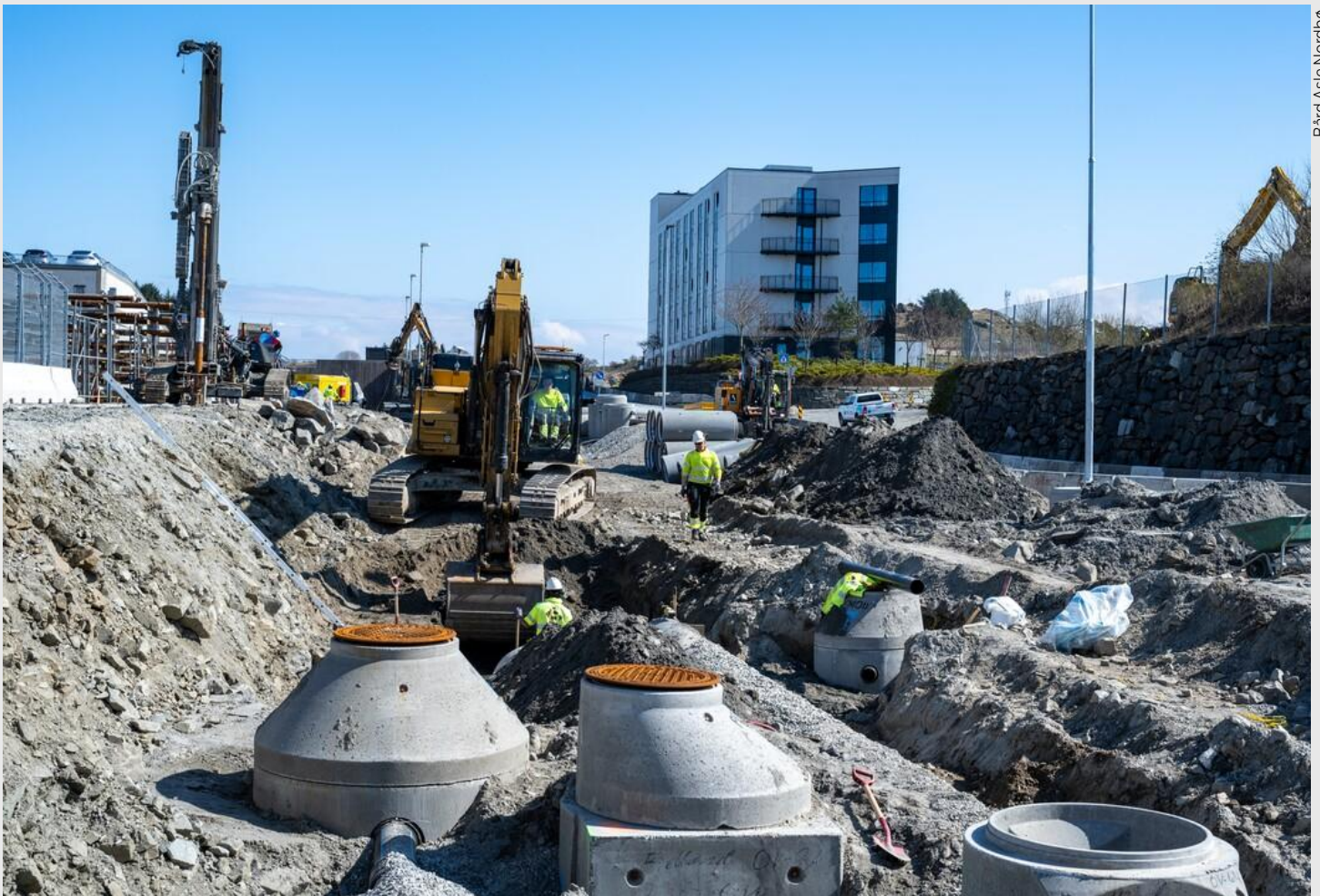


## Fagnotat

# Lavfrekvent støy. Strukturlyd. Vibrasjoner.

TEORETISK GRUNNLAG. UTFORDRINGER.  
LØSNINGER/TILTAK.



# LAVFREKVENT STØY, STRUKTURLYD OG VIBRASJONER

TEORETISK GRUNNLAG. UTFORDRINGER. LØSNINGER/TILTAK.



STATENS VEGVESEN

DIVISJON TRANSPORT OG SAMFUNN  
AVDELING SAMFUNNSUTVIKLING OG KLIMA

## **KLIMA- OG MILJØSEKSJON**

PROSJEKTLEDER: REGINE BENZ, seniorrådgiver  
PROSJEKTEIER: ANNE OGNER, seksjonsleder

UTARBEIDET AV: JAN OLAV OWREN OG PER CHRISTIAN OLAFSSON

FOTO FORSIDE: KAIRUBI SOFIA GAVIDIA-ASCORIO (STATENS VEGVESEN)

# LAVFREKVENT STØY, STRUKTUR- LYD OG VIBRASJONER

FAGNOTAT

## INNHold

1	Hvorfor et fagnotat om lavfrekvent støy?	2
2	Kort om lydtrykk og frekvens	3
2.1	A- og C-veiting	3
3	Forhold som gjør lavfrekvent støy aktuelt	5
4	Beregningsmetode	9
4.1	Utendørs støy	12
5	Avstandsdempning	13
6	Lydreduksjonssegenskaper	13
7	Måling av lave frekvenser innendørs	16
8	dBC-dBA	17
9	Strukturlyd og vibrasjoner	17
9.1	Bygge- og anleggsstøy	18
10	Oppsummering	21

PROJEKTNR.

A272366

DOKUMENTNR.

01

VERSION

01

UTGIVELSESDATO

21.03.2024

BESKRIVELSE

Fagnotat

UTARBEIDET

JOOW

KONTROLLERT

PCOL

GODKJENT

JOOW

## 1 Hvorfor et fagnotat om lavfrekvent støy?

Med lavfrekvent støy menes her lyder som produseres av bensin- og dieselmotorer, anleggsmaskiner, aggregater o.l. og som ofte kan karakteriseres som «du-ring» eller «rumling». Statens Vegvesens arbeid med planlegging, utvikling, drift og vedlikehold av veier har flere kilder til lavfrekvent støy, strukturlyd og vibrasjoner, både knyttet til veitrafikkstøy og til anleggsstøy. Eksempler på situasjoner hvor det kan oppstå klager er i boliger nær trafikkerte veier, eller i boliger som påvirkes av anleggsarbeider med gravemaskiner, peling/spunting, tunnelvifter osv.

SVV har ansvaret for å beregne støynivået ved fasader til boliger og annen støyfølsom bebyggelse langs riksveier i Norge. På bakgrunn av dette beregnes et innendørs nivå for bebyggelsen, og det gjøres eventuelle tiltak for å tilfredstille grenseverdiene i henhold til Forurensingsforskriften [1]. For nye støykilder – eksempelvis veier – eller ombygginger og utvidelser av disse, benyttes grenseverdier fra T-1442 [2]. Her stilles det krav til kvalitetskriterier hvor både innvendige og utvendige støyforhold inngår.

Bakgrunnen for grenseverdiene er forskning på støy og helse. Anbefalingene for utendørs lydnivå er satt på bakgrunn av hva som finnes av kunnskap om hvor mye støy folk tåler å bli utsatt for, uten at de føler seg plaget av støyen. T-1442 opererer med ulike grenser for ulike støykilder. Dette er fordi forskning viser at folk har ulik tålegrad for ulike type støy, f.eks. for flytrafikk og veitrafikk.

Det foreligger mye forskning på dette området, både i Norge og i EU. Støygrensene er lagt på et nivå der de aller fleste ikke vil bli plaget av støy. Likevel er det slik at toleransen for støy varierer stort i befolkningen og noen vil fortsatt være plaget av støy selv om grensene overholdes.

Grenseverdiene for støy er A-veide (dBA). Dette er for at vi skal kunne omtale et lydtryknivå slik at det passer best mulig med hørselen vår. Med A-veing får man en kraftig demping av den lavfrekvente informasjonen til lyden, og et enkelt dBA-nivå vil dermed i enkelte situasjoner kunne «kamouflere» innhold i lave frekvenser.

Det er ikke egne grenseverdier for lavfrekvent støy i Norge. I veilederen til T-1442, M-2061 [3], står det:

«Det finnes i dag mange studier på helse-effekter av støy i arbeidsmiljø og støy fra samferdsel, men det er forholdsvis få studier som dokumenterer hvordan spesifikt lavfrekvent støy påvirker mennesker. Forskning og faglig underlag som knytter eksponering for lavfrekvent støy til negative helse-effekter gir foreløpig ikke et tilstrekkelig grunnlag for fastsetting av internasjonalt anerkjente grenser. Det kan likevel være grunn til å være ekstra oppmerksom på lavfrekvent støy ved etablering av kilder som har et vesentlig innslag av lavfrekvent lyd, etter som det særlig er tre egenskaper ved lavfrekvent støy som problematiske:

1. Den lavfrekvente delen av støyen dempes mindre over avstand enn mellom- og høyfrekvent lyd. Dette betyr at all støy blir mer lavfrekvent etter hvert som avstand til kilden øker, noe som fører til at det lavfrekvente bidraget vil utgjøre mye av støyen på større avstander.
2. Vanlige yttervegg- og takkonstruksjoner har dårlige reduksjonsegenskaper for lavfrekvent støy. Det vil si at det kan være umulig å oppnå tilstrekkelig isolasjon mot lavfrekvent støy innendørs.
3. Tekniske utfordringer knyttet til måling av lave frekvenser innendørs, på grunn av lydets lange bølgelengder og rommenes begrensede dimensjoner.»

I dette notatet utdypes disse tre problemstillingene i kapittel 5, 6 og 7.

Dette fagnotatet er ment til opplæring, og som et utfyllende støttedokument til Statens Vegvesens arbeid med støybehandling hvor det bl.a. beskrives forslag til håndtering av støy med lavfrekvent karakter.

Arbeidet bygger videre på foredraget «Lavfrekvent støy» under konferansen *Bedre bylyd, fagseminar om støy* i september 2023 i Oslo [4]. I tillegg til å beskrive lavfrekvent støy fra vegtrafikk, inkluderer notatet også tematikk knyttet til vibrasjoner og strukturlyd.

## 2 Kort om lydtrykk og frekvens

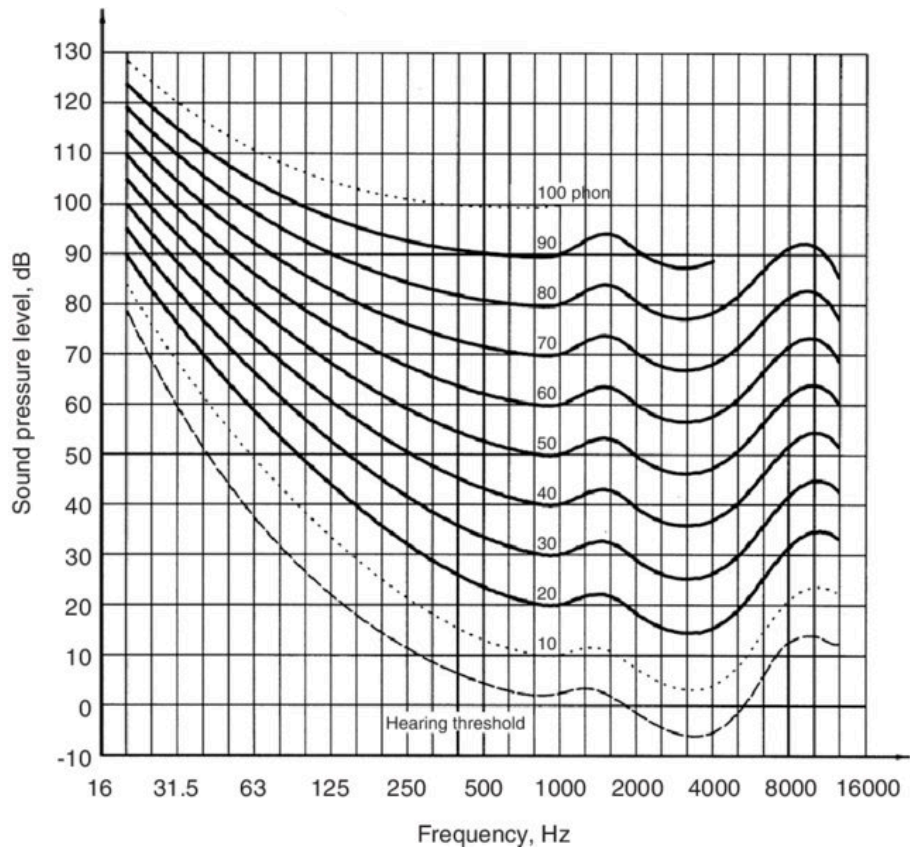
Små variasjoner i atmosfæretrykket oppfattes av hørselsapparatet vårt som lyd. Frekvensen til en lyd er definert som antall svingninger i sekundet, og angis i hertz (Hz). Lave frekvenser oppfattes som mørke toner (basslyd) mens høye frekvenser oppfattes som lyse. Det menneskelige øret kan normalt oppfatte lyder i frekvensområdet fra 20 Hz til 20 000 Hz, men det har høyest følsomhet i området 200–6000 Hz. Det hørbare området varierer med alderen og med hvor stor støybelastning man har vært utsatt for tidligere.

