.2	63.8
45	49	52.2	57.3	59.8	63.3	67.2	73	76	77.3	80.9	83.6	87.5	92.3	91.9	88.3	87.1	83.2	78.9	76.8	73	69.5	67.6	65.8	64.7
50	46.5	51.7	54.6	59	64.3	67.5	73.8	78	78.8	82.1	85.5	88.3	92.6	93.7	90.6	89	85	81	77.6	74.2	71.3	69.2	67.3	65.5
55	47	51	55.1	58.8	64.7	67.8	74	78.1	79.4	82.1	84.8	89.3	94.2	95.4	91.8	90	85.7	81.6	77.9	74.3	70.4	68.2	66.5	64.2
60	48.8	52	55.7	60.1	63.6	68.5	74.8	78.8	80.4	83	86	90.5	95.7	96.9	93.4	91.3	87	82.8	79.1	75.5	71.4	68.9	68	64.4
65	49.4	55.2	60.4	64	67.3	72.5	78.5	82.1	82.8	84.8	87.7	93.4	98.8	99.9	97.5	94.4	89.9	85.5	82.4	78.8	75.6	72.8	71.1	67.7
70	58.1	62.9	64.8	68.8	73.1	74.9	81.2	84.9	85.5	87.4	89.7	95.1	100.4	101.4	100.2	97	92.8	87.9	85.8	82.3	79.7	76.9	75.1	72.1
75	52.6	59.3	62.2	67.6	70.6	75.1	81.2	84.1	85.2	88.1	90.8	95.9	101.3	102.5	100.7	97.9	93.8	88.8	86.4	82.5	79.6	77.1	75.5	72.4
80	57.2	64.5	66.1	70.5	72.8	77.4	82	85.2	86.1	89.1	92	97.3	102.3	103.9	101.9	99.4	95.4	90.1	88.2	84.2	81.2	78.5	76.7	73.3
85	55.1	62.1	66.3	71.2	74.6	77.6	82.3	86.2	88.2	92.7	96.5	100.9	105.2	105.1	102.8	101.7	98.3	93	91.2	87.4	85.5	82.3	80.3	77.3
90	53.2	61	65	70.7	74.8	77.9	83.3	86.8	88.3	92.2	95.3	100.7	105.8	105.4	102.7	101.5	98.1	93.1	91.3	87.5	84.5	83.3	81.9	79.5
95	53	61.8	65.7	71	75.2	78.4	84.1	86.7	88.5	92.4	95.7	101.3	106	105.3	102.5	101.6	98.2	92.8	91.1	86.9	83.9	82.5	81.2	78.5
100	54.5	62.1	66	71.8	75.2	78.8	83.7	87.1	89.8	93.3	96.4	101.9	106.8	106.6	104.3	103.6	100.3	94.4	91.9	87.7	84.5	82.8	80.9	77.8
105	54.1	63.2	69.2	73.2	77.9	79.5	85.2	88.5	90.7	93.8	97.1	103.3	107.4	107	104.3	103.5	100	94.5	92.1	88	84.9	83.5	81.7	79.1

A.2 Mellom-tunge kjøretøy

Tabell 0-4. Målt korrigert A-veid kildenivå L_w [dB] for mellom-tunge kjøretøy som funksjon av frekvens [Hz].

$v \pm 2,5$ [km/t]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
35	60.1	63.9	64.7	69.5	71.9	73.5	78.6	79.8	82.4	83.9	86.2	89	90.5	88.7	88.1	87.8	86.3	84.8	84.6	81.8	79.7	78.7	77.9	78.2
40	60.8	71.5	67	72.1	76.2	74	79.7	80.1	82.7	84.8	86.6	89.5	91.3	89.7	89.2	88.9	87.3	85.2	84.8	82.5	80.8	79.5	79.9	78.3
45	63.9	65.4	65.6	68.2	71.7	72.6	78.2	80.2	81.8	84.1	86.5	89.8	91.7	90.4	88.8	88	85.6	83.1	82.9	81	78.8	77.7	76.1	74.3
50	60.6	62.5	66.3	70	72.2	75.3	79.3	82.7	84.8	86.3	89.8	92.7	94.1	92.7	90.8	89.6	87.1	84.2	82.9	80.8	78.6	76.8	75.9	73.8
55	57.7	61.8	63.1	69.5	72.5	74.8	80.5	83.8	85.7	87.6	91.4	94.1	95.5	94.7	92.5	90.9	88.2	85.2	83.6	81.7	78.9	76.9	75.3	73.2
60	58.2	62.7	63	70.4	76.2	77.4	83.3	85.8	87.6	89.7	93.3	96.5	98.2	97.2	95.2	94	90.5	87.4	85.8	83.8	81.2	78.6	78	75
65	62.4	65.8	67	76.2	78.2	81.3	87.3	89.3	92.2	93.2	96.8	100	101.3	100.7	99.5	98.1	94.3	91.5	89.8	87.9	85.4	83.1	81.6	79.3
70	63.6	67.5	68.6	76.1	79.2	82	87.8	89.5	91.7	93.7	96.2	100.1	101.8	101.3	100	98.4	94.7	91.5	89.3	87.6	85.1	82.7	81	78.1
75	62.9	67.5	68.4	74.6	79.1	81.6	87.1	88.8	90.4	93.4	96.2	100.1	102.4	101.5	100	98.4	94.7	91.7	89.8	87.9	85.4	83	81.2	78.3
80	60.8	66.4	69	73.5	77.5	82	86.8	88.3	90.5	92.2	95.5	99.8	102.8	101.7	100.4	98.9	95.1	91.9	90.1	88.2	86	84.2	82.7	79.2