Det menneskelige øret er ikke like følsomt i alle frekvensområder. Ved lave lyder er ørets følsomhet betydelig dårligere ved lave frekvenser enn ved høyere frekvenser. Forskjellene blir mindre jo kraftigere lyden er.

Forholdet mellom det svakeste lydtrykket vi kan høre og smerteterskelen er ca 1:10 000 000. På grunn av denne store variasjonen er lydtrykket «oversatt» til en logaritmisk skala hvor lyden angis som desibel (dB). 0 desibel tilsvarer omtrent den svakeste lyden et menneske kan høre, mens 120 dB representerer smertegrensen.

### 2.1 A- og C-veiling

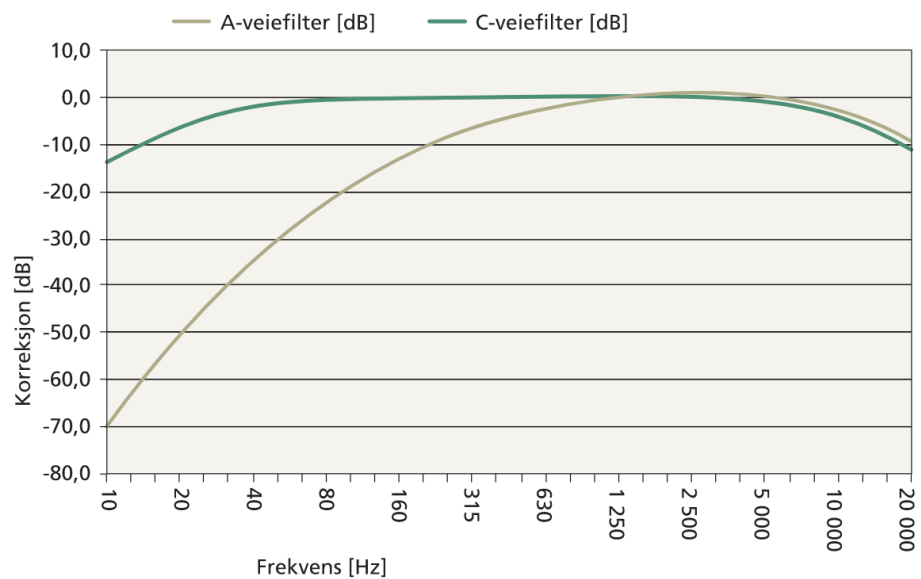
Alle nåværende grenseverdier til støy fra veitrafikk og anleggsarbeider i Norge er A-veide nivåer, dBA. A-veiefilteret simulerer vår oppfattelse av hvor høy lyden er, jf. Figur 1. Ved å gjøre dette legges det vesentlig mindre vekt på de laveste frekvensene enn på de høyere.



Figur 1. De såkalte phon-kurvene som viser ulik sensitivitet ved ulike frekvenser. Hørsels-  
terskelen vist nederst. Figur hentet fra [4]

For å etterligne ørets følsomhet ved beskrivelse av lyd, er det laget standardiserte frekvensfiltre, såkalte *veiefiltre*, som er innebygd i lydmålingsinstrumentene.

C-veiefilteret legger større vekt på de lavere frekvensene. C-veide lydnivåer angis som dBC.

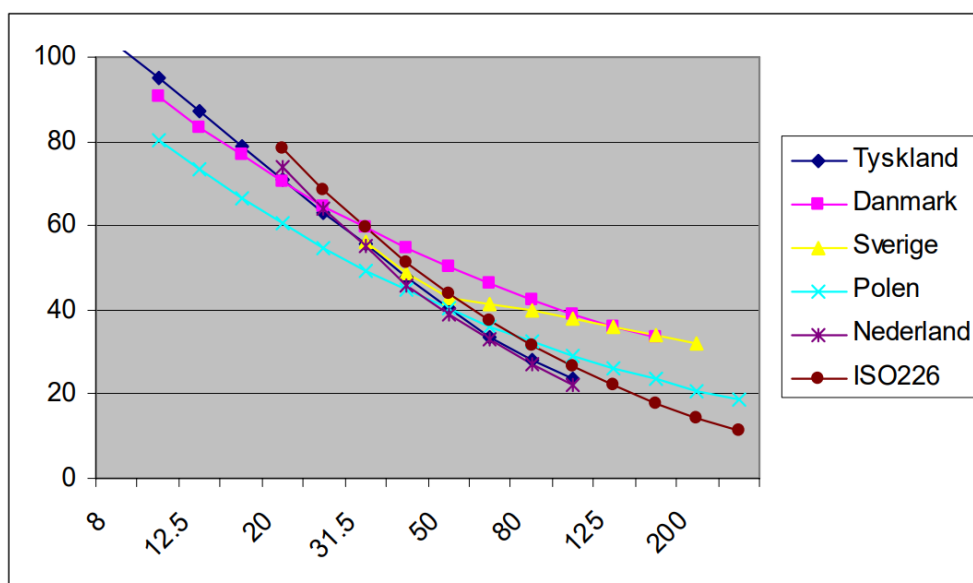


Figur 2. Veiefilter for A- og C-veiing. Figur hentet fra [5]

### 3 Forhold som gjør lavfrekvent støy aktuelt

#### Andre lands regelverk og anbefalinger

Mange land har innført spesiell støyregulering eller tallfestede anbefalinger ved lave frekvenser. Det akseptable lavfrekvente terskelnivået i disse landene er vanligvis svært likt den normale hørselsterskelen. Dette betyr at lavfrekvent støy kan anses som sjenerende så snart det er over høreterskelen.



Figur 3. Andre lands grenseverdier for lavfrekvent støy, sammenlignet med hørselsterskelen. dB-nivåer (y-akse) som funksjon av frekvens [Hz] (x-akse). [6]

#### Økt fokus på lavfrekvent lyd i NS 8175

NS 8175 *Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper* [7] er en norsk standard som benyttes til akustisk prosjektering av ulike funksjonsbygg, og som vises til i Byggteknisk forskrift<sup>1</sup>. I nyeste versjon av standarden NS 8175:2019, er det gjort en innskjerping av kravene med hensyn til lavfrekvent luftlyd- og trinnlydisolasjon mellom boenheter. Dette er bl.a. gjort på bakgrunn av spørreundersøkelser om beboernes tilfredshet til lydforhold i egen bolig [8]. Lydforholdene er målt, og sammenstilling av dataene viste at bruk av et «omgjøringstall» som inkluderer frekvenser ned til 50 Hz ga den tydeligste koblingen til opplevd plage. Støyplagen knyttet til trinnlydnivåer var tilnærmet lik støyplagen knyttet til veitrafikkstøy.

Med hensyn til innendørs støynivå fra tekniske installasjoner (ventilasjonsaggregat, heis o.l.) er det også gjort endringer i forhold til tidligere versjon av NS 8175. For å vurdere om støyen har «spesielt forstyrrende lavfrekvente komponenter», sammenlignes et lydnivå opp mot grenseverdier ved 1/1-oktavbåndene 31,5 Hz, 63 Hz og 125 Hz i tillegg A i standarden.

<sup>1</sup> 2019-versjonen har erstattet 2012-versjonen, men NS 8175:2012 er fremdeles gjeldende i Byggteknisk forskrift (TEK17).

Kravet gjelder ikke støy fra utendørs lydkilder som f.eks. veitrafikk, men dersom vi likevel sammenligner tilleggskravet ut ifra grenseverdien til innendørs støy fra veitrafikk,  $L_{p,A,24h} \leq 30$  dB, skal støyen ikke overgå 59, 46 og 41 dB i ved hhv. 31,5, 63 og 125 Hz. Dette er tilsvarende andre lands grenseverdier, se Figur 3.

Grenseverdi $L_{p,A,T}$ dB	Høyeste tidsmidlede lydtrykknivå i 1/1-oktavbånd $L_{oct}$ dB		
	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz
18	57	41	29
19	58	41	30
20	59	41	31
21	59	41	32
22	59	41	33
23	59	41	34
24	59	41	35
25	59	41	36
26	59	42	37
27	59	43	38
28	59	44	39
29	59	45	40
30	59	46	41
31	59	47	42
32	59	48	43
33	59	49	44
34	59	50	45
35	59	51	46

Figur 4. Tabell fra tillegg A i NS 8175:2019. Vurdering av spesielt forstyrrende lavfrekvente komponenter.  $L_{p,A,T}$  30 dB er markert siden dette er nærmest kravet til innendørs støy fra veitrafikk  $L_{p,A,24h} \leq 30$  dB.

Som en del av arbeidet som ble gjort for å kartlegge beboeres tilfredshet med lydforhold i egen bolig, ble innendørs støy fra utendørs lydkilder vurdert. I rapporten er det gjort en litteraturstudie og funnet en rekke rapporter og artikler. Her refereres det bl.a. til en rapport fra Waye (2006) [9] der det basert på en mengde data vises at lavfrekvent støy underestimeres, og at lavfrekvent støy ikke blir korrekt bedømt med å bruke A-veid lydnivå.

Gjennomgangen av litteraturen tilsier at dagens grenseverdier (NS 8175:2012 klasse C) for innendørs støy fra veitrafikk samsvarer med WHO's anbefalinger og anbefales at videreføres. Det presiseres likevel i rapporten at «*det er betydelig dokumentasjon som tilsier at lydnivå ved lave frekvenser bør få mer fokus på grunn av helsemessige effekter.*» [8]



## Miljø

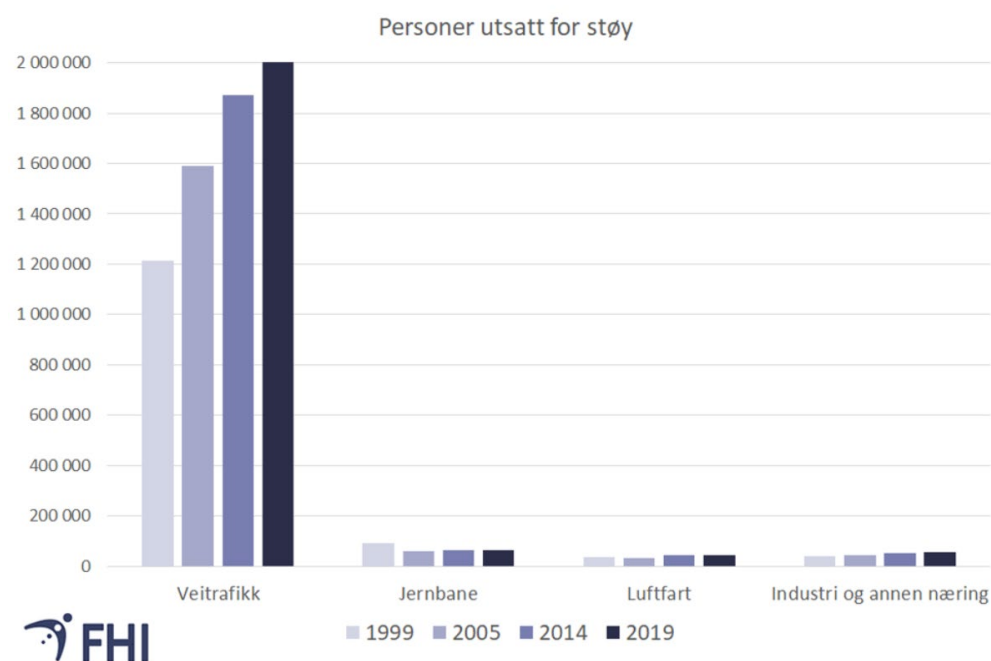
Byggebransjen blir utfordret til å redusere utslippene nå og i årene fremover, og tunge materialer som f.eks. betong kan i større grad bli erstattet ut med lettere materialer med lavere CO<sub>2</sub>-avtrykk. Lettere materialer har dårligere lydisolasjon i lave frekvenser enn tyngre. Lettere materialer i fasadeoppbygninger kan gi mer overføring av lavfrekvent støy innendørs.

## Utvikling av støyforurensning i Norge

Støy er den miljøfaktoren som rammer flest mennesker i Norge, og antallet personer som er utsatt for støy øker. I 2019 var det om lag 2,1 millioner som var utsatt for utendørs støynivå over  $L_{den}$  55 dB i gjennomsnitt ved boligen (SSB, 2021) [10].

Støy fra vegtrafikk er den klart dominerende kilden til støy i samfunnet. Antall utsatte for vegtrafikkstøy har også økt betydelig i løpet av de siste 20 årene.

$L_{den}$ -verdien er A-veid og sier oss ikke mye om det lavfrekvente innholdet i støyen, men det kan det forventes økt sjenanse for lavfrekvent støy desto høyere  $L_{den}$ -nivå på grunn av at både utvendig støyskjerming og fasadeisolasjon vil ha begrensninger i dette frekvensområdet.



Figur 5. Antall støyutsatte over  $L_{den}$  55 dB ved bolig fra forskjellige støykilder. 1999, 2005, 2014 og 2019.

### Sammenhenger mellom støy og helse

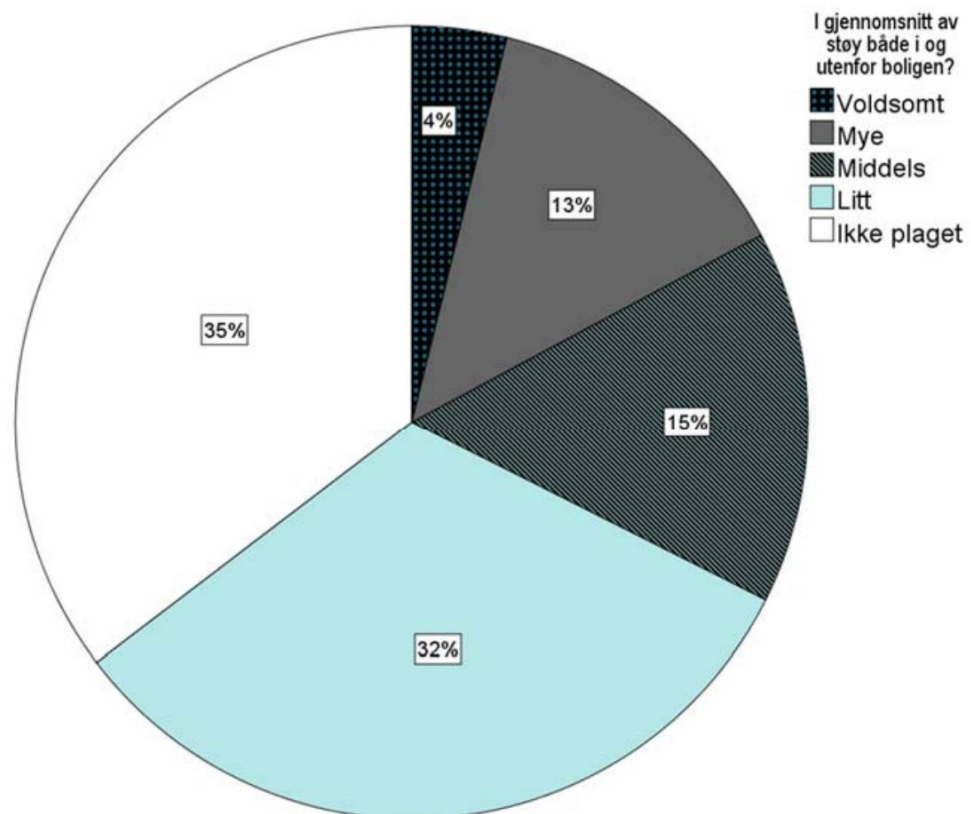
Det er økende kunnskap om langtidsvirkninger av transportstøy og hjerte-karsykdom og diabetes. Ifølge Folkehelseinstituttet bidrar støyplage og søvnforstyrrelser med det største helsetapet. [11]

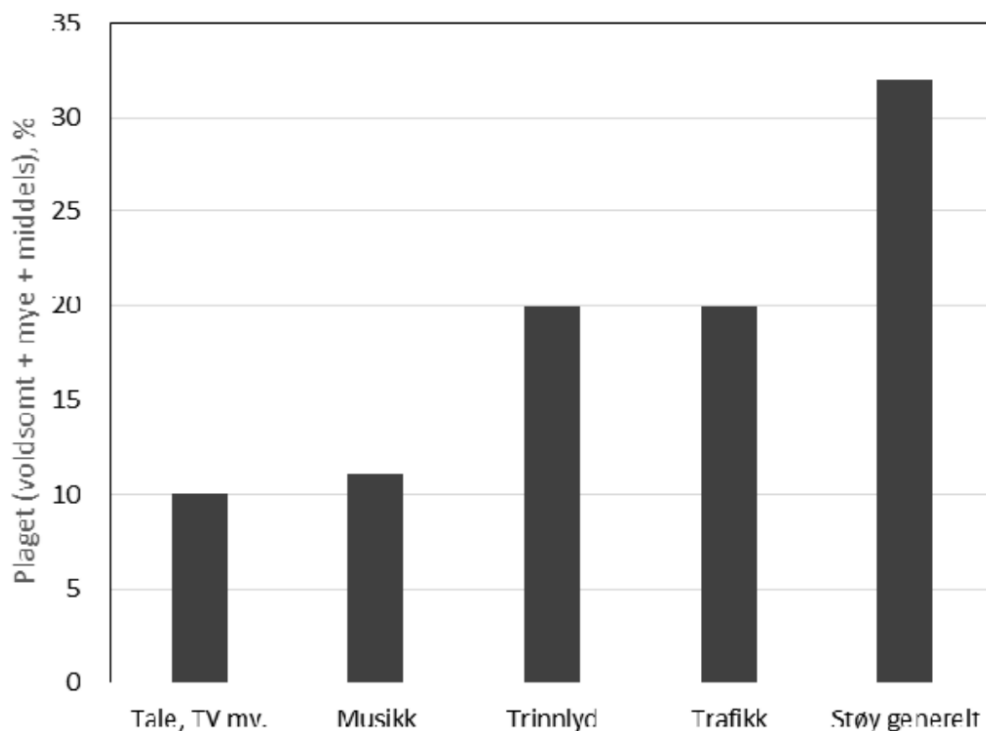
Heller ikke denne forskningen omtaler lavfrekvent støy spesifikt, men det vises til en direkte og en indirekte bane til stressindikatorer som videre kan gi økt risiko for hjerte-karsykdommer. For begge disse banene nevnes søvnforstyrrelser og dette bør derfor forebygges. For søvnforstyrrelser vil trolig lavfrekvent støy dominere på grunn av at fasader og vinduer i soverrom vil ha begrenset lydisolasjon ved disse frekvensene.

### Opplevd plage

Fra kartleggingen om beboernes tilfredshet med lydforhold i egen bolig [8] scorer veitrafikk høyt for de som er «voldsomt», «mye» og «middels» plaget. Denne gruppen utgjør 32 % av utvalget i undersøkelsen.

Lavfrekvent støy er ikke nevnt spesifikt i kartleggingen, men på grunn av de tre punktene nevnt innledningsvis i dette notatet er det grunn til å tro at dette kan ha en stor innvirkning siden det både er vanskelig å håndtere mtp. utendørs støy på balkong, terrasse o.l., og innendørs.

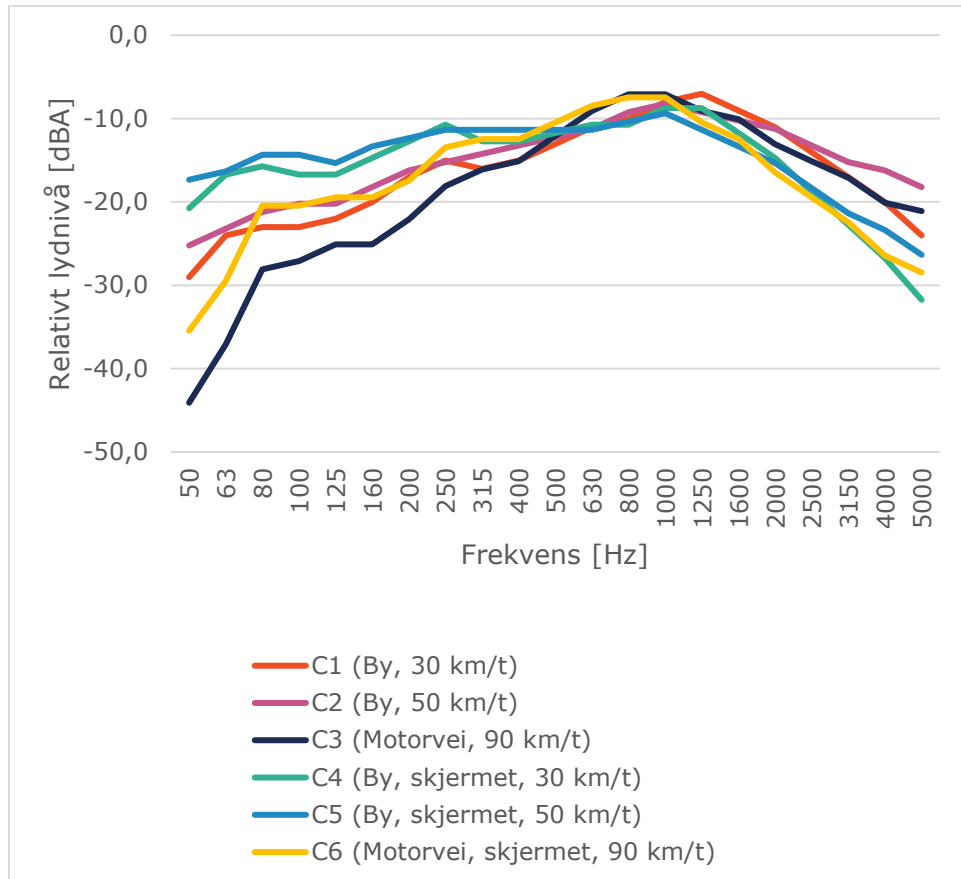




Figur 6. Opplevd støyplage i nye boliger [8] fordelt på støykilder. 20 % oppgir plage knyttet til trafikkstøy .

## 4 Beregningsmetode

Dagens metode for vurderinger av innendørs støy baseres på et beregnet utvendig nivå (ett-talls verdi). Som frekvensspekter, dvs. støyens innhold, benyttes standardiserte fordelinger basert på hva som best beskriver situasjonen. Disse er for hastigheter 30 – 50 km/t i by, eller for motorvei (90 km/t). Det er spektra for uskjermet og skjermet situasjon. Disse er vist i Figur 7.