A.3 Tunge kjøretøy

Tabell 0-5. Målt korrigert A-veid kildenivå L_W [dB] for tunge kjøretøy som funksjon av frekvens [Hz].

$v \pm 2,5$ [km/t]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000
35	68.1	65.8	74.5	70.2	73.9	83.5	82.3	85.7	89.7	87.8	90.4	92.7	92.7	91.5	90.5	91.3	89.9	87.8	87.2	85.5	84.7	82.8	80.9	78.2
40	67.5	67.8	71	76.6	79.7	84.2	86.5	88.6	91.3	92.5	93.2	95.2	94.9	93.8	94	95.1	95.2	94.7	92.5	90.1	87.4	87.5	85.5	83.8
45	57.5	65.1	65	78	78.1	81.5	89	88.5	91.9	92.8	95.3	95.4	97	94.1	92.7	93.9	91.1	89	88.1	85.9	83	82.1	81.2	78.9
50	64.1	67.9	69.6	77.1	81.1	84.4	91.4	90.8	92	93.9	95.3	97.1	97.4	95.7	93.5	93.7	92.3	89.4	88.5	86.3	82.7	80.5	79.2	77.4
55	59.1	63.8	65.6	72	76.1	79.7	88.1	89.3	90.8	93	96.4	98.9	99.3	98	96	94.8	92.9	89.8	88.5	86.6	84.6	83.3	82.1	81
60	60.4	65.6	69.6	73.9	78.7	81.7	86.9	91.1	93.2	93.9	97.9	100.8	101.6	100.6	98.9	97.6	95.2	92.4	91.1	89.5	87.4	86.5	85.3	82.7
65	66.2	70.5	71.5	77.8	82.2	84.8	90.1	92.6	95.1	96.9	100.2	103.5	104.8	103.8	102.5	101.2	97.9	95.2	93	91.3	88.7	86.4	85	82.5
70	67.5	71.7	73.5	80	84.2	86.2	90.8	93.2	96.4	98.6	101.1	105.2	106.7	105.3	104.1	102.7	99.3	96.4	94.8	93.1	90.5	88	86.3	83.5
75	66.2	72.5	74.2	79.8	85.4	87	91.3	93.2	96.9	99.7	102	106.4	108.2	105.9	104.6	103.5	100.6	97.9	96.8	94.8	92.3	90.1	88.2	85.7
80	65.4	72.5	75.1	80.4	85.4	87.6	92.1	93.9	97.7	100.7	103.5	107.4	109.4	106.7	105.4	104.3	101.9	99.2	98.4	96.2	93.5	91.1	89.1	86.7
85	64.1	71.7	74.3	79.6	85.4	87.3	91.8	93.3	98.3	101.3	105.1	107.4	109.4	106.6	105.6	104.5	102.1	99.6	98.8	96.7	93.9	91.7	90.1	87.9
90	64	71.3	74.6	79.8	86.3	88.2	92.1	93.2	96.4	99.7	102.1	107.6	109.5	106.4	105.2	104.1	101.5	98.5	97.9	95.7	92.7	90.4	88.3	86.2
95	62.8	70.3	74.7	80.2	84.8	87.6	91.4	92.6	96.1	99.5	102.6	107	109.3	106.6	105.6	104.1	101.4	98.4	97.3	95.1	91.9	89.1	86.6	83.9
100	62.7	69.4	73.6	80	84.2	85.9	90.3	91.3	96.1	99.5	104.7	107.7	109	106	105	103.8	100.8	97.6	96.9	94.8	92.1	89	86.9	84
105	62.9	73.1	75	82.2	86.3	87.9	93	95	98.8	102.4	101.9	107.3	109.7	107.1	106.1	106	103.7	101.3	100.7	98.9	95.8	92.2	89.2	86.9