Figur 7. Frekvensspektra fra Håndbok 47 (merk: A-veide verdier, dBA). Y-aksen viser her et relativt lydnivå. Spekteret som best passer en støysituasjon «oppjusteres» til det gir riktig utendørs støynivå.

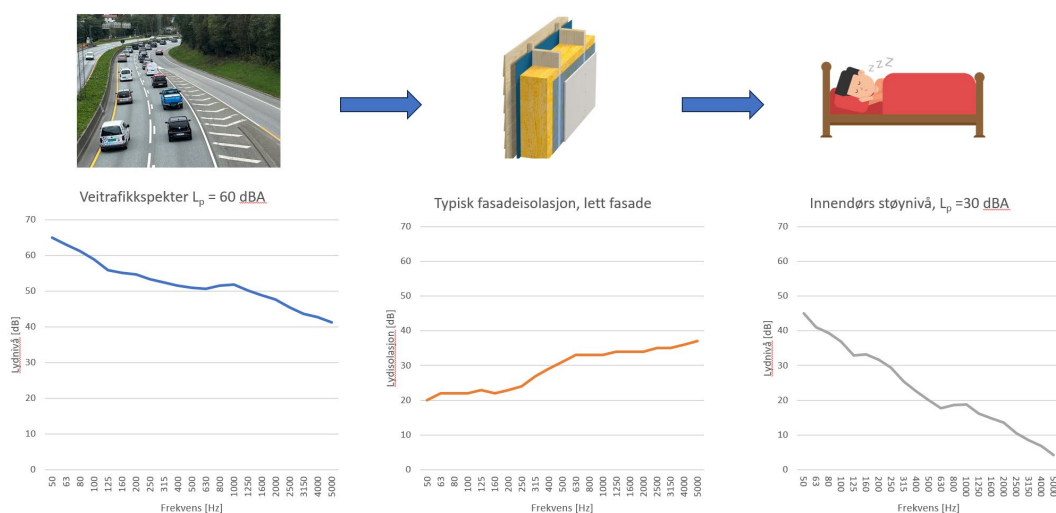
Med et beregnet utendørs støynivå og en egnet fordeling i frekvens, vil en kartlegging av egenskaper til fasader, vinduer og ventiler gi et beregnet innendørs støynivå. Det benyttes da ofte måledata fra datasamlingen i Håndbok 47 fra Norges Byggforskningsinstitutt. Her oppgis laboratoriemålt lydisolasjon og korreksjonsverdi (C-korreksjon) for de ulike situasjonene nevnt over.

En yttervegg som vist under har en målt lydisolasjon i laboratorium på  $R_w = 47$  dB. For veitrafikkstøy der kjøretøyene kjører i 50 km/t tilsvarer det en lydisolasjon for denne type støy på  $47 - 8 = 39$  dB. C2 omtales som regel  $C_{tr}$  og benevnelsen her blir dermed  $R_w + C_{tr} = 39$  dB.

Kategori: <b>Yttervegger</b>	Konstruksjonsnr: 222	Ref.: [30]																													
Beskrivelse 2x13 gips. PE-folie. 148 mm trestender m/steinull. Plastfiberduk. Luftet kledning																															
$R_w + C_{tr} = 39$ dB Lydreduksjonstall, NS-EN ISO 717- $R_w = 47$ dB		Spektr. korr. 100-3150 Hz $C = -2$ <b><math>C_{tr} = -8</math></b>																													
		Spektr. korr. 50 - 5000 Hz $C = -2$ $C_{tr} = -12$																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Støytype/korreksj</th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> <th>C4</th> <th>C5</th> <th>C6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>VEG</td> <td>-6</td> <td>-8</td> <td>-3</td> <td>-10</td> <td>-13</td> <td>-8</td> </tr> <tr> <td>FLY</td> <td>-11</td> <td>-8</td> <td>-6</td> <td>-6</td> <td>-8</td> <td>-5</td> </tr> <tr> <td>TOG / BANE</td> <td>-2</td> <td>1</td> <td>-1</td> <td>1</td> <td>-3</td> <td>-3</td> </tr> </tbody> </table>				Støytype/korreksj	C1	C2	C3	C4	C5	C6	VEG	-6	-8	-3	-10	-13	-8	FLY	-11	-8	-6	-6	-8	-5	TOG / BANE	-2	1	-1	1	-3	-3
Støytype/korreksj	C1	C2	C3	C4	C5	C6																									
VEG	-6	-8	-3	-10	-13	-8																									
FLY	-11	-8	-6	-6	-8	-5																									
TOG / BANE	-2	1	-1	1	-3	-3																									

Figur 8. Eksempel på konstruksjon i Håndbok 47

Denne omregningen med ettallsverdi for C-korreksjon gjelder ned til 100 Hz. Tas frekvenser ned til 50 Hz med i betraktningen blir lydisolasjonen dårligere. Grunnen til det er at det er et høyt frekvensinnhold fra trafikk i området 50 – 100 Hz kombinert med at fasaden har dårligere lydisolasjonsegenskaper så langt ned i frekvens. For eksempelet i Figur 8 er forskjellen 4 dB dårligere om man regner med frekvensene ned til 50 Hz.



Figur 9. Innvendig støy er et resultat av utvendig nivå og frekvens og bygningskonstruksjonens lydisolerende egenskaper. Trafikkspekter (t.v.) minus lydisolasjonen til en fasade (midt) gir et innvendig spekter (t.h.)

## 4.1 Utendørs støy

I dag benyttes stort sett beregningsmetoden Nord96 for å kartlegge støyutbredelse fra veitrafikk. Denne ble utviklet av samferdselsmyndighetene i et samarbeidsprosjekt mellom de nordiske landene på slutten av 1970-tallet. Versjonen som benyttes i dag er den tredje versjonen og ble ferdig i 1996. Metoden baseres i stor grad på empiriske data fra nordiske målinger utført tidlig på 1970-tallet.

I EUs støydirektiv går det frem at støykartleggingen som skal gjøres av alle land i Europa hvert femte år skal gjennomføres med en felles beregningsmetode. Den Europeiske kommisjonen utviklet derfor en felles beregningsmetode Cnossos. Formålet med Cnossos-EU er å sikre en felles støy metodikk i Europa slik at man får sammenlignbare resultater fra alle EU-land.

Da EU vedtok at Cnossos skulle brukes til støykartlegging ga Miljødirektoratet og Statens vegvesen Sintef i oppdrag å kartlegge ulikheter mellom Cnossos og dagens beregningsmetoder. Målet var å undersøke hvilke konsekvenser endring av beregningsmetode vil ha for støyberegninger i Norge. I undersøkelsen kom det frem at det var til dels store forskjeller i beregningsresultater, og at det var behov for å samordne og standardisere beregningene. Arbeidet viste også at Cnossos er en mer detaljert og nøyaktig metode enn dagens mest brukte beregningsmetode (Nord96), samtidig som Cnossos er mer brukervennlig og etterprøvable enn det mulige alternativet Nord2000. [12]

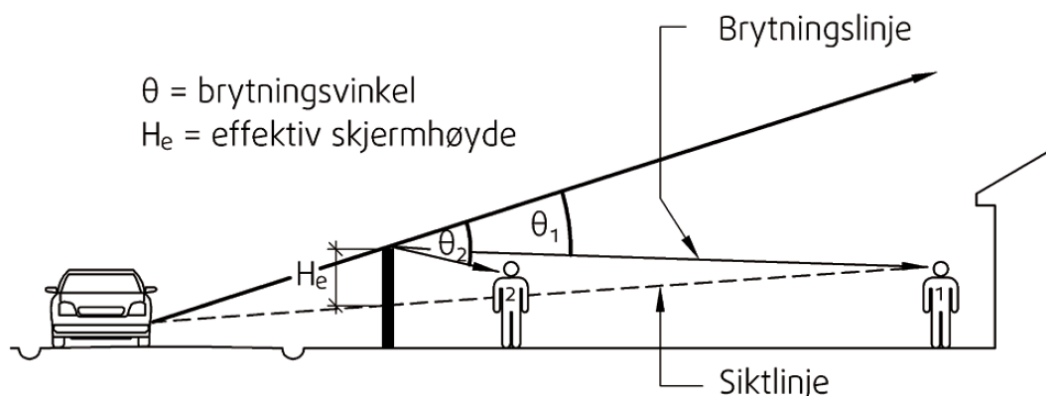
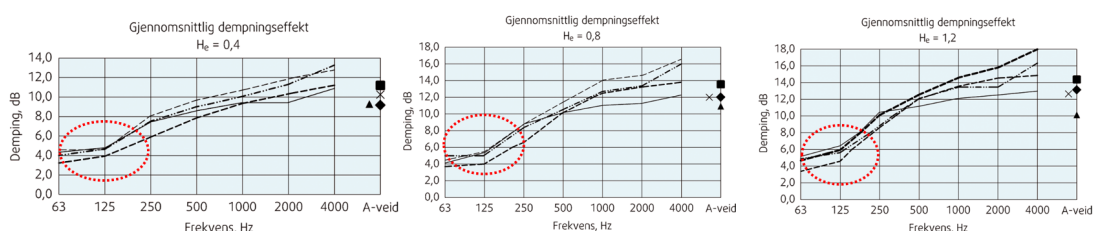
Ved sammenligningen av beregningsmetodene ble noen svakheter ved Cnossos-EU avdekket. Disse er knyttet til generell bruk etter norsk regelverk, bl.a. at frekvensoppløsningen er i 1/1-oktavnband. For å beregne innendørs støy bør frekvensoppløsningen være i 1/3-oktavnband. Sintef har i arbeidet beskrevet de nødvendige utvidelsene for å kunne regne med 1/3 oktavnband.

Dersom Cnossos etter hvert tas i bruk som beregningsmetode for veitrafikkstøy også i Norge, med frekvensoppløsning i 1/3-oktavnband, vil det være mulig å regne ut relativt presise utvendige spektra for støyutsatt bebyggelse. Det kan da bli aktuelt å vurdere de laveste frekvensbandene enkeltvis.

## 5 Avstandsdempning

Lavfrekvent lyd har lengre bølgelengde sammenlignet med høyfrekvent lyd. Dette gjør at lavfrekvent lyd spres mindre og taper mindre energi når den beveger seg gjennom luft på lang avstand sammenlignet med høyfrekvent lyd.

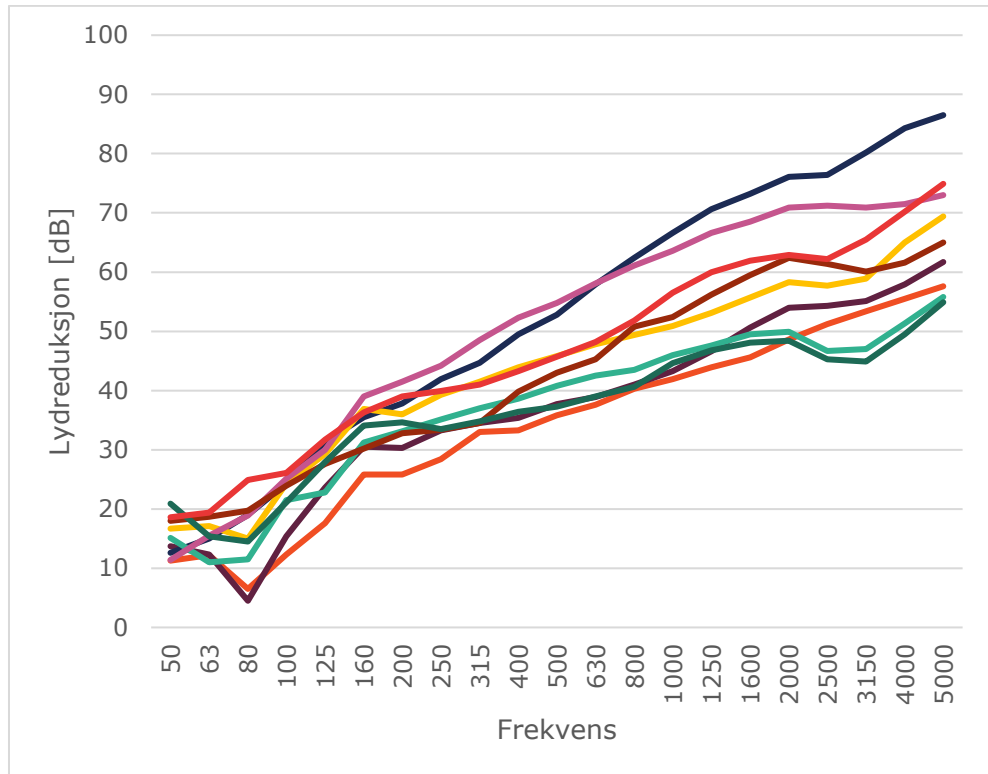
I tillegg blir lavfrekvent lyd mindre absorbert av skjermer og naturlige hindringer som trær og bygninger. Derfor kan lavfrekvent lyd være mer hørbar på lang avstand sammenlignet med høyfrekvent lyd. Dette er bl.a. godt eksemplifisert i Byggforsk detaljblad 517.521 *Utendørs skjermer mot støy. Planlegging og prosjektering* hvor en dobling og tredobling av en støyskjermes effektive skjermhøyde gir en merkbar endring i det A-veide nivået på andre siden av skjermen, men endringen har svært liten effekt ved lave frekvenser.



Figur 10. Effekt av økning av effektiv skjermingshøyde. Lavfrekvent støy reduseres betraktelig mindre enn høyere frekvenser.

## 6 Lydreduksjonssegenskaper

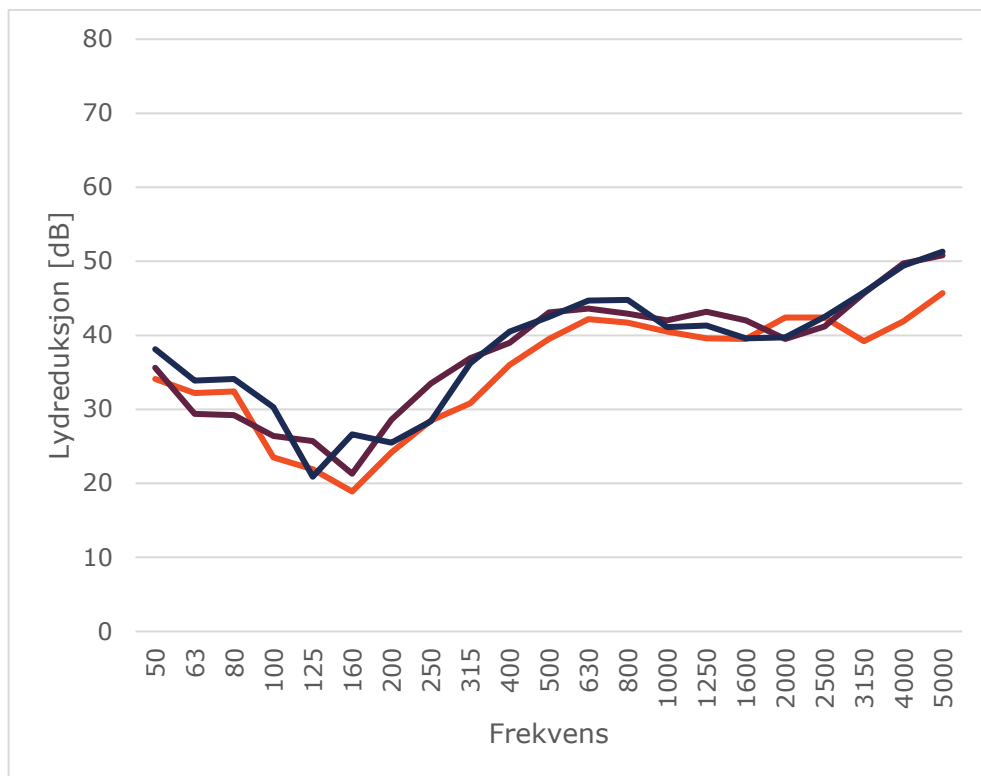
Eneboliger, rekkehus og tomannsboliger bygges som regel opp med en lett bindingsverkskonstruksjon. En slik konstruksjon vil ha en hulromsresonans som i stor grad bestemmes av flatevekten til utvendige og innvendige platelag, og avstanden mellom disse. Det er ikke uvanlig at denne ligger i området 50 – 80 Hz. Rundt resonansfrekvensen svinger hele veggen med den påtrykte frekvensen, og det avstråles dermed mye lydenergi fra den ene til den andre siden av konstruksjonen. Figuren under viser eksempler på lydisolasjonen til noen typiske lette trefasader.



Figur 11. Eksempler på lydisolasjonen til noen nyere bindingsverksvegger. Lav lydisolasjon ved 50 – 80 Hz skyldes hulromsresonans. Måledata fra COWI og [5].

Tolags vinduer oppfører seg på samme måte, men her er hulromsresonansen høyere siden avstanden mellom glassene er liten. Måledata viser ofte en reduksjon i lydisolasjonen i området 100 – 250 Hz. Figuren under viser eksemplær på noen typiske tolags-vinduer.

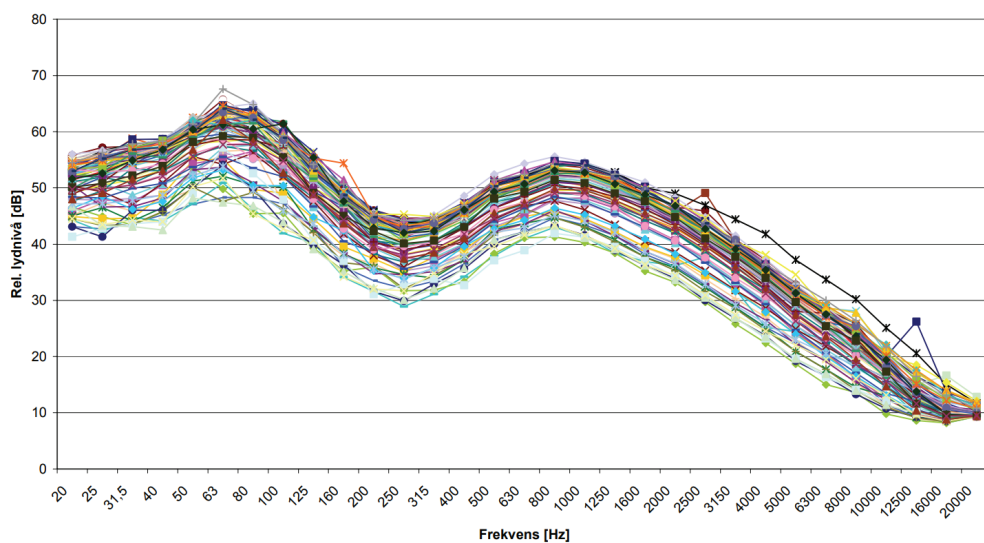




Figur 12. Eksempler på lydisolasjonen til tolags vinduer. "Dippen" i kurven rundt 100 - 160 Hz skyldes hulromsresonans. Måledata fra COWI og [5].

Frekvensspektra for veitrafikk har som regel en topp knyttet til motorstøy i området 50 - 100 Hz og en annen topp knyttet til dekkstøy rundt 1000 Hz.

Høyt lydnivå kombinert med lav lydisolasjon for fasader og vinduer fører til hørbar lavfrekvent støy fra veitrafikk innendørs.



Figur 13. Typisk veitrafikkspekter for trafikk i 60 km/t. Figur hentet fra [13]. Hver graf viser målingens lydnivå som funksjon av frekvens. Spektraene kan sammenlignes med et oppjustert C2-spekter fra Figur 7, men er der vist som A-veide nivåer.

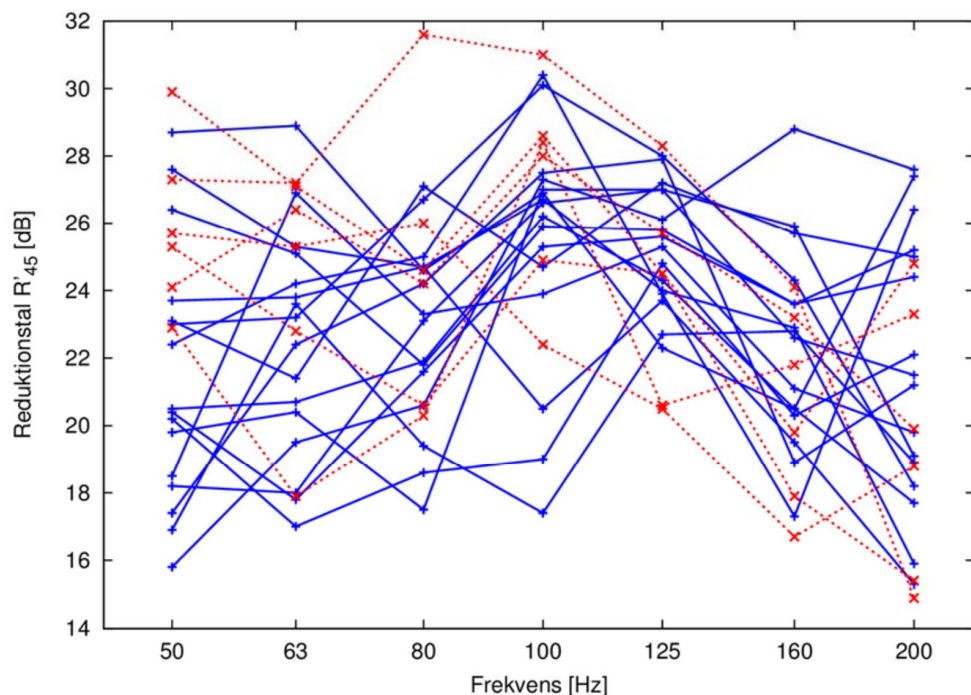
## 7 Måling av lave frekvenser innendørs

I små rom kan dimensjonene til rommet «passe» lengden til lydbølgene som den lavfrekvente lyden har. En 50 Hz tone har f.eks. en bølgelengde på rundt 7 meter, så et rom som er 3,5 meter bredt vil kunne få stående bølger i denne retningen. Dette fører til store nivåvariasjoner til lyden ved ulike posisjoner i rommet, og det kreves derfor mange målepunkter for å vurdere et midlet støynivå i rommet. Forskjellene i lydtryknivå i et lavfrekvent frekvensbånd mellom to punkter i et normalt innredet rom kan være 10-15 dB.

Det finnes flere metoder som beskriver hvordan man utfører målinger i rom for å få repeterbare og representative resultater ved lave frekvenser. I prinsippet tar alle metoder sikte på å beregne gjennomsnittsverdien av lydtrykket i rommet og er basert på flere måleposisjoner, hvorav en eller flere skal være nær hjørnene av rommet. For alle metoder er det også slik at måleusikkerheten øker ved lave frekvenser.

Utfordringen med målinger av lave frekvenser er godt illustrert i figuren under. Her er det visst målinger av fasadeisolasjonen ved 50 Hz til 200 Hz for 22 fasader i boliger bygget fra 1961 til 1992. Blåe linjer representerer trekonstruksjoner, og røde mur- og betongkonstruksjoner [15].

Forskjellene mellom ulike fasader er store, og den samme fasaden kan ha relativt gode verdier for enkelte 1/3-oktavnband, men svært dårlige på andre.



Figur 14. Målt reduksjonstall i 1/3 oktavnband fra 50 Hz til 200 Hz for 22 fasader i boliger bygget mellom 1961 og 1992.

## 8 dBC-dBA

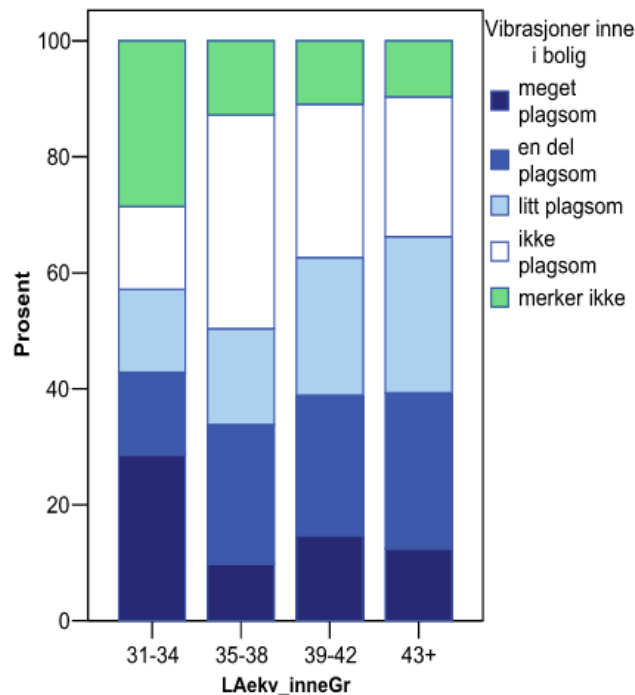
I flere av studiene som er gjennomgått i forbindelse med utarbeidelsen av dette fagnotatet er det vist til en metode som, ut ifra kjente parametere, kan bedømme dominansen av lavfrekvent støy. Denne benytter en differanse mellom C-veid og A-veid nivå for å vurdere om det lavfrekvente bidraget er stort.

Det finnes anbefalinger der hvor en differanse mellom A- og C-veid nivå på 10 - 20 dB er foreslått som en indikator. Dersom differansen overskrides legges det da et tillegg på rundt 5 dB til det A-veide nivået før det sammenlignes med grenseverdien. Fordelen med en slik metodikk er at det er forholdvis enkelt å gjøre utregningen, enten ut ifra målte eller beregnede nivåer, så lenge man har et frekvensspekter å ta utgangspunkt i.

## 9 Strukturlyd og vibrasjoner

Strukturlyd og vibrasjoner inngår også i tematikken knyttet til lavfrekvent lyd. Med strukturlyd menes lyd som forplantes via konstruksjoner og ikke direkte gjennom luften. En konstruksjon kan eksiteres av høye luftbårne lydnivåer, eller ved en direkte kraftpåvirkning som ved boring og pigging. Konstruksjonen vil da avstråle lydenergien til luften rundt. Strukturlyd fra veitrafikk er sjeldent et problem, bortsett i tilfeller med f.eks. piggedekk i en parkeringskjeller der det er boliger i etasjen over og stive koblinger som overfører lydenergien oppover i bygget. Andre eksempler vi har erfaring med er løse kumlukk eller brå overganger fra ramper til parkeringsanlegg der det oppstår slaglyder. Tilsvarende er vibrasjoner/rystelser fra veitrafikk erfaringsmessig et mindre problem, bortsett fra i tilfeller der det er ujevnheter i veibanen. For bygge- og anleggsstøy er strukturlyd og vibrasjoner en svært aktuell problemstilling.

I et arbeid fra 2006 gjennomført av TØI og FHI, er det kartlagt plagegrad for «vibrasjoner inne i bolig» [14]. Her er det noe overraskende over 30 % (N = 624) som angir «meget» og «en del» plaget av vibrasjoner når innendørs støy-nivå er  $L_{p,A,24h}$  31 – 42 dB. Tilsvarende tall gjelder for boligene i utvalget med nivåer over grensen i Forurensingsforskriften,  $L_{p,A,24h}$  42 dB.



Figur 15. Andel som er plaget av vibrasjoner i boligen [12]

Etter støytiltak ble andelen som var «meget» plaget redusert fra rundt 20 til 15 %. Andelen som var «en del» plaget ble redusert noe mer.

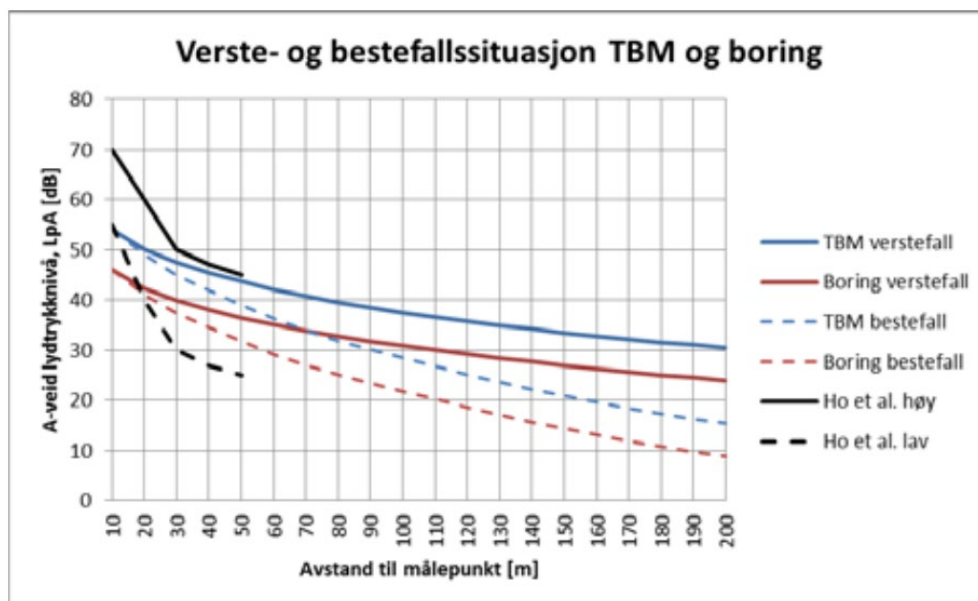
At andelen ikke ble redusert ytterligere kan muligens skyldes at tiltakene som er gjort bare har innvirkning på høye frekvenser.

## 9.1 Bygge- og anleggsstøy

Ifm. bygge- og anleggsarbeid er det høyst aktuelt å vurdere både strukturlyd og vibrasjoner, men det finnes per i dag ingen standardisert beregningsmetode for å lage slike prognoser. Det er mulig å teoretisk regne ut vibrasjoner som oppstår basert på informasjon om kraft fra f.eks. pigging og antagelser om tapsfaktorer frem til avstrålt støy inne i bygningen, men dette gir svært usikre resultater.

Fra tunnelprosjekter foreligger det en del målinger fra boring som danner grunnlag for å kunne si noe om et forventet lydtryknivå ut ifra opplysninger om overdekning og fundamentering av bygg. Utgangsnivå og avstandsdeмпing vil imidlertid være avhengig av faktorer som bergartens densitet, bølgehastighet o.l., og slike beregninger bør alltid verifiseres med måledata.

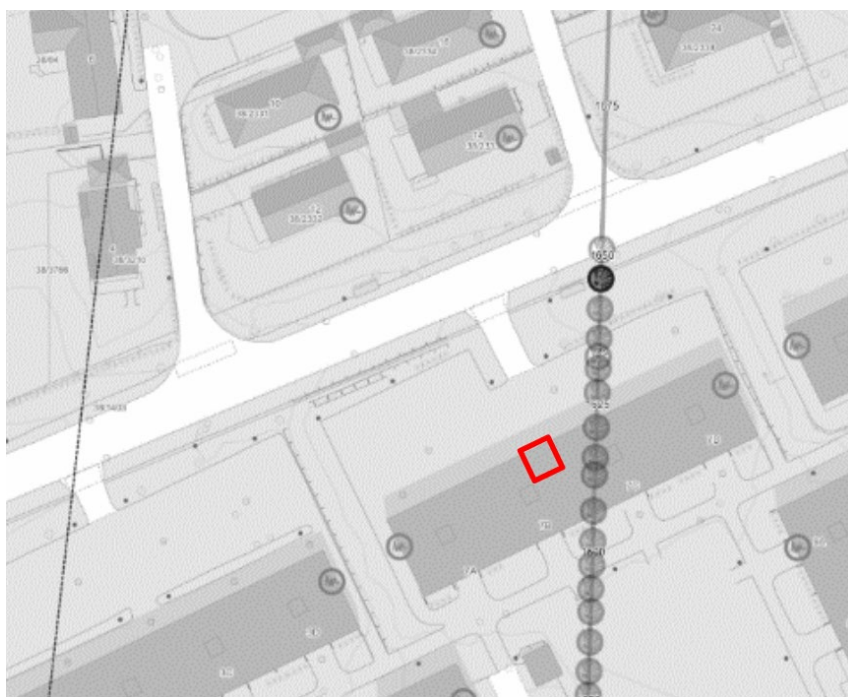
Som et utgangspunkt kan det gjøres vurderinger ut ifra Figur 16. Det er her vist til tunnelboremaskiner og annen boring. For pigging vil nivåene være 5 – 10 dB høyere på korte avstander.



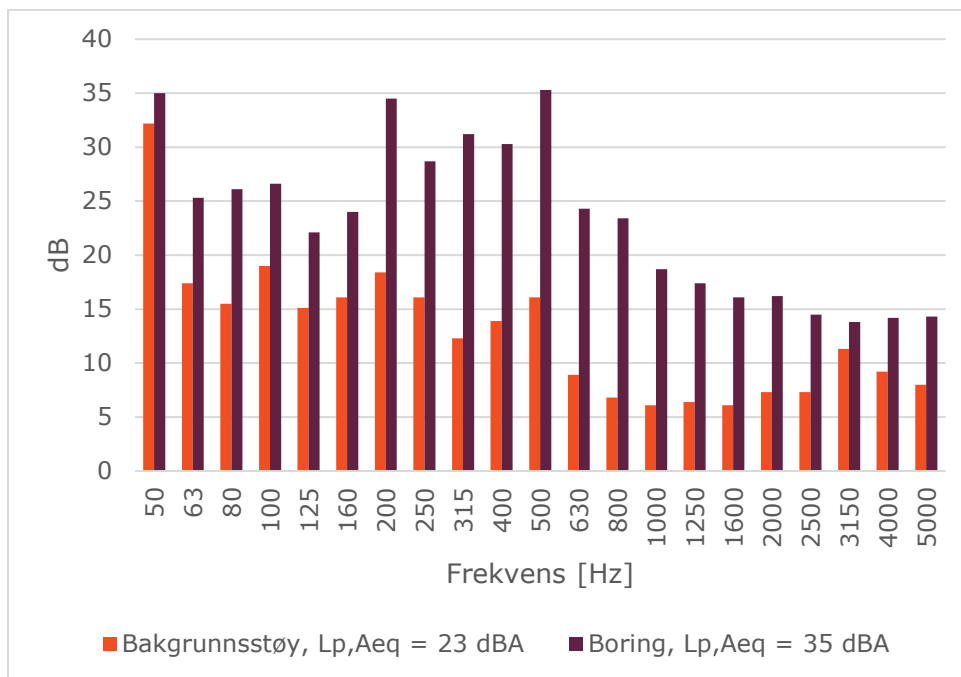
Figur 16. Estimering av strukturstøy ifm. tunnelboremaskin og boring [16]

Under er et eksempel fra en måling i en bolig fundamentert på fjell der det pågikk boring med ca 40 m overdekning. Nivået på 35 dBA samsvarer godt med "boring bestefall" fra figuren over.

Som frekvensspekteret i Figur 18 viser, er ikke denne typen støy utpreget lavfrekvent siden lydenergien forplantes via fjell og bygningskropp med lite energitap.

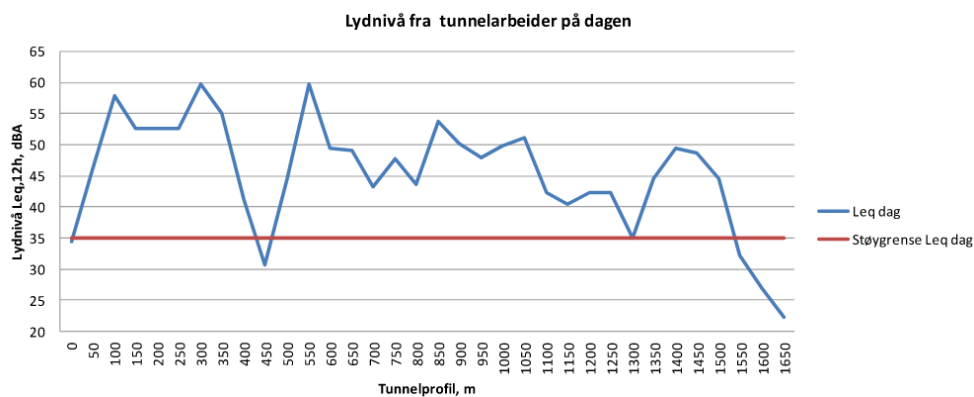


Figur 17. Boring ifm. etablering av en tunnel under en boligblokk. Sirkel representerer forventede posisjoner for boreriggen i løpet av en tidsperiode.

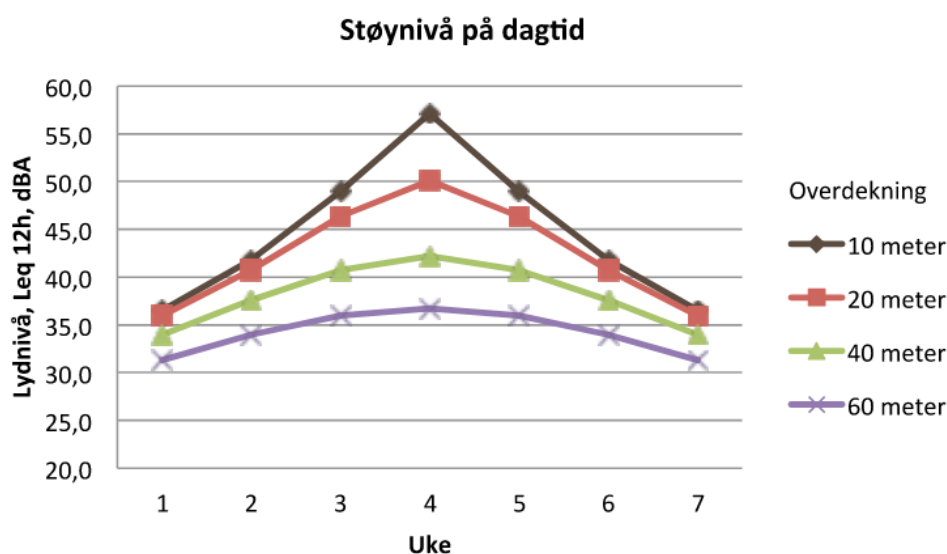


Figur 18. Målt frekvensspekter fra boring av tunnel under bolig

Et typisk støyforløp kan se ut som i figurene under, der det vil være periodevis høye støynivåer som øker etter hvert som avstanden mellom bolig og borerigg blir kortere.



Figur 19. Eksempel på støyforløp ifm. tunnelarbeider



Figur 20. Eksempel på tidsforløp over flere uker der støyen gradvis øker før den reduseres igjen avhengig av avstanden mellom bolig og borerigg.

## 10 Oppsummering

Basert på en gjennomgang av tematikken lavfrekvent støy ifm. Statens Vegvesens arbeider, anbefales det at dette er et område som bør få mer oppmerksomhet.

Det kan være tilfeller der dagens grenseverdier ikke fanger opp støyplage knyttet til lavfrekvent støy innendørs. En foreløpig anbefaling for framtidig støyforvaltning er derfor å gjøre beregninger av innendørs støy ned til 50 Hz med dagens metoder. Dette vil kunne gjøre det vanskeligere å ivareta støykrav ved utbygging av- eller ved vei. I videre arbeider bør det innhentes mer informasjon om plagegrad knyttet til denne type støy slik at fasadetiltak i større grad kan gi en opplevd forbedring av lydforholdene.

En mulig praksis for å hensynta lave frekvenser i større grad enn dagens støyregelverk er å innføre vurderinger av differansen mellom C- og A-veide ekvivalentnivåer. Fremtidige målinger og beregninger av innendørs støynivå bør inneholde informasjon om C-veide nivåer i tillegg til A-veide nivåer slik at en passende målsetning for denne differansen kan finnes.

## Referanser

- [1] Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften)
- [2] RETNINGSLINJE FOR BEHANDLING AV STØY I AREALPLANLEGGING, T-1442/2021
- [3] Veileder om behandling av støy i arealplanlegging  
<https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/forurensning/stoy/for-myndigheter/veileder-om-behandling-av-stoy-i-arealplanlegging/>
- [4] <https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/klima-miljo-og-omgivelser/stoy-fra-trafikk/bedre-bylyd/>
- [4] [https://www.researchgate.net/publication/6854810\\_What\\_is\\_infrasound](https://www.researchgate.net/publication/6854810_What_is_infrasound)
- [5] Statens vegvesen, håndbok V135 - Fasadeisolering mot støy
- [6] SINTEF, Truls Gjestland, Background noise levels in Europe (2008)  
[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Background\\_noise\\_report.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Background_noise_report.pdf)
- [7] NS 8175:2019 Lydforhold i bygninger - Lydklasser for ulike bygningstyper
- [8] Lydforhold i boliger. Evaluering av byggtekniske krav til lydforhold. 2016. Multiconsult, TØI, Sintef.
- [9] Waye, K.P. (2006). Health aspects of low frequency noise. Proceeding inter.noise 2006. Honolulu Hawaii, USA, 3-6 December 2006.
- [10] Støy, helseplager og hørselstap i Norge <https://www.fhi.no/he/folkehelse-rapporten/miljo/stoy/?term=>
- [11] FHI, Gunn Marit Aasvang, Støy og helse – død eller bare pine? Bedre bylyd – fagseminar om støy, 20.09.2023  
[https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/miljo-og-omgivelser/vegtrafikkstoy/aasvang\\_fhi-bedre-bylydforum-20.09.2023.pdf](https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/fokusomrader/miljo-og-omgivelser/vegtrafikkstoy/aasvang_fhi-bedre-bylydforum-20.09.2023.pdf)
- [12] Miljødirektoratet - Ny metode for utendørs støyberegning <https://www.miljodirektoratet.no/hoeringer/2023/mai-2023/ny-metode-for-utendørs-stoyberegning/>
- [13] Støyspektra fra veitrafikk, Killengreen, masteroppgave, 2006
- [14] Trafikkstøy i boliger. TØI-rapport 8362/2006
- [15] SP Rapport 1995:39 (Clara Göransson 1995)
- [16] Støy fra bygge- og anleggsvirksomhet. Teknisk rapport nr. 15. Norsk Forening for fjellsprengningsteknikk. Mars 2014.



# Lavfrekvent støy

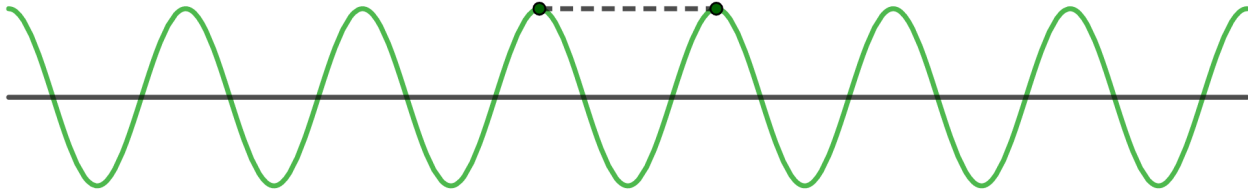
## Teori og eksempljer

Jan Olav Owren

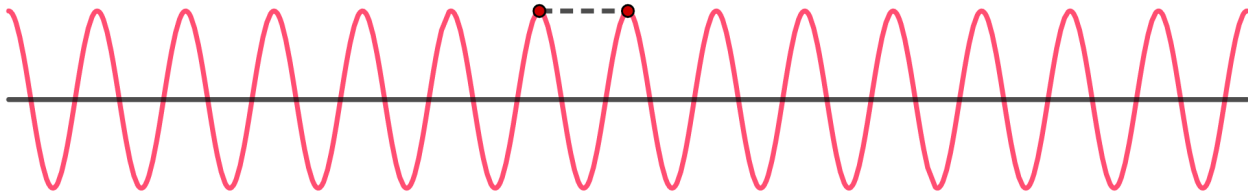
COWI

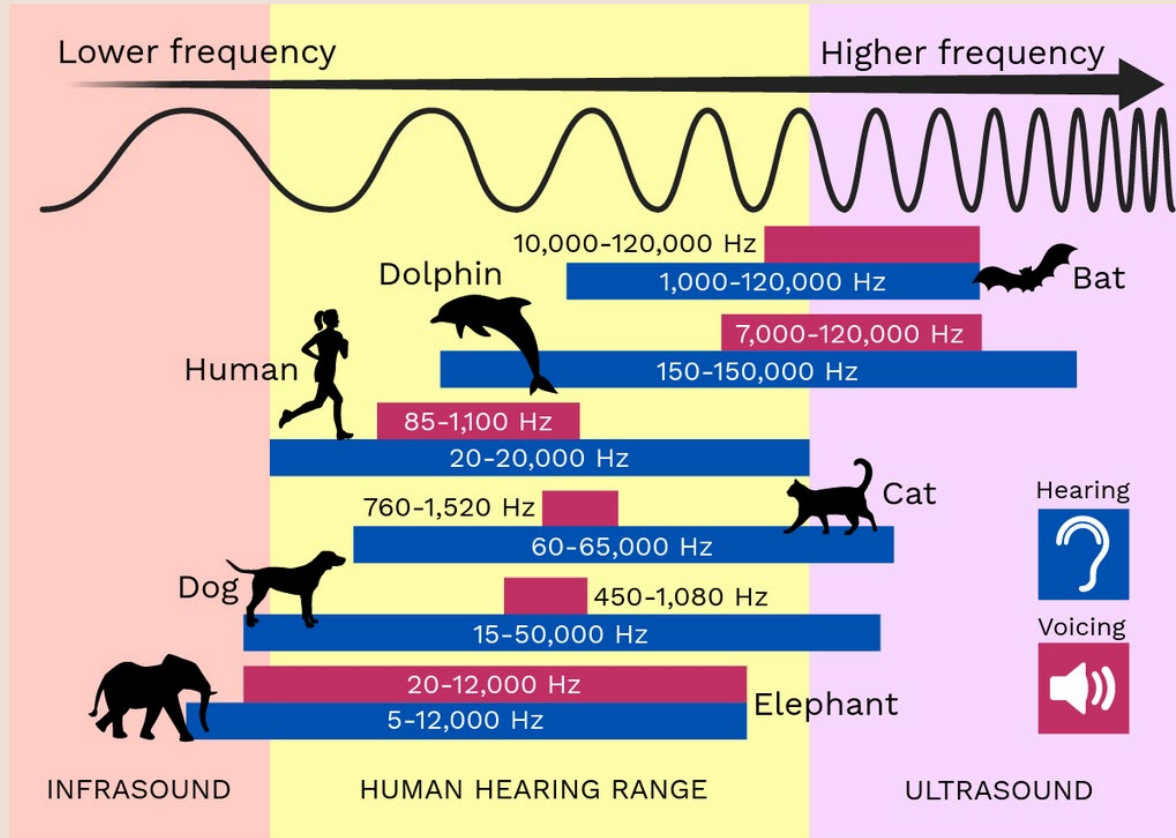


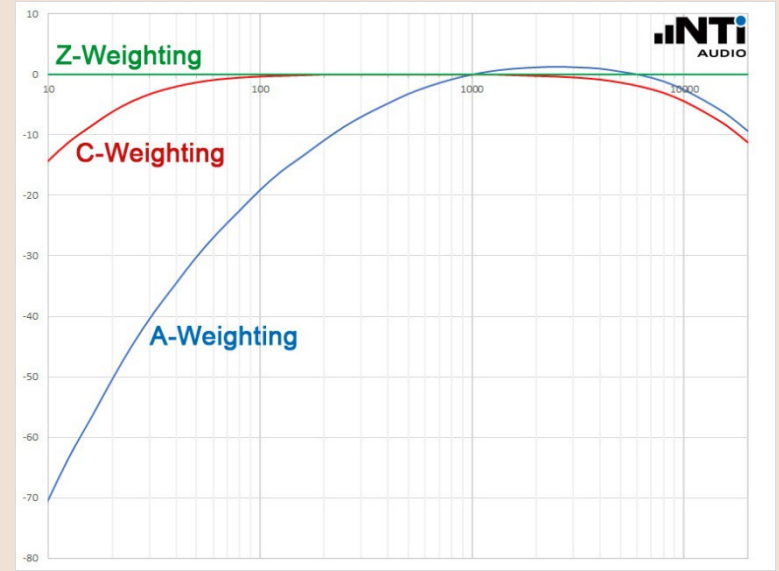
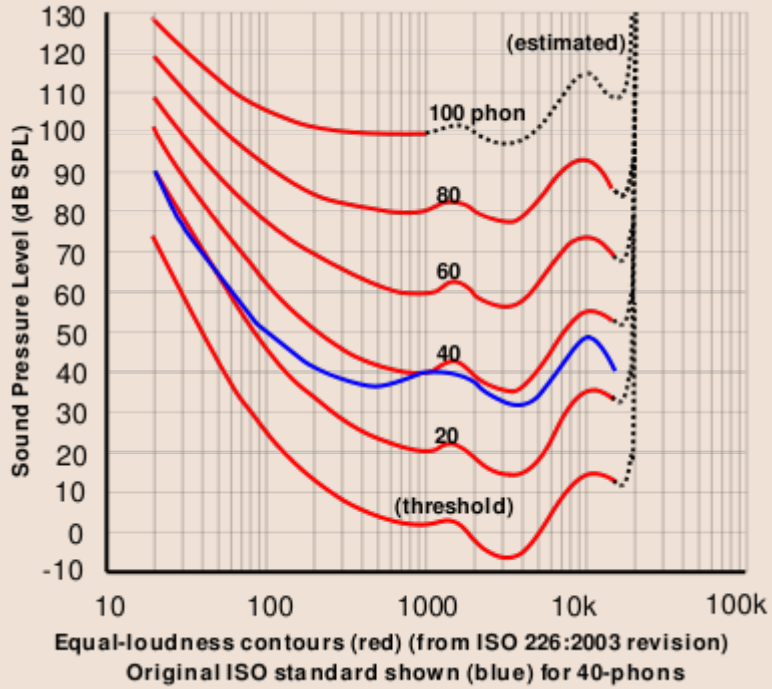
Lengre bølgelengde – lavere frekvens

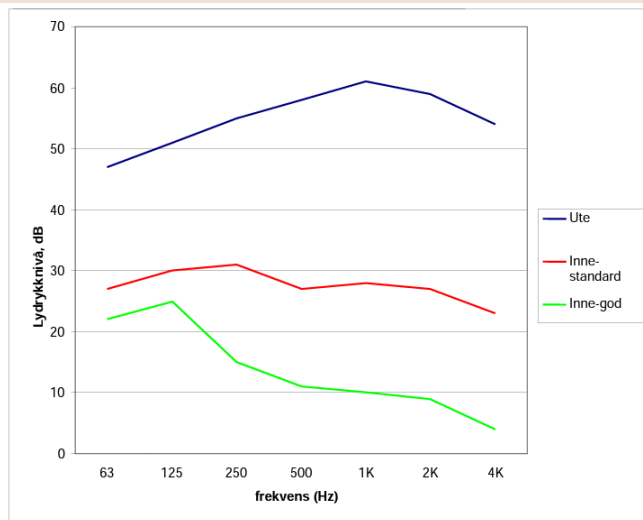


Kortere bølgelengde – høyere frekvens









Figur 2: A-veiet frekvensspekter for støy fra vegtrafikk i 50 km/t, utendørs og i to innesituasjoner: for henholdsvis standard innesituasjon (standard fasade) og god innesituasjon (lyddempet fasade).



# Veitrafikkstøy

Tabell 5 – Lydklasser for boliger. Utendørs lydnivå fra utendørs lydilder

Type brukerområde	Målestørrelse	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Lydnivå på uteoppholdsareal og utenfor vindu fra tekniske installasjoner i samme bygning og i en annen bygning	$L_{p,AF,max}$ (dB) natt, kl. 23-07 kveld, kl. 19-23 dag, kl. 07-19	25 30 35	30 35 40	35 40 45	45
Lydnivå på uteoppholdsareal og utenfor vindu fra andre utendørs lydilder	$L_{den}$ , $L_{p,AF,max,95}$ , $L_{p,AS,max,95}$ , $L_{p,Al,max}$ , $L_n$ (dB) for støysone <sup>a</sup>	Klasse C – 10 dB <sup>b</sup>	Klasse C – 5 dB <sup>b</sup>	Nedre grenseverdi for gul sone	Gul sone
<p><sup>a</sup> Støysone er relatert til Miljøverndepartementets Retningslinje for behandling av støy i arealplanlegging T-1442, jf. punkt 2. Grenseverdiene for støysone i retningslinjen for arealbruk er avhengig av typen utendørs lydilde, jf. tabell 1 og 2 i retningslinjen. Lydnivået fra én lydilde eller samlet fra flere ulike lydilder skal ikke overskride den angitte grenseverdien i aktuell mottakerhøyde. Se 3.1.15, 4.5 og tillegg D.</p> <p><sup>b</sup> Sonegrensene varierer avhengig av typen lydilde. Den laveste grenseverdien er derfor satt til <math>L_{den} = 30</math> dB.</p>					

Tabell 4 – Lydklasser for boliger. Innendørs lydnivå fra utendørs kilder

Type brukerområde	Målestørrelse	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
I oppholds- og soverom fra utendørs lydilder	$L_{p,A,24h}$ (dB)	20	25	30	35
I soverom fra utendørs lydilder	$L_{p,AF,max}$ (dB) natt, kl. 23 - 07	35	40	45	50

# Bygge- og anleggsstøy

Tabell 4: Anbefalte støygrenser utendørs for bygge- og anleggsvirksomhet med varighet over 6 måneder. Alle grenseverdier gjelder innfallende lydtrykknivå og gjelder utenfor rom med støyfølsomt bruksformål.

Bygningstype	Støykrav på dagtid ( $L_{pAeq12h}$ 07-19)	Støykrav på kveld ( $L_{pAeq4h}$ 19-23) eller søn-/helligdag ( $L_{pAeq16h}$ 07-23)	Støykrav på natt ( $L_{pAeq8h}$ 23-07)
Boliger, fritidsboliger, sykehus, pleieinstitusjoner	60	55	45
Skole, barnehage	55 i brukstid		

Tabell 5: Anbefalte innendørs støygrenser for bygge- og anleggsvirksomhet. Alle grenseverdier gjelder innfallende lydtrykknivå, i rom for støyfølsom bruksformål.

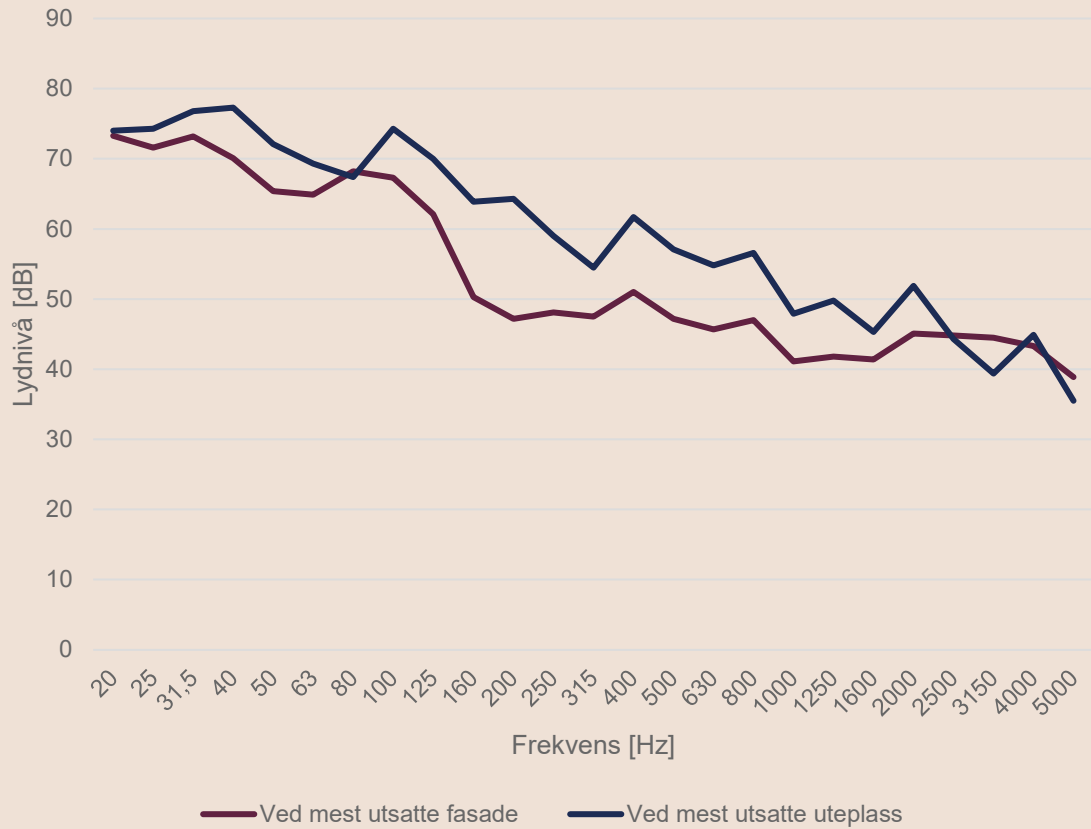
Bygningstype	Støykrav på dagtid ( $L_{pAeq12h}$ 07-19)	Støykrav på kveld ( $L_{pAeq4h}$ 19-23) eller søn-/helligdag ( $L_{pAeq16h}$ 07-23)	Støykrav på natt ( $L_{pAeq8h}$ 23-07)
Boliger, fritidsboliger, overnattingsbedrifter, sykehus og pleieinstitusjoner	40	35	30
Arbeidsplass med krav om lavt støynivå	45 i brukstid		

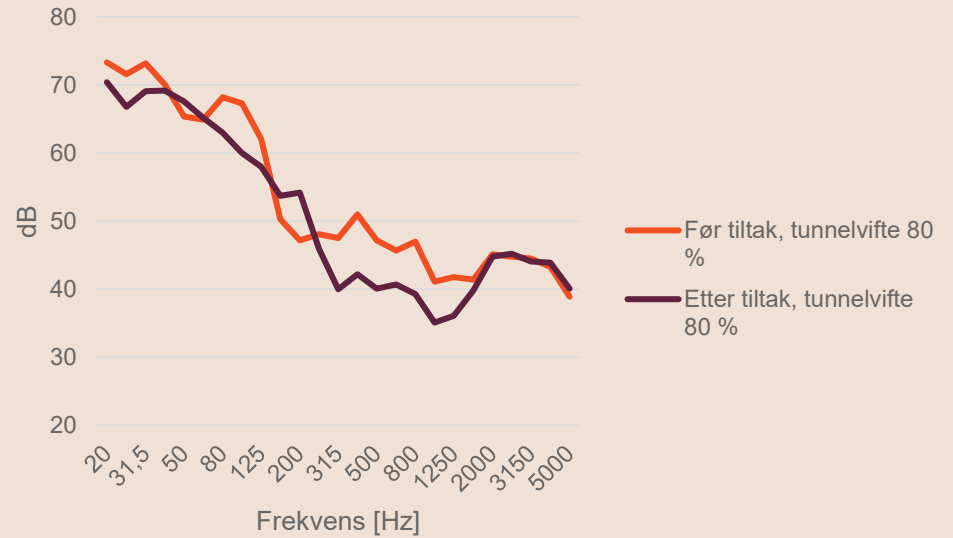


# Effekt av skjermingstiltak

## Eksempel: Tunnelvifte









Statens vegvesen  
Pb. 1010 Nordre Ål  
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

[firmapost@vegvesen.no](mailto:firmapost@vegvesen.no)

[vegvesen.no](http://vegvesen.no)

**Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag**