



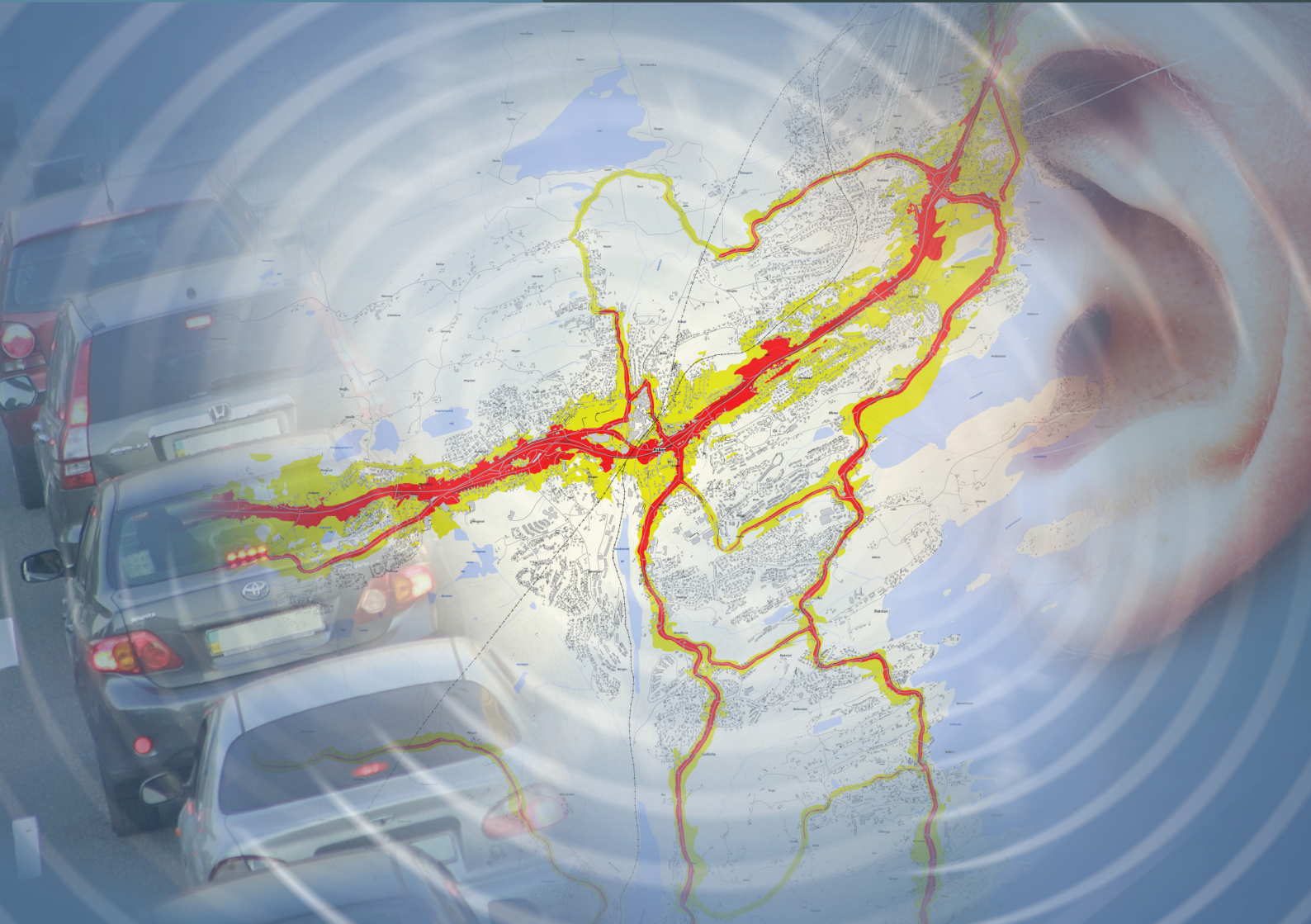
Statens vegvesen

Bruerveileder Nord2000 Road

Norsk oversettelse og implementering i NorStøy

VEILEDNING

Håndbok 290



Brukerveileder Nord2000 Road

Norsk oversettelse og implementering i NorStøy

Håndbøker i Statens vegvesen

Dette er en håndbok i Statens vegvesens håndbokserie, en samling fortløpende publikasjoner som først og fremst er beregnet for bruk innen etaten.

Vegdirektoratet har hovedansvaret for utarbeidelse og ajourføring av håndbøkene.

Grafisk senter i Statens vegvesen har ansvaret for grafisk tilrettelegging og produksjon.

Denne håndboka finnes også på vegvesen.no

Statens vegvesens håndbøker utgis på to nivåer:

Nivå 1 - Gul farge på omslaget - omfatter forskrifter, normaler og retningslinjer godkjent av overordnet myndighet eller av Vegdirektoratet etter fullmakt.

Nivå 2 - Blå farge på omslaget - omfatter veiledninger, lærebøker og vegdata godkjent av den avdeling som har fått fullmakt til dette i Vegdirektoratet.

Bruerveileder Nord2000 Road

Nr. 290 i Statens vegvesens håndbokserie

Opplag: 200

Trykk: Vegdirektoratet

ISBN 978-82-7207-638-1

Forord

Nordisk Ministerråd besluttet i 1996 å sette i gang utvikling av en ny generasjon av beregningsmetoder for utendørsstøy. Etter at det opprinnelige arbeidet med Nord2000 metoden ble ferdigstilt i 2001 har kilde- og utbredelsesmodellene blitt tilpasset på enkelte steder. Man har overtatt trekk fra kildemodellen til det europeiske Harmonoise-prosjektet, som viste at det var mulig å skille mellom støy fra dekk/veibane og støy fra motordrift og at det var tilstrekkelig å ta utgangspunkt i to punktkilder for å beskrive et kjøretøy. Den nye kilde-modellen har blitt modifisert og tilpasset til nordiske kildedata og utformet til en praktisk anvendbar beregningsmetode for vegtrafikk: Nord2000 Road Engineering Method.

Håndboken består av to deler:

- Del 1 er en direkte oversettelse av rapporten "User's Guide Nord2000 Road" med vedlegg. Rapporten ble opprinnelig skrevet på engelsk i 2006.
- Del 2 "Bruk av Nord2000 Road i NorStøy" er et notat som beskriver hvilke tilpasninger og valg som er gjort i forbindelse med implementering av metoden Nord2000 Road i Statens vegvesens beregningsverktøy NorStøy.

Figurer og tabeller i del 1 er i hovedsak kopiert direkte fra originalrapporten. Det er gjort noen mindre justeringer, som tilpassing av måleenheter til norsk standard, der det har vært oppdaget feil i originalrapporten.

Oversettelsen er utført av Akasie Språktjenester AS. SINTEF ved Svein Å. Storheier og Herold Olsen har bidratt til, samt kvalitetssikret oversettelsen. Videre har Herold Olsen skrevet notatet om implementering i NorStøy. Ratab-UI-Lissan Malik og Ingunn Milford har hatt ansvar for gjennomføring og kvalitetssikring fra Statens vegvesens side.

Marit Brandtsegg
Direktør

Trafikksikkerhet, miljø og
teknologiavdelingen
Vegdirektoratet
Brynseng, desember 2011

Innhold

Del 1	6
1. Innledning	7
1.1 Hva kan beregnes?	7
1.2 Hvilke typer inngangsdata er nødvendige?	8
1.3 Hvordan kan inngangsdata skaffes til veie?	8
2. Støynivåer som kan beregnes med Nord2000 Road	9
2.1 Ekvivalent lydtryknivå LAeq under spesifiserte værforhold	9
2.2 Langtids middelvei for støynivå	9
2.3 Bidrag fra andre veger eller kjørebaneer	10
2.4 Maksimale støynivåer	10
3. Parametere for inngangsdata	11
3.1 Trafikk og veg	11
3.1.1 Kildeposisjoner	11
3.1.2 Trafikkintensitet	11
3.1.3 Trafikkens sammensetning og kjøretøyparametere	11
3.1.4 Trafikkens sammensetning	11
3.1.5 Kjøretøyenes hastighet	13
3.1.6 Trafikkfordeling på ulike tider av døgnet	13
3.1.7 Vegdekke	14
3.1.8 Kjøreforhold	18
3.2 Lydutbredelse	19
3.2.1 Beregningspunktets høyde	19
3.2.2 Utbredelsesveg	19
3.2.3 Værforhold	25
4. Spesielle framgangsmåter	27
4.1 Spesielle maksimalnivåer for støy	27
4.1.1 Energimiddelvei og aritmetisk middelvei	27
4.1.2 Maksimale nivå overskredet av 5 % av kjøretøyene	28
4.1.3 Maksimale nivå overskredet mer enn et bestemt antall ganger	28
4.2 Utstråling av lyd fra tunnelåpninger	29
4.3 Lyd overført gjennom fasader	30
5. Nøyaktighet	31
5.1 Generelt	31
5.2 Anslag over nøyaktighet	31
5.3 Krav om nøyaktighet for inngangsdata	33
Vedlegg	35
Vedlegg 1: Lydemisjon sammenlignet med den gamle modellen	35
Vedlegg 2: Brukerdefinert korreksjon for vegdekke	37
Vedlegg 3: Hovedkategorier og underkategorier av kjøretøyer	38
Vedlegg 4: Værforhold	39
Referanser	45

Del 2	46
1. Bakgrunn	47
2. Grunnlagsdata for vegtrafikk	49
2.1 Kjøretøy	49
2.2 Trafikk	49
2.3 Veg	49
3. Modellering av omgivelser	51
3.1 Intern 3D modell	51
3.2 Lydrefleksjon	51
3.3 Værforhold	52
4. Beregning av støy	53
4.1 Tunnelstøy	53
4.2 Maksimalt støynivå	53
5. Resultater	55
5.1 Bakgrunn	55
5.2 Fasadepunkt	55
5.3 Kotekart	55

Del 1

1 Innledning

Denne brukerveiledningen er beregnet på personer som ønsker å utføre beregninger av støy fra vegtrafikk ved bruk av programvare som arbeider i henhold til Nord2000 Road, den nye nordiske metoden for beregning av støy fra vegtrafikk.

Programvare utviklet av SINTEF er tilgjengelig for beregning av typiske utbredelsessituasjoner, kalt typetilfeller (Type cases). Brukeren kan beregne ulike måltall for støy for tretti ulike typetilfeller etter å ha definert trafikk- og værforhold.

Nord2000 Road er dokumentert i rapportene i listen under. Disse rapportene er helt nødvendige for utviklere som arbeider med programvare for beregninger i henhold til Nord2000 Road.

- H. G. Jonasson, Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles, SP Rapport 2006:12, Energy Technology, Borås 2006
- B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction, DELTA Acoustics & Vibration, Report AV 1849/00, revised Hørsholm 2006
- B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction, DELTA Acoustics & Vibration, Report AV 1851/00, revised Hørsholm 2006
- R. Eurasto, Nord2000 for road traffic noise prediction. Weather classes and statistics, VTT Research Report No. VTT-R-02530-06, Esbo 2005
- Denne brukerveiledningen

Ligninger for grafer i denne brukerveiledningen finnes i rapportene over.

1.1 Hva kan beregnes?

Nord2000 Road kan benyttes til å beregne $L_{eq,T}^1$ totalt A-veid eller i frekvensbånd, fra enhver kombinasjon av kjøretøyer på veg, forutsatt at inngangsdata er tilgjengelige. Maksimalt lydtrykknivå med tidsveing F (fast) kan beregnes, enten fra enkeltkjøretøyer eller kombinasjoner av kjøretøyer i angitte posisjoner. Beregningsmetoden gir imidlertid ikke statistiske metoder for beregning av maksimale nivåer fra passerende grupper av kjøretøyer.

Beregningspunktene bør velges i henhold til anbefalingene i [1].

Beregningsmetoden skiller mellom støy fra dekk/vegbane og støy fra motordrift. Metoden kan derfor benyttes til å beregne virkningen av et skifte av vegdekke eller dekktype. Standardverdier for de vanligst typene av vegdekker er oppgitt. Det er også mulig å beregne virkningen av piggdekk og kjøretøyenes akselerasjon, og korrigere dekk /vegbanestøyen for variasjoner i lufttemperaturen. Metoden skiller mellom middels tunge og tunge kjøretøyer, og innfører antall akslinger på tunge kjøretøyer som en parameter for inngangsdata.

¹ Betegnelsen L_{eq} (evt. $L_{eq,T}$) erstattes generelt av tidsmidlet lydtrykknivå $L_{p,T}$, men beholdes i denne brukerveiledningen på grunn av lang innarbeiding.

Beregningsmetoden kan håndtere ulike enkle værforhold. Svært sterke eller varierende vindforhold og lagdelte atmosfæriske forhold inkluderes ikke. Ved å kombinere resultater fra ulike værforhold er det mulig å beregne årsmiddelverdier for støy, slik som L_{den} og L_{night} , som er foreskrevet i det europeiske direktivet om utendørs støy.

Beregningsmetoden kan håndtere ethvert antall og enhver kombinasjon av varierende markforhold, med og uten skjerming. Algoritmene har blitt begrenset til to skjærmer. Skjermene kan være tynne eller tykke, og ha hvilken som helst form.

Beregningsmetoden behandler ikke innendørs støy spesielt. Ingen bestemte retningslinjer eller data for lydisolering av vinduer eller fasader er gitt. Gitt at data om lydisolering er kjent, kan man imidlertid beregne lydtrykknivået innendørs ut fra standardformler for bygningsakustikk, fordi alle beregninger i Nord2000 Road utføres i tredjedels oktavbånd.

1.2 Hvilke typer inngangsdata er nødvendige?

For å beregne $L_{\text{Aeq,T}}$ må man kjenne trafikkintensiteten i tidsintervallet T , i tillegg til trafikkens hastighet og sammensetning (dvs. prosentandelen av de ulike kategoriene av kjøretøyer). Det er også nødvendig å kjenne typen av vegdekke og temperatur til bruk i beregningene. For å beregne L_{den} må disse dataene være tilgjengelige for hver av periodene dag, kveld og natt.

Det trengs informasjon om lokal topografi (terrengformen, skjærmer/bygninger og marktyper, inkludert vegdekket).

Avsnitt 3 gir retningslinjer om nødvendige inngangsdata.

Beregninger kan foretas for bestemte værforhold, eller man kan beregne langtids gjennomsnitt ved å kombinere resultater fra bestemte forhold og ta hensyn til hvor ofte disse forholdene forekommer.

1.3 Hvordan kan inngangsdata skaffes til veie?

Trafikkdata kan ofte skaffes til veie hos vegmyndighetene. Det vil bli lagt vekt på at myndighetene definerer kjøretøykategorier i henhold til definisjonene i den foreliggende beregningsmetoden. Dersom det ikke finnes informasjon tilgjengelig kan de forhåndsdefinerte dataene som finnes i denne brukerveiledningen være nyttige.

Topografisk informasjon (terrengprofil og marktyper) kan hentes fra digitale kart/ geografiske informasjonssystemer. Data kan importeres til programvare for beregninger.

Værstatistikk er tilgjengelig hos nasjonale vegmyndigheter.

2 Støynivåer som kan beregnes med Nord2000 Road

Nord2000 Road gir mulighet til å håndtere støynivåer under varierende værforhold, og er derfor godt egnet til å beregne ulike typer av støynivåer.

2.1 Ekvivalent lydtryknivå L_{Aeq} under spesifiserte værforhold

Ekvivalent lydtryknivå $L_{Aeq,T}$ for tidsperioden T kan beregnes for spesifiserte værforhold, som for eksempel lett medvind.

2.2 Langtids middelerdi for støynivå

Langtids middelerdi for støynivå bestemmes ved å beregne støynivåer under de angitte forholdene som forekommer i den relevante perioden, og deretter kombinere dem til en middelerdi.

Det europeiske støydirektivet [2] angir at årsmiddelerdi for L_{den} og L_{night} er obligatoriske indikatorer som skal brukes i strategiske støykartlegginger.

A-veid langtids middelerdi for støy på dag-, kvelds- og nattetid er definert som:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left\{ T_d \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + T_e \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + T_n \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right\} \quad (1)$$

der T_d , T_e og T_n angir varigheten for henholdsvis periodene dag, kveld og natt (gitt i antall timer [h]), og L_{day} , $L_{evening}$ and L_{night} er A-veide, langtids gjennomsnittlige støynivåer for henholdsvis periodene dag, kveld og natt.

Periodene dag, kveld og natt skal defineres av hvert medlemsland. Noen definisjoner er gitt i tabell 1.

Tabell 1

Definisjoner av dag, kveld og natt til bruk ved beregning av L_{den} i de nordiske landene.

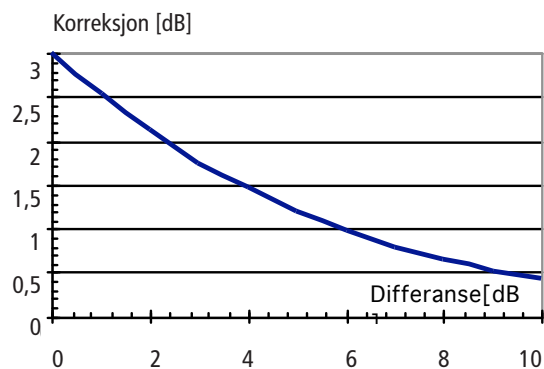
	Danmark (DK)	Finland (FI)	Norge (NO)	Sverige (SE)
Dag	07-19	07-19	07-19	06-18
Kveld	19-22	19-22	19-23	18-22
Natt	22-07	22-07	23-07	22-06

Det skal beregnes en middelværdi av støynivået for hver av tidsperiodene for alle variasjoner i værforhold og støyforhold som forekommer i den relevante perioden over et representativt år.

2.3 Bidrag fra andre veger eller kjørebaneer

Når programvaren kun er i stand til å beregne støynivået fra én veg eller én kjørbane kan man legge til støynivået fra trafikken i andre kjørebaneer eller på andre veger manuelt ved bruk av formel (2) eller figur 1.

$$L_{Aeq,tot} = 10 \cdot \lg \left[10^{\frac{L_{Aeq,1}}{10}} + 10^{\frac{L_{Aeq,2}}{10}} \right] \quad (2)$$



Figur 1
Addisjon av støynivåer: Legg til en korreksjon til det høyeste støynivået.

Eksempel: $L_{Aeq,1} = 53$ dB; $L_{Aeq,2} = 47$ dB; Differanse = 6 dB; Korreksjon = 1 dB; $L_{Aeq,tot} = 53 + 1 = 54$ dB

2.4 Maksimale støynivåer

Middelværdien av maksimalnivåer $L_{p,A,Fmax}$ med tidsveiting F (fast) ved passering av enkeltkjøretøyer, kan også beregnes.

For øyeblikket anvendes ikke et måltall for maksimalnivå i Danmark og Finland. I Norge brukes et statistisk maksimalnivå definert som det nivået som overskrides av 5 % av kjøretøyene i den aktuelle kategorien. I det svenske regelverket er kravet at et bestemt nivå ikke må overskrides mer enn et angitt antall ganger i en bestemt periode. Framgangsmåten for bestemmelse av disse måltallene for maksimalnivå er beskrevet i avsnitt 4.1.

3 Parametere for inngangsdata

3.1 Trafikk og veg

3.1.1 Kildeposisjoner

I Nord2000 Road representeres et kjøretøy av lydkilder plassert i ulike høyder (0,01 m, 0,30 m og 0,75 m). Lydeffektnivået fra hver kilde beregnes ved hjelp av formler med parametere som brukeren velger for inngangsdata. Bidragene til lydeffekten er avledet av støy fra dekk/vegbane og støy fra motordrift. Tunge kjøretøyer med høyt eksosrør har en ekstra kilde i 3,5 meters høyde. Den horisontale posisjonen til alle kildene antas å være 1 meter fra kjøretøyets senterlinje i retning mot mottakeren.

3.1.2 Trafikkintensitet

Parameteren for inngangsdata er det totale antallet kjøretøyer pr. kjørefelt pr. tidsenhet.

3.1.3 Trafikkens sammensetning og kjøretøyparametere

Standardparameterne som er oppgitt i tabell 2 nedenfor, kan benyttes dersom mer nøyaktige data ikke er tilgjengelige. Standarddata for trafikksammensetning, kjøretøyenes hastighet og trafikks fordelling er basert på, men ikke identiske med, tilgjengelige data fra de nordiske land. Analyser har vist at variasjoner mellom data fra ulike land bare fører til mindre ulikheter i beregnet støynivå når man tar hensyn til forventet nøyaktighet.

3.1.4 Trafikkens sammensetning

Prosentandelen av hver kategori av kjøretøyer (eller antallet kjøretøyer pr. kategori pr. tidsenhet) er en parameter for inngangsdata i Nord2000 Road.

Kjøretøykategoriene i Nord2000 Road er oppsummert i tabell 2. Kategori 1 omfatter personbiler og varebiler. Kategoriene i tabellen er operasjonelle definisjoner som ofte benyttes i trafikktegninger og støyberegninger. Ved innsamling av data om støynivåer fra kjøretøyer bør klassifiseringen i tabell 16 (i vedlegg 3) benyttes.

Tabell 2

Kort oversikt over kjøretøykategorier i Nord2000 Road.

Kjøretøy-kategori nr.	Kort beskrivelse	Maksimal bruttovekt [kg]	Kjøretøyets lengde [m]	Kjennetegn
1	Lett	3,500	< 5.5	Ytterligere parametere for inngangsdata: Piggdekk Våt vegbane
2	Middels	3,500 - 12,000	5.6 – 12.5	2 aksler, 6 hjul
3	Tung	> 12,000	> 12.5	3 eller flere aksler Ytterligere parametere for inngangsdata: Gjennomsnittlig antall aksler

Hvis ikke mer nøyaktige data er tilgjengelige kan man benytte prosentandelen tunge kjøretøyer i tabell 3. Disse dataene er ikke representative for veger med spesiell trafikk, som for eksempel tungtransport av trevirke i deler av Finland og Sverige.

Tabell 3

Standard trafikksammensetning på ulike typer av veger.

Trafikk-type	Beskrivelse	Sammensetning [%]		
		Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
A	Motorveg 100-130 km/t	85	5	10
B	Motorveg i byområde	85	5	10
C	Hovedveg 80-90 km/t	85	10	5
D	Veg i byområde 60-70 km/t	90	5	5
E	Veg i byområde 50 km/t el. tilkjørselsveg i boligområde	95	5	0
F	Veg i boligområde 30-40 km/t	100	0	0

3.1.5 Kjøretøyenes hastighet

Gjennomsnittlig hastighet for hver kategori av kjøretøyer er en inngangsparameter i Nord2000 Road. Standardhastigheter vises i tabell 4. Disse dataene ble benyttet i beregningene av typetilfeller [3] for å begrense antallet av tilfeller, og vil ikke nødvendigvis være representative for den faktiske hastigheten på en bestemt veg av en bestemt klasse. Faktisk gjennomsnittshastighet bør benyttes der denne er kjent.

Tabell 4

Standard gjennomsnittshastighet på ulike typer av veger.

Trafikk-type	Beskrivelse	Sammensetning [%]		
		Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
A	Motorveg 100-130 km/t	120	90	90
B	Motorveg i byområde	90	85	85
C	Hovedveg 80-90 km/t	85	75	75
D	Veg i byområde 60-70 km/t	70	65	65
E	Veg i byområde 50 km/t el. tilkjørselsveg i boligområde	50	50	50
F	Veg i boligområde 30-40 km/t	35	35	35

3.1.6 Trafikkfordeling på ulike tider av døgnet

Antallet kjøretøyer eller prosentandelen av trafikken (pr. kategori, pr. kjørefelt ved behov) på henholdsvis dagtid, kveld og natt er inngangsdata i Nord2000 Road. Standard trafikkfordeling vises i tabell 5. Ulike definisjoner på dagtid, kveld og natt benyttes i de nordiske landene, og de angitte standardverdiene vil derfor ikke være gyldige overalt. Faktiske data bør benyttes der disse er tilgjengelige.

Trafikkfordelingen på over døgnet er ikke relevant for beregning av $L_{eq,24h}$.

Tabell 5
Standardverdier for trafikkfordeling på dagtid, kvelds- og nattetid for ulike typer av veger.

Trafikk- type	Beskrivelse	Fordeling Kat. 1 [%]			Fordeling Kat. 2 [%]			Fordeling Kat. 3 [%]		
		Dag	Kv.	Natt	Dag	Kv.	Natt	Dag	Kv.	Natt
A	Motorveg 100-130 km/t	80	10	10	75	10	15	70	10	20
B	Motorveg i byområde	80	10	10	75	10	15	70	10	20
C	Hovedveg 80-90 km/t	80	10	10	85	5	10	80	5	15
D	Veg i byområde 60-70 km/t	80	10	10	85	5	10	75	10	15
E	Veg i byområde 50 km/t el. tilkjørselsveg i boligområde	80	10	10	85	5	10	75	10	15
F	Veg i boligområde 30-40 km/t	80	10	10	85	5	10	75	10	15

3.1.7 Vegdekke

Nyere undersøkelser har vist at lydeffektnivået for kjøretøyer ikke er identisk i de nordiske landene. Koeffisientene oppgitt i [4] som angir lydeffektnivåer for støy fra dekk/vegbane er basert på de følgende referanseforholdene:

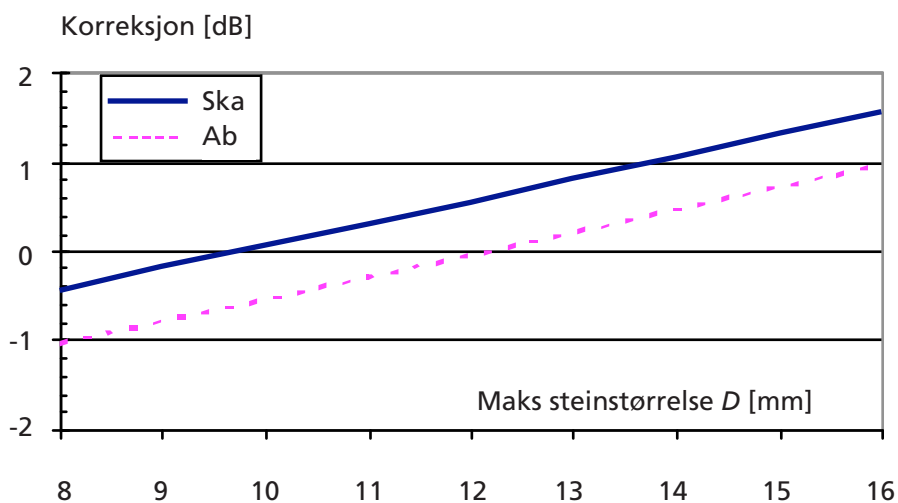
- Vegdekke: Gjennomsnitt for tett asfaltbetong (Ab 11) og skjelettasfalt (Ska 11) med en maksimal steinstørrelse på 11 mm og ved en alder på mer enn to år, men ikke ved slutten av sin forventede levetid.
- Lufttemperatur: 20 °C
- Land: DK (for FI, NO og SE legges det til en korreksjonsfaktor for vegdekke)

I alle andre tilfeller må det gjøres korreksjoner, og ytterligere inngangsdata er nødvendige.

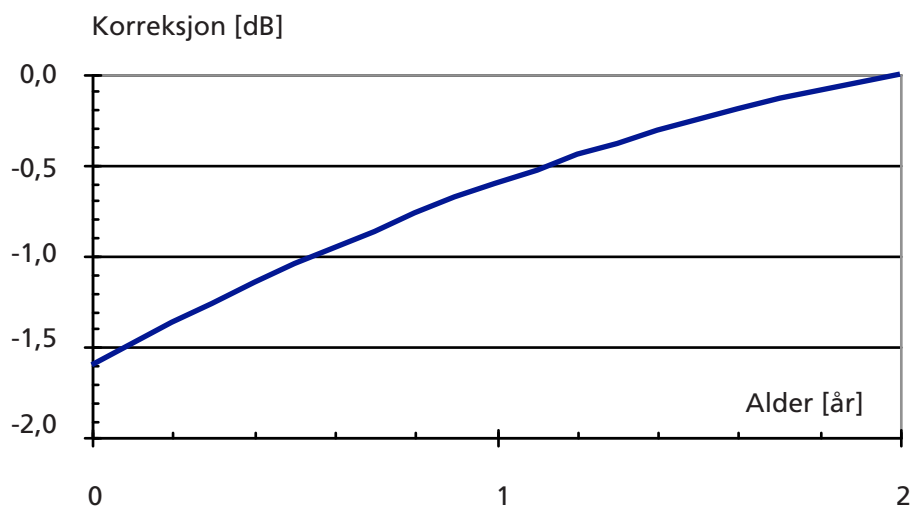
For normale asfaltdekker er parameterne for inngangsdata i Nord2000 Road:

- 1) Land (DK, FI, NO, og SE)
- 2) Maksimal steinstørrelse (D)
- 3) Tett asfaltbetong (Ab) eller skjelettasfalt (Ska)
- 4) Lufttemperatur

For disse vegdekkene gjøres det ingen korreksjon for alder med mindre man ønsker å korrigere for alder mindre enn to år. Korreksjonene $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ oppgitt under er frekvensuavhengige korreksjoner som er gyldige for alle kjøretøyhastigheter. Korreksjonen i figur 4 for porøse vegdekker er gyldig der det ikke benyttes piggdekk.



Figur 2
Korreksjon $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ for maksimal steinstørrelse.

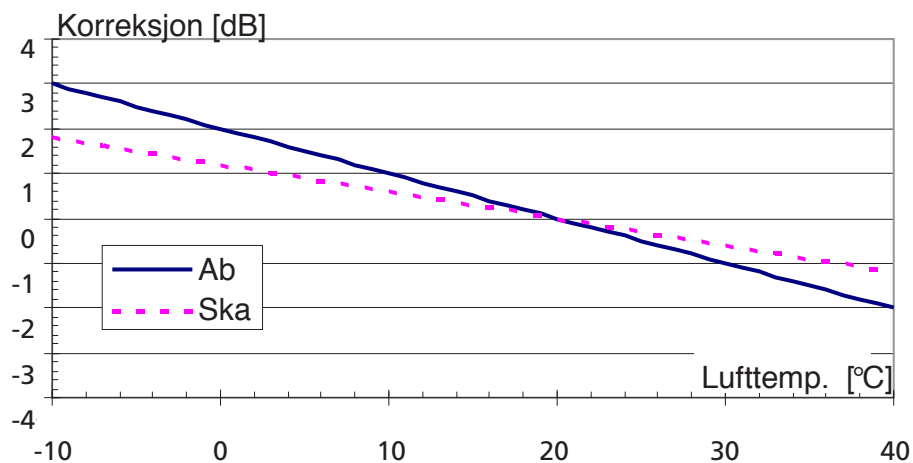


Figur 3
Korreksjon $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ for vegdekker av typene Ab eller Ska som er yngre enn to år.



Figur 4

Korreksjon $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ for alder av drensasfalt = prosentandelen av dens opprinnelige dB verdi på det nylagte vegdekket. Gyldig for veger der det ikke benyttes piggekk.



Figur 5

Korreksjon $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ for lufttemperatur

Det er også mulig å legge inn brukerdefinerte typer av vegdekke som vil gi en korreksjon $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ i forhold til et definert vegdekke blant de normale overflatene av typene Ab og Ska med maksimal steinstørrelse i intervallet 8-16 mm. Denne korreksjonen kan være ulik for lette og tunge kjøretøyer, se vedlegg 2.

Tabell 6 angir typiske korreksjoner $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ for enkelte andre typer av vegdekker. Disse korreksjonene er gyldige for tilfeller der det ikke benyttes piggdekk. Det er behov for å fastsette korreksjoner for flere typer av vegdekker.

Tabell 6

Eksempler på $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ [dB] fra [5].

Type av vegdekke	ID	Kjøretøykategori nr.	
		1	2 eller 3
Asfaltbetong	Ab 11	0	0
Drensasfalt 0/8, yngre enn 3 år	Da 8	-5,8	-3,7
Drensasfalt 0/11, yngre enn 3 år	Da 11	-3,1	-3,7
Drensasfalt 0/16, yngre enn 3 år	Da 16	-2,0	-3,0
Sementbetong, børstet i lengderetningen	CCB lo	1,3	1,7
Sementbetong, børstet tverrgående	CCB tr	3,7	2,1
Jevne brusteiner	Br jevn	3,0	2,0
Ujevne brusteiner	Br ujevn	6,0	4,0

De korreksjonene for vegdekke som er beskrevet ovenfor er typiske verdier, og de vil ikke nødvendigvis være korrekte i en gitt situasjon. Verdiene har blitt forenklet slik at de er hastighets- og frekvensuavhengige, og det vil forekomme en viss spredning i dataene fra en lokalitet til en annen.

Vegdekket påvirker lydutbredelsen, og vi trenger data for vegdekkets akustiske impedans. For porøse vegdekker (drensasfalt) bør denne fastsettes ved målinger i hvert enkelt tilfelle. Der hvor ingen bedre informasjon er tilgjengelig kan man benytte standardverdiene i tabell 7.

Tabell 7

Standardverdier for vegdekkets akustiske impedans, gitt indirekte ved strømningsmotstanden

Vegtype	Strømningsmotstand [kPas/m ²]
Svært hardt vegdekke	200.000
Normal veg	20.000
ISO-dekke	2.000
Porøs veg	Hamet-modell [6]

Temperaturen påvirker støyproduksjon fra dekk/vegbane, og lufttemperatur er en parameter for inngangsdata. For beregning av årsmiddelverdier for støynivåer benyttes middeltemperatur per meteo-klasse. Disse temperaturverdiene finnes tilgjengelig hos nasjonale vegmyndigheter.

Til informasjon gir tabell 8 noen årsmiddelverdier av lufttemperatur.

Tabell 8
Årsmiddeltemperaturer

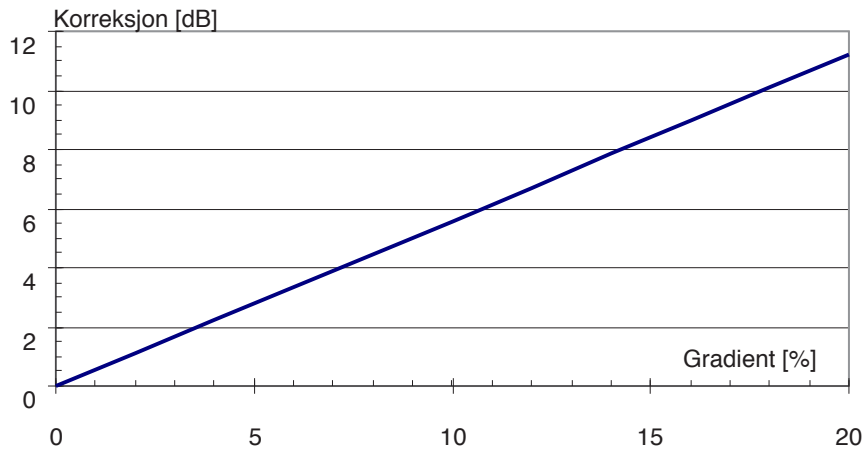
Land	Årsmiddelverdi av lufttemperatur [°C]		
	Dag	Kveld	Natt
DK	9	8	6
FI	N/A ¹⁾	N/A ¹⁾	N/A ¹⁾
NO	N/A ²⁾	N/A ²⁾	N/A ²⁾
SE ³⁾	7.4	7.0	4.8
Intervall	-2 - +9	-3 - +8	-5 - +6

- 1) Årsmiddeltemperatur i Finland (1971-2000):
nordlige del: -2 - 0°C; midtre del: +1 - +2°C; sørlige del: +5°C
- 2) Årsmiddeltemperaturen er 1,0°C, intervallet er -0,5 - +3,7°C avhengig av region.
- 3) De oppgitte gjennomsnittstallene er for Stockholm, intervallene viser variasjonen mellom regioner.

Korreksjoner må foretas for å ta hensyn til påvirkningen av vannfilm på vegbanen [4]. Denne korreksjonen er gyldig bare for lette kjøretøyer, da det ikke har vært mulig å påvise et tilsvarende forhold for tunge kjøretøyer. For at denne korreksjonen skal kunne brukes er det ikke tilstrekkelig at kjørebane ser våt ut, den må være dekket av en tydelig vannfilm.

3.1.8 Kjøreforhold

Alle standardverdier for lydeffektcoeffisienter i [4] refererer til fritt flytende trafikk ved konstant hastighet. Støy fra motordrift hos kjøretøyer i Kategori 2 og 3 kan korrigeres for akselerasjon/deselerasjon på lange helninger i henhold til figur 6. I bytrafikk og start/stopp-situasjoner bør støy fra motordrift korrigeres med +3 dB.



Figur 6
Korreksjon av støy fra motordrift for kjøretøyer i Kategori 2 og 3 i lange helninger.

3.2 Lydutbredelse

3.2.1 Beregningspunktets høyde

Beregningspunktets høyde (mottaker) er høyden over det lokale terrenget. Der slike finnes vil regionale eller nasjonale retningslinjer angi høyden på beregningspunktet. Dersom det ikke finnes slike regler kan man bruke de følgende:

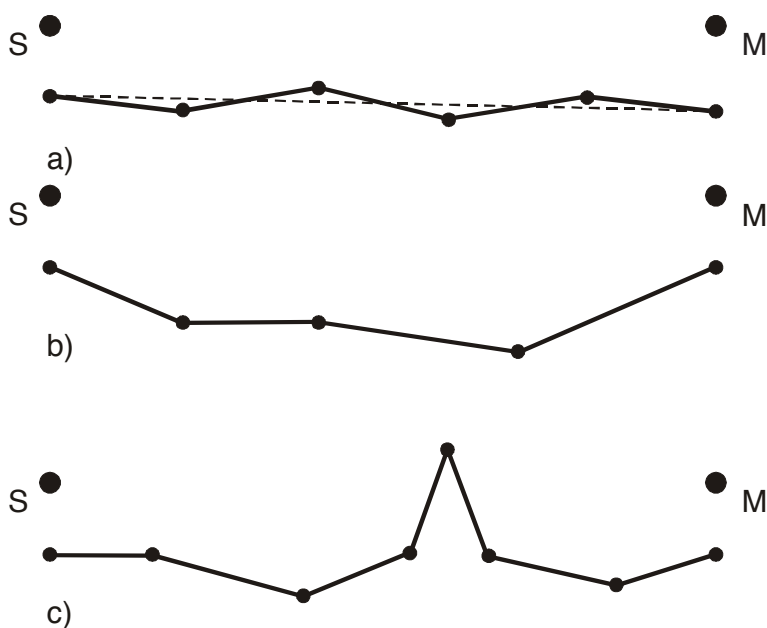
- 1) 4 m utendørs i henhold til det europeiske støydirektivet [2]
- 2) Anbefalt høyde: 1,5 m over bakken for bruk i utendørs friluftsområder og i områder med enetasjes bebyggelse. EU-direktivet [2] gir rom for støynivå i 1,5 meters høyde som en tilleggsindikator.
- 3) Referanse for innendørs nivå: 2 m over gulvnivået eller 2/3 av vindushøyden, avhengig av hva som er høyest opp.

3.2.2 Utbredelsesveg

Dempingen av lyden langs utbredelsesvegen fra kilde til mottaker avhenger av terrengets form, marktype og av terrengoverflatens ujevnhet [7]. Dempningen avhenger også av værforholdene som beskrevet i avsnitt 3.2.3 og i [8].

Forenkling av terreng

I Nord2000 Road er beregningen av lydtrykknivået basert på et vertikalt terrengtverrsnitt fra kilde til mottaker, forenklet til en brutt linje (en kjede av rettlinjede segmenter). Figur 7 viser hvordan et slikt segmentert terreng kan se ut for tre typer av ujevnt terreng.



Figur 7
 Eksempler på segmentert terreng: a) moderat ujevnt terreng,
 b) dalformet terreng, c) terreng med skjerm.

Hvilken måte brukeren definerer utbredelsesvegen på vil avhenge av hvilken type programvare som benyttes for beregningen. Det er ikke mulig å forutse alle typer grensesnitt for programvare, men mest sannsynlig vil framgangsmåten avhenge av om programvaren er basert på enkeltmottakere eller på automatisk kartlegging.

Programvare for enkeltmottakere

Det forutsettes at for programvare som er basert på en enkelt mottaker skal brukeren ("manuelt") definere det vertikale terrengtverrsnittet fra vegen til mottakeren. Brukeren vil eventuelt måtte forenkle terrengprofilen til en representasjon som en brutt linje, og angi en marktype og ujevnheter for hvert segment.

Brukeren skal legge inn parametere som definerer terrengverrsnittet som illustrert i tabell 9. Hver rad tilsvarer et bruddpunkt i terrengprofilen (start- eller sluttunkt for hvert rettlinjete segment). Et slikt punkt tilskrives en horisontal avstand x , en vertikal høyde z , en marktype GT (ground type) og en ujevnhet GR (ground roughness). GT og GR representerer egenskaper ved overflaten av linjesegmentet fra punktet til neste punkt (med en høyere indeks). Det første punktet er under kilden og det siste punktet under mottakeren. Verdiene for x skal være i stigende rekkefølge.

Tabell 9

Terrengdefinisjon for et terreng med $n-1$ rettlinjete segmenter (tilsvarende n start-/ sluttpunkter for segmentene).

Terrengpunkt nr.	Avstand x	Høyde z	Marktype	Ujevnhet
1	x_1	z_1	GT ₁	GR ₁
2	x_2	z_2	GT ₂	GR ₂
...
$n-1$	x_{n-1}	z_{n-1}	GT _{$n-1$}	GR _{$n-1$}
n	x_n	z_n	-	

Programvare for kartlegging

I programvare for kartlegging fastsettes det vertikale terrengverrsnittet automatisk fra en digital terrengmodell, som deretter blir forenklet av programvaren. Brukerens oppgave er å finne fram til og importere digitale terrengdata, eller å digitalisere terrengkonturene der slike data mangler. Marktyper vil vanligvis bli lagt inn i form av definisjoner av områder med spesifiserte marktyper og områder med spesifiserte ujevnheter. Programvaren vil selv utføre resten.

Marktype

Marktypen er definert ut fra markens strømningsmotstand. Marktypen kan spesifiseres direkte ved sin strømningsmotstand, eller indirekte ved bruk av klassene A til H som definert i tabell 10.

I forenklete beregninger der det kun er mulig å skille mellom "myk" og "hard" mark anbefales det å bruke henholdsvis marktypene D og G. I slike beregninger representeres vegen av marktype G.

Tabell 10
Klassifisering av marktyper

Dempnings-klasse	Representativ strømningsmotstand σ [kPas/m ²]	Beskrivelse
A	12,5	Svært myk (snø eller moseaktig)
B	31,5	Myk skogbunn (kort, tett lyng eller tykk mose)
C	80	Ikke sammenpresset, løs grunn (torv, gressmark, løs jord)
D	200	Normal, ikke sammenpresset grunn (skogbunn, engmark)
E	500	Sammenpresset grunn og grus (valsede plener, parkområde)
F	2.000	Sammenpresset, tett grunn (grusveg, parkeringsplass, ISO 10844-asfalt)
G	20.000	Hard overflate (vanlig asfalt)
H	200.000	Svært hard og tett overflate (tett asfalt, betong, vann)

Absorberende skjerm

En skjerm er en del av terrengetversnittet. Egenskapene til en lydabsorberende skjerm er klassifisert i henhold til EN 1793 [9]. Lydabsorberingsklassen kan oversettes til en ekvivalent strømningsmotstand eller en markklasse i Nord2000 Road ved bruk av tabell 11.

Tabell 11

Klasse av strømningsmotstand for lydabsorberende skjermer

Skjerm-klasse nr.	Demping av reflektert lyd [dB]	Strømningsmotstand [kPas/m ²]	Anbefalt klasse i Nord2000 Road
A0	Ikke testet	200.000	H
A1	< 4	20.000	G
A2	4 - 7	250	D
A3	7 - 11	80	C
A4	> 11	40	B

Overflatens ujevnhet

I Nord2000 Road antas det at alle segmentene av terrengprofilen er perfekt jevne. I de fleste tilfeller er dette en rimelig antagelse hvis et faktisk terreng har blitt gjengitt tilnærmet riktig av et segmentert terreng. I enkelte tilfeller kan imidlertid terrenghøyden variere sterkt langs et segment. Disse variasjonene antas å finne sted over en kort avstand, ellers

bør terrengprofilen deles opp ytterligere. Slike variasjoner kan håndteres i Nord2000 Road ved å angi overflatens ujevnhet. Overflatens ujevnhet er rms-verdien²⁾ av høydevariasjonene innenfor segmentet. Overflatens ujevnhet bør representeres av en av de fire klassene som er vist i tabell 12, basert på et estimat av høydevariasjonene.

Metoden for innarbeiding av overflatens ujevnhet i Nord2000 Road har ennå ikke blitt verifisert, og det anbefales å bruke klasse *N*, med mindre det er kjent at nøyaktigheten blir forbedret ved bruk av klassene *S*, *M* eller *L*.

Tabell 12
Klassifisering av overflatens ujevnhet

Ujevnhetsklasse	Beskrivelse	Overflatens ujevnhet [m]	Høydeintervall [m]
<i>N</i>	Ingen	0	±0,25
<i>S</i>	Liten (Small)	0,25	±0,5
<i>M</i>	Medium	0,5	±1
<i>L</i>	Stor (Large)	1	±2

Refleksjoner og skjermer med avgrenset lengde

For å ta hensyn til refleksjoner fra vertikale overflater kan man inkludere utbredelsesveger i tillegg til den direkte vegen fra kilde til mottaker. Utbredelsesvegen for reflektert lyd går fra kilden via refleksjonspunktet til mottakeren. Terrengtverrsnittet defineres langs den brutte utbredelsesvegen på samme måte som langs den direkte vegen, men en korreksjon for reflektorens virkning skal tas inn i beregningen.

For overføring rundt kantene på en skjerm av avgrenset lengde vil to ytterligere utbredelsesveger fra kilden via kantene (venstre og høyre) på den vertikale skjermen fram til mottakeren bidra med lyd som avbøyes rundt de vertikale kantene. Terrengtverrsnittet defineres langs den brutte utbredelsesvegen, og skjermingseffekten av de vertikale kantene skal inkluderes.

Programvare for en enkelt mottaker kan vanligvis ikke inkludere bidragene fra reflekterende overflater eller lyd som avbøyes rundt de vertikale kantene på en skjerm av avgrenset lengde. I tilfelle programvaren kan håndtere det, skal egenskapene ved den reflekterende overflaten innarbeides som beskrevet nedenfor.

Programvare for kartlegging bør oppdage vertikale overflater som kan bidra til lydtrykknivået hos mottakeren. For hver reflekterende overflate skal egenskapene til den

²⁾ Kvadratrotten av middelverdien av de kvadrerte avvikene i høyde fra det lineære segmentet.

reflekterende overflaten defineres av energirefleksjonskoeffisienten som er angitt i tabell 13, med mindre mer nøyaktige data er tilgjengelige.

Tabell 13
Eksempler på koeffisienter for energirefleksjon ρ_E

Egenskaper ved reflekterende flater	ρ_E [-]
Slett og akustisk hard flate (betong, stein, murvegg, metallplater)	1,0
Ikke-absorberende bygningsfasader med vinduer og små ujevnheter, tette trepaneler	0,8
Fabrikkvegger der 50 % av overflaten består av åpninger, installasjoner eller rør	0,4

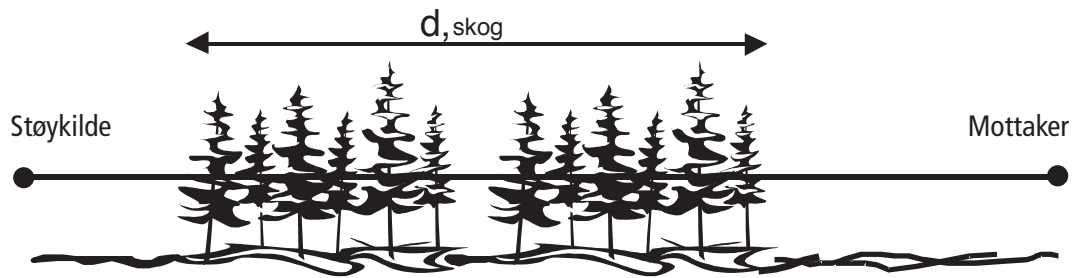
I programvare for støykartlegging vil antallet refleksjoner vanligvis være en parameter som kontrolleres av brukeren. Antallet refleksjoner defineres som maksimal refleksjonsorden (antallet ganger lydfeltet reflekteres). Dette maksimale antallet er en balanse mellom nøyaktighet og beregningstid. Femteordens refleksjoner betraktes som et "ideelt" valg i sterkt reflekterende omgivelser, men å inkludere femteordens refleksjoner for kartleggingsformål ville kreve for lang beregningstid. Det anbefales å benytte opp til tredjeordens refleksjoner. Mindre enn tredjeordens refleksjoner bør benyttes bare til grove anslag.

Programvare for kartlegging burde automatisk inkludere bidrag fra andre utbredelsesveger rundt de vertikale kantene på en skjerm av begrenset lengde.

Spredningssoner

Med Nord2000 Road er det mulig å beregne virkningen på lydutbredelsen av "spredningssoner", som er byområder eller vegetasjon. I byområder påvirkes lydens utbredelse av et stort antall refleksjoner, diffus spredning fra ujevnheter på bygningsfasader, brytning rundt hushjørner og absorpsjon i bygningene og markflater. I vegetasjon påvirkes lydutbredelsen av refleksjoner, spredning og absorpsjon i trestammer, grener og bladverk. I slike områder er lydutbredelsen for komplisert til at det kan gjøres en detaljert beregning, og det er nødvendig å bruke en statistisk spredningsmodell.

Effekten av en spredningssone avhenger av lengden på utbredelsesvegen gjennom spredningssonen som vist i figur 8, av tettheten og størrelsen på objektene som står for spredningen, og av deres refleksjonskoeffisienter [10].



Figur 8
Lydbane gjennom en skog.

For å bestemme effekten av spredning i et bebygde område trenger man de følgende inngangsdataene: forholdstallet mellom det bebygde området og det totale området av spredningssonen, samlet overflate (summen av alle vegg- og takflater) på en gjennomsnittlig bygning, høyden på den høyeste bygningen og gjennomsnittlig bygningsgrunnflate.

For å bestemme effekten av spredning i en skog trengs det data om tretetthet, gjennomsnittlig stammediameter og skogens høyde over bakken.

Gjennomsnittlige parameterverdier for ulike typer av spredningssoner er ennå ikke tilgjengelige, men slike data burde bli tilgjengelige i fremtiden.

3.2.3 Værforhold

Nord2000 Road kan benyttes til å beregne:

- 1) Årsmiddelnivåer
- 2) Støynivået under spesifiserte værforhold
- 3) Støynivået som tilsvarer faktiske værforhold

Spesifiserte værforhold er administrativt fastsatte værforhold, slik som moderat medvind i den gamle metoden for beregning av trafikkstøy.

Faktiske værforhold er kortsiktige værforhold. Beregninger for faktiske værforhold, se vedlegg 4, foretas ikke for å sammenligne med støygrenser, men derimot med målte støynivåer.

Beregning av årsmiddelnivåer

Nord2000 Road er en punkt-til-punkt-metode som tar hensyn til værforholdene. Det årlige gjennomsnittlige støynivået (eller et annet langsiktig støynivå) kan ikke beregnes direkte. Det er nødvendig å gruppere været over den aktuelle tidsperioden til et antall meteorologiske klasser og beregne støynivået for hver klasse [11]. Deretter kombineres de beregnede støynivåene ved å ta hensyn til sannsynligheten for at hver meteorologiske klasse skal forekomme.

For å beregne årsmiddelerverdi av L_{den} eller L_{night} må man ha tilgjengelig statistikk for sannsynligheten for hver meteo-klasse på dag-, kvelds- og nattetid. I tillegg må data om gjennomsnittstemperatur og relativ fuktighet være tilgjengelige, sammen med verdier for andre parametere for inngangsdata for Nord2000 Road. Vegmyndighetene i hvert av de nordiske landene stiller slike data til rådighet.

I programvare for støykartlegging bør statistikken være innebygget, slik at brukeren bare må velge riktig statistikksett (land eller region). Ved bruk av mindre automatisk programvare må brukeren selv legge inn statistikken.

Framgangsmåten er beskrevet i vedlegg 4.

Beregninger for spesifiserte værforhold

Det mest interessante været er referanseværforholdene i den gamle nordiske beregningsmodellen for trafikkstøy. Disse referanseværforholdene er ikke spesielt veldefinerte, men de parameterne i Nord2000 Road som antas å gi det beste estimatet er angitt i vedlegg 4.

En annen type av spesifiserte værforhold representerer et "moderat" verste tilfelle mht. lydutbredelse. Anbefalinger finnes også i vedlegg 4.

I godt utformet programvare for kartlegging og annen programvare kan de spesifiserte værforholdene sannsynligvis defineres ved å velge blant kategorier som "Vær som i den gamle nordiske metoden" eller "Moderat verste tilfelle", og brukeren vil derved ikke måtte taste inn parameterne i Nord2000 Road.

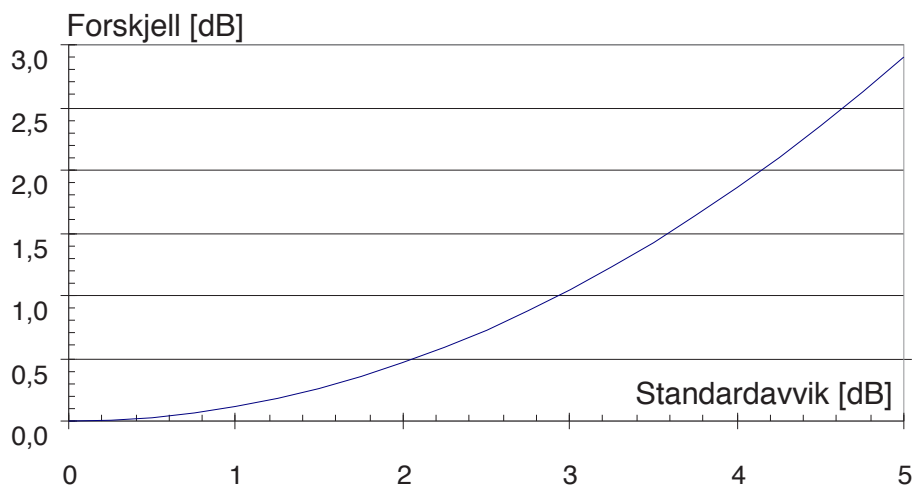
4 Spesielle framgangsmåter

4.1 Spesielle maksimalnivåer for støy

4.1.1 Energimiddelverdi og aritmetisk middelverdi

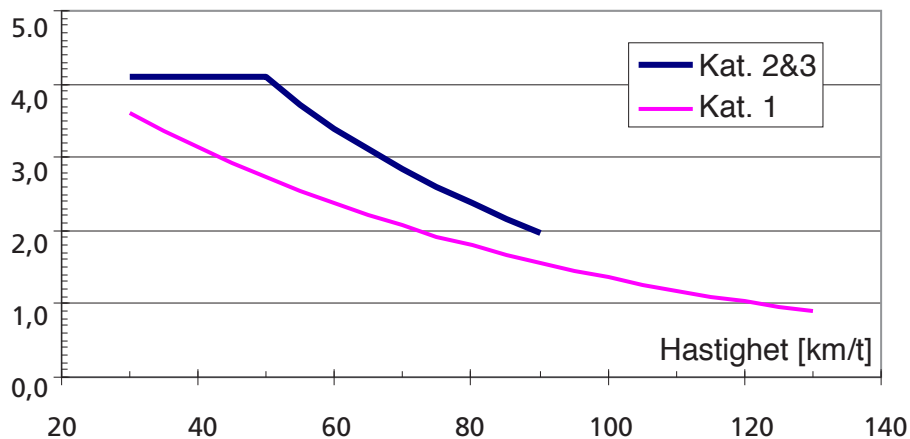
Når det maksimale lydtrykknivået beregnes fra de lydeffektnivåene som er definert i [4], er resultatet en energimiddelverdi. Denne middelverdien skal konverteres til den aritmetiske middelverdien. For en normalfordeling med standardavvik σ er forholdet mellom energimiddelverdi L_{em} og den aritmetiske middelverdien $\overline{L_{p,AFmax}}$ vist i ligning (3) og figur 9.

$$L_{em} - \overline{L_{p,AFmax}} = 0,05 \cdot \ln(10) \cdot \sigma^2 \quad (3)$$



Figur 9
Forskjell mellom energimiddelverdi og aritmetisk middelverdi for en normalfordeling av maksimale støynivåer.

Dersom standardavviket er ukjent kan verdiene fra [12] vist i figur 10 benyttes.



Figur 10
Standardavvik for maksimale støynivåer fra tunge og lette kjøretøyer [12].

4.1.2 Maksimalt nivå overskredet av 5 % av kjøretøyene

Det maksimale støynivået som overskrides av 5 % av kjøretøyene i en kategori kan bestemmes ved å legge til 1,65 ganger standardavviket s til den aritmetiske middelverdien, $\overline{L_{p,AFmax}}$ under forutsetning av en Gauss-fordeling.

$$L_{p,AFmax,95} = \overline{L_{p,AFmax}} + 1.65 \cdot s \quad (4)$$

Dersom standardavviket er ukjent kan verdiene fra [12], vist i figur 10, benyttes.

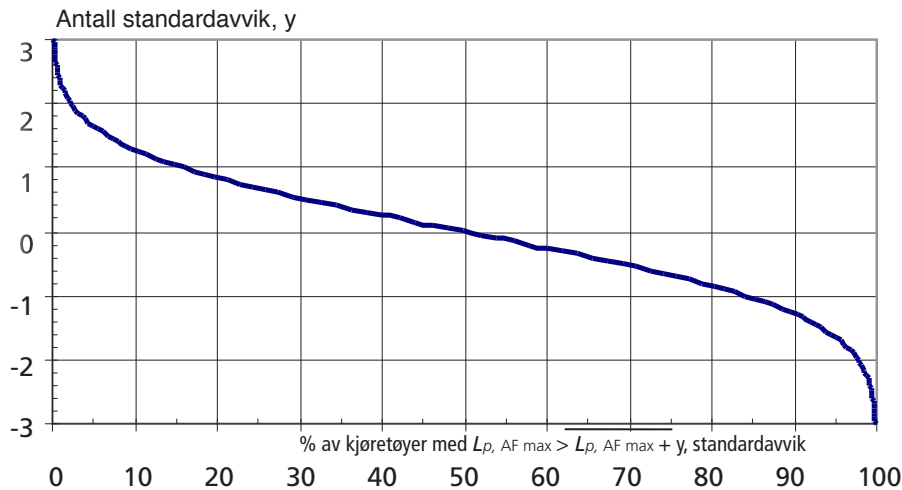
4.1.3 Maksimalt nivå overskredet mer enn et bestemt antall ganger

Det n 'te høyeste maksimale støynivået $L_{p,AFmax,n}$, for eksempel det 5. høyeste støynivået, fra N kjøretøyer som passerer i løpet av en angitt tidsperiode er gitt av

$$"n" = \overline{L_{p,AFmax}} + P\left(\frac{100 \cdot n}{N}\right) \cdot s \quad (5)$$

der $\overline{L_{p,AFmax}}$ er den aritmetiske middelverdien, $P(x)$ er funksjonen som vises i figur 11, og s er standardavviket.

Dersom standardavviket er ukjent kan verdiene fra [12], vist i figur 10, benyttes. Denne spesielle indikatoren for maksimalnivået gitt i ligning (5) brukes ikke i Norge, men den benyttes i Sverige.



Figur 11
Funksjon $y = P(x)$. Prosentandel av enkelthendelser med et maksimalt lydtryknivå som overstiger – med et angitt antall standardavvik – (den aritmetiske) middelveiden $\overline{L_{p, AF \max}}$ i en normalfordeling av maksimale lydtryknivåer.

4.2 Utstråling av lyd fra tunnelåpninger

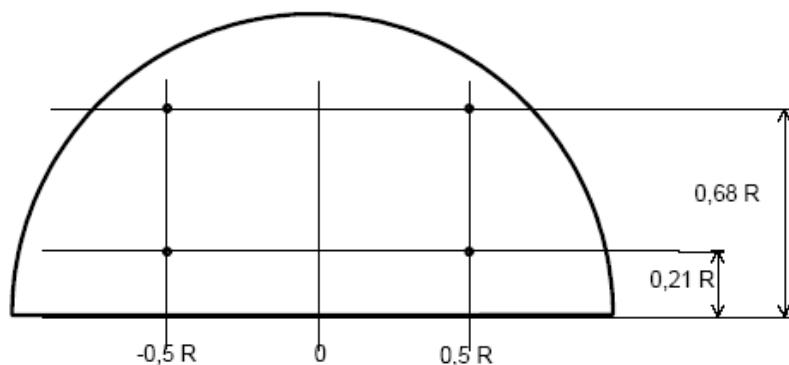
Metoden for beregning av trafikkstøyen som skapes av kjøretøyer inne i en tunnel er dokumentert i [13]. Spesielle lydkilder er posisjonert i tunnelåpningene, for eksempel slik det er illustrert i figur 12.

Lydeffektnivået fra disse kildene er funksjoner av trafikkstrømmen og trafikkenes sammensetning og hastighet, og av forholdene for lydutbredelse inne i tunnelen. Parametere for inngangsdata er absorpsjonskoeffisienten for tunnelveggene og -taket og tunnelens dimensjoner. En veiledning om absorpsjonskoeffisienter for lyd er gitt i tabell 14. Retningsbestemtheten av kildene som representerer den trafikkstøyen som stråles ut fra en tunnelåpning er gitt i [13].

Tabell 14

Forhåndsdefinerte koeffisienter for lydabsorpsjon til bruk i tilfeller der det ikke finnes informasjon tilgjengelig om egenskapene ved tunnelens indre flater.

Frekvensintervall [Hz]	≤ 125	160-400	500-1250	≥ 1600
1. Glatt betong	0,08	0,08	0,08	0,08
2. Ujevn betong	0,08	0,11	0,14	0,14
3. Lydabsorberende behandling	0,15	0,5	0,8	0,65



Figur 12

Illustrasjon av posisjonen til fire støykilder som representerer lyd som stråles ut fra en tunnel med halvsirkelformet tverrsnitt og radius R [13].

4.3 Lyd overført gjennom fasader

I henhold til ISO 140-5 [14] er lydtryknivået innendørs gitt av

$$L_{p,A,T, \text{inne}} = L_{p,A,T, \text{frittfelt}} - R + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) - 3 \quad (6)$$

der $L_{p,A,T, \text{frittfelt}}$ er det beregnede frittfeltnivået utendørs, R er fasadens reduksjonstall, S er fasadens veggareal og A er rommets ekvivalente lydabsorpsjonsareal. A kan enten beregnes i oktavbånd ved bruk av tabellene i EN ISO 10052 [15], den kan måles, eller for en vanlig bolig beregnes ved hjelp av ligningen

$$A = 0.32 \cdot V \quad (7)$$

der V er rommets volum (i m^3).

Det resulterende lydtryknivået, i en tredjedels eller hele oktavbånd, skal deretter A-veies og summeres for å gi det totale A-veide lydtryknivået innendørs.

5 Nøyaktighet

Nord2000 Road har ennå ikke blitt brukt av veldig mange brukere, og nøyaktigheten må bedømmes på basis av resultater fra eksperimenter foretatt under metodeutviklingen.

5.1 Generelt

Nøyaktigheten til Nord2000 Road er ikke direkte sammenlignbar med den gamle modellen. Den nye modellen har flere parametere for inngangsdata, og det er mulig å beregne støynivået for flere kombinasjoner av forhold (inkl. vær/vegdekke/lufttemperatur/trafikk inndelt i tre kategorier/akselerasjon/antall aksler/marktype), mens den gamle modellen beregnet støynivået som et gjennomsnitt over flere av disse kombinasjonene av forhold. Det er enklere å produsere et nøyaktig estimat av en middelvei enn av en enkeltstående verdi. For eksempel vil standardavviket for en middelvei basert på \sqrt{N} antall målinger være N ganger mindre enn det som er basert på en enkeltstående måling.

5.2 Anslag over nøyaktighet

Kildedataene for frittflytende trafikk har blitt kalibrert mot målte energimidlede lyd-eksponeringsnivåer, og under disse forholdene har standardavviket vært mindre enn 1 dB.

Utbredelsesmodellen har blitt validert ved sammenligning av beregnede dempingsverdier med "sanne" resultater fra målinger eller referanseverdier oppnådd ved hjelp av nøyaktige beregningsmetoder.

Punkt-til-punkt-validering (for stasjonære kilder) viste små gjennomsnittlige forskjeller i totale A-veide nivåer mellom Nord2000 Road-beregninger og "sanne" resultater. De største forskjellene forekom bak skjermer, der Nord2000 Road beregner rundt 1 dB høyere støynivå enn referanseresultatene. Standardavviket på enkeltforskjeller var rundt 1 dB for avstander opp til 400 meter. Over 400 meter har referanseresultater vært tilgjengelige for flat mark opp til 1000 meter, der standardavviket var rundt 2 dB. Nøyaktigheten i beregningene for en veg for gitte værforhold antas å være bedre enn for beregningene fra punkt til punkt.

Utbredelsesmodellenes evne til å beregne årsmiddelvei av L_{den} fra en veg har blitt testet ved å sammenligne resultater fra Nord2000 Road med resultater fra nøyaktige beregningsmetoder. For avstander opp til 300 meter var de gjennomsnittlige forskjellene mindre enn 0,5 dB, og standardavviket for forskjellene var mindre enn 1 dB.

Retningslinjer for beregning av usikkerheten i henhold til [16] er gitt i vedlegg 5. Standardavviket $u(L_{Aeq})$ for et beregnet ekvivalent støynivå L_{Aeq} er

$$u(L_{Aeq}) = \sqrt{(c_W u_W)^2 + (c_{f'} u_{f'})^2 + (c_v u_v)^2 + (c_N u_N)^2} \quad (8)$$

Faktorene c er sensitivitetskoeffisienter, og usikkerhetsbidragene u er bidrag fra:

- indeks W : utslipp av støy fra kilden
- indeks f' : lydens dempning under utbredelse (overføringsfunksjonen)
- indeks v : kjøretøyenes hastighet
- indeks N : trafikkenes intensitet, sammensetning og fordeling over døgnet

Retningsgivende verdier for c og u er oppgitt i tabell 15.

Tabell 15
Retningsgivende verdier for sensitivitetskoeffisienter og usikkerhetsbidrag.

Indeks	c	u
W	1	1 dB
f'	1	1 dB, $d < 400$ m $1/3 + d/600$ dB, $d \geq 400$ m
v	$10,9/v$	3 km/t
N	$4,3/N$	$0,1 \cdot N$ kjøretøyer (10 %)

Med de forhåndsdefinerte verdiene i tabell 15 gir ligning (8) standardavviket for en avstand på 100 meter og en hastighet på 70 km/t.

$$u(L_{eq}) = \sqrt{(1.0)^2 + (1.0)^2 + \left(\frac{10.9}{70} \cdot 3\right)^2 + (0.43)^2} = 1.6 \text{ dB} \quad (9)$$

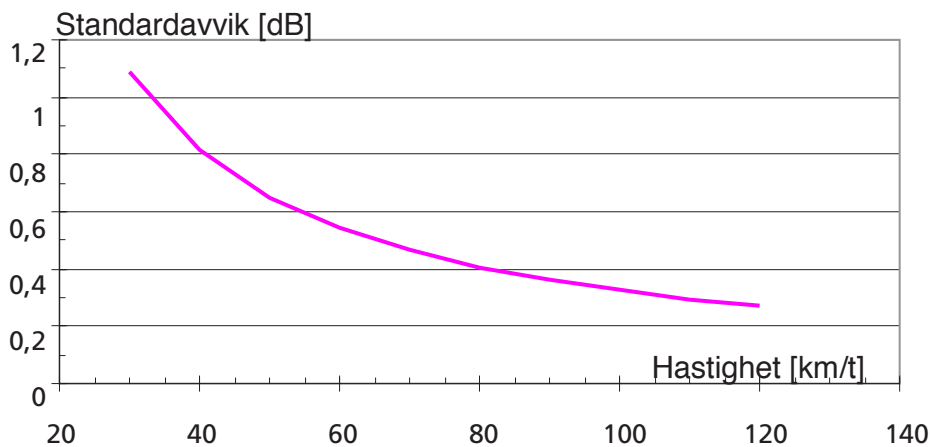
Den utvidede usikkerheten (konfidensintervallet) bestemmes ved å multiplisere standardavviket med en dekningsfaktor som bestemmes av kravet til konfidens. En dekningsfaktor på 2 gir 95 %, en faktor på 1,65 gir 90 % og en faktor på 1,3 gir 80 % konfidens.

5.3 Krav om nøyaktighet for inngangsdata

Det følgende er retningslinjer for kravet til nøyaktighet i inngangsdataene.

En variasjon i trafikkmengde og sammensetning på $\pm 10\%$ gir en endring på 0,5 dB, mens $\pm 5\%$ gir en endring på 0,2 dB i L_{Aeq} .

Et standardavvik i kjøretøyenes hastighet på 3 km/t gir et standardavvik i L_{Aeq} som vist i figur 13.



Figur 13
Standardavvik i L_{Aeq} ut fra et standardavvik på 3 km/t for kjøretøyenes hastighet.

En endring i avstanden fra vegen på $\pm 10\%$ gir en endring på 0,5 dB, mens $\pm 5\%$ gir en endring på 0,2 dB i L_{Aeq} .

En endring i høyde på vegen eller mottakeren på $\pm 0,2$ meter gir en endring på 0,5 dB, mens $\pm 0,1$ meter gir en endring på 0,2 dB i L_{Aeq} . Resultater fra beregninger for en høyde på mottakeren på mindre enn 1,5 meter bør benyttes med forsiktighet.

Vedlegg

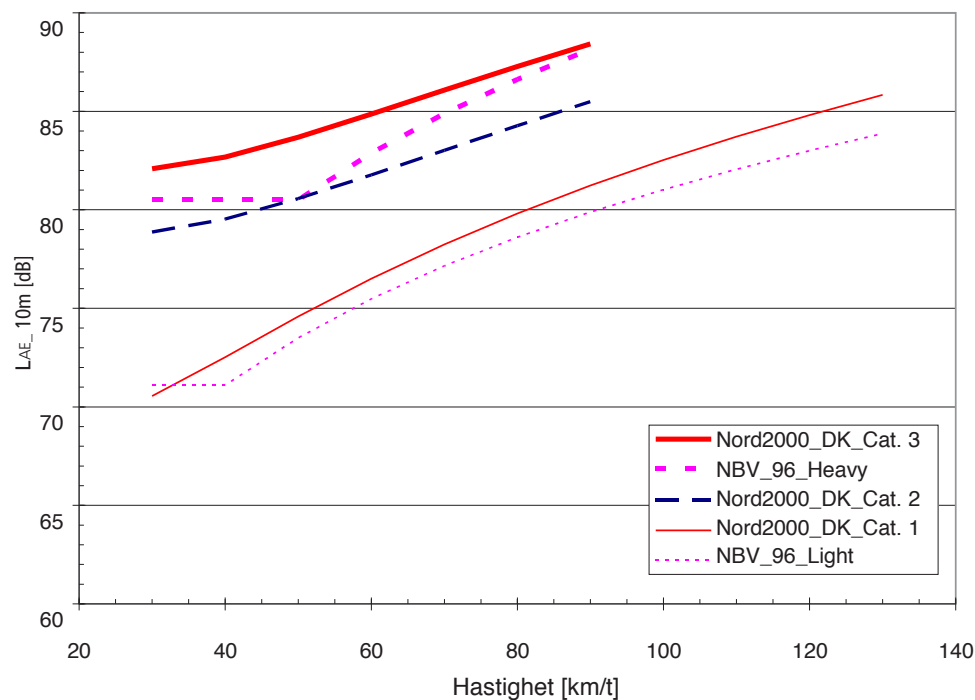
Vedlegg

Vedlegg 1: Lydemisjon sammenlignet med den gamle modellen

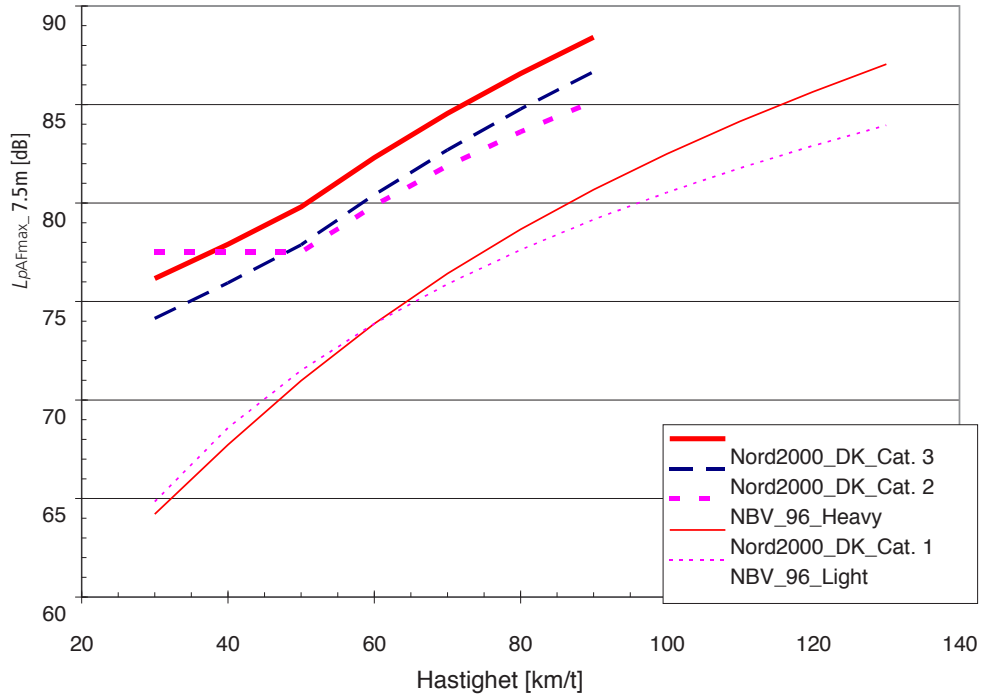
Endringen i lydemisjon (lydutstråling fra kildene) fra kjøretøyer som er innført i Nord2000 Road er illustrert i figur 14 og figur 15, der lydemisjonen fra danske kjøretøyer sammenlignes med den man får i den gamle modellen. Figur 14 viser L_{AE} (A-veid lydeksponeringsnivå) på 10 meters avstand, figur 15 viser $L_{p,AFmax}$ på 7,5 meters avstand, begge målt 1,2 meter over bakken.

Nivåene er høyere i den nye modellen, spesielt $L_{p,AFmax}$ ved høy hastighet. I den gamle modellen var tunge kjøretøyer en blanding av kategoriene 2 og 3, der kategori 2 dominerte ved lav hastighet og kategori 3 dominerte ved høy hastighet. Emisjonsdata fra Nord2000 Road er basert på målinger foretatt siden 1999. Det er ukjent om de høyere emisjonsverdiene skyldes endringer i kjøretøyparken eller nye dekktyper.

I den nye metoden er emisjonsverdiene for finske, norske og svenske kjøretøyer 1-2 dB høyere enn for danske kjøretøyer, på grunn av den utbredte bruken av hardere vegdekker og større steinstørrelse i disse landene.



Figur 14
 L_{AE} på 10 meters avstand fra et dansk kjøretøy som en funksjon av kjøretøyets hastighet i henhold til den gamle metoden NBV_96 [12] og den nye Nord2000 Road.



Figur 15
 L_{pAFmax} på 7,5 meters avstand fra et dansk kjøretøy som en funksjon av kjøretøyets hastighet i henhold til den gamle metoden NBV_96 [12] og den nye Nord2000 Road.

Vedlegg 2: Brukerdefinert korreksjon for vegdekke

I Nord2000 Road-modellen tas det bare hensyn til de mest vanlige typene av vegdekke, og det er vanskelig å gjøre generelle korreksjoner for andre vegdekker. I prinsippet kan det samme vegdekket ha ulike egenskaper avhengig av hvor og når det ble lagt. Derfor anbefales hver bruker, fortrinnsvis hver nasjonal vegmyndighet, å fastsette korreksjonene i hvert enkelt tilfelle. Dette kan enklest gjøres ved å foreta passeringstester og deretter sammenligne med måleresultater eller resultater fra beregninger for et referansevegdekke. Testene skal fortrinnsvis utføres i henhold til de metodene som er foreslått innenfor det europeiske SILVIA-prosjektet. Forskjellen kan derved uttrykkes som

$$\Delta L_{\text{vegdekke}} = 2 \text{ dB rel. Nord2000 Road referansevegdekke} \\ \text{(gjennomsnitt mellom Ab 11 og Ska 11)}$$

$\Delta L_{\text{vegdekke}}$ er ofte ulik for lette og tunge kjøretøyer. $\Delta L_{\text{vegdekke}}$ kan enten oppgis for hvert tredjedels oktavbånd eller for den samlede A-veide verdien. Dersom man kun bruker den A-veide korreksjonen må denne anvendes likt for hvert frekvensbånd. Temperaturkoeffisienten (endringen i passeringstøynivå som skyldes endring i temperatur) for vegdekket må også fastsettes og oppgis.

Vedlegg 3: Hovedkategorier og underkategorier av kjøretøyer

Tabell 16

Kjøretøykategorier som anvendes ved innsamling av data. Vanligvis vil bare de tre hovedkategoriene bli benyttet i beregninger.

Hoved-kategori	Nr.	Underkategorier: Eksempler på kjøretøytyper	Merknader	Kjøretøys lengde [m]
Lette kjøretøyer	1a	Biler (inkl. flerbruksbiler opp til sju seter)	2 aksler, maks. 4 hjul	0-5,5 meter (unntatt bil med tilhenger eller campingvogn)
	1b	Varebiler, firehjuls trekkere pickuper, bobiler, bil + tilhenger eller bil + campingvogn ¹⁾ , flerbruksbiler med 8-9 seter	2-4 aksler ¹⁾ , maks. 2 hjul pr aksel	
	1c	Elektriske kjøretøyer, hybridkjøretøyer drevet elektrisk ²⁾	Drevet med forbrenningsmotor ²⁾	
Middels tunge kjøretøyer	2a	Busser	2 aksler (6 hjul)	7,7-12,5
	2b	Lette lastebiler og tunge varebiler	2 aksler (6 hjul) ³⁾	5,6-7,6
	2c	Middels tunge lastebiler	2 aksler (6 hjul) ³⁾	7,7-12,5
	2d	Trolleybusser	2 aksler	
	2e	Kjøretøyer utformet for støysvak kjøring	2 aksler ⁵⁾	
Tunge kjøretøyer	3a	Busser	3-4 aksler	12,5-15,9
	3b	Tunge lastebiler ⁴⁾	3 aksler	
	3c	Tunge lastebiler ⁴⁾	4-5 aksler	>16
	3d	Tunge lastebiler ⁴⁾	≥ 6 aksler	
	3e	Trolleybusser	3-4 aksler	12,5-15,9
	3f	Kjøretøyer utformet for støysvak kjøring	3-4 aksler ⁵⁾	
Andre tunge kjøretøyer	4a	Anleggslastebiler (delvis terrenggående) ⁴⁾		
	4b	Traktorer, jordbruksmaskiner, dumpere, tanks		Vanligvis 7,7-12,5
Tohjulede kjøretøyer	5a	Moped, scootere	Inkluderer også motorsykler med tre hjul	
	5b	Motorsykler		

1) 3-4 aksler på bil + tilhenger eller bil + campingvogn

2) Hybridkjøretøyer drevet med forbrenningsmotor klassifiseres som enten 1a eller 1b.

3) Også lastebiler med fire hjul dersom det er åpenbart at de veier mer enn 3,5 tonn.

4) Hvis høyt eksosrør: merk dette i testrapporten. Kategoriser som 3b', 3c', 3d', eller 4a'.

5) For eksempel er enkelte varebiler utformet for å avgi ekstra lite støy (i henhold til strengere standarder enn EUs gjeldende grensenivåer), kombinert med en kjøremodus kalt "whisper mode" som gjør det mulig å kjøre i boligområder med svært mye lavere støyemisjon enn konvensjonelle varebiler. Lastebiler og busser som er spesielt utformet i henhold til en slik modell regnes til denne kategorien.

Vedlegg 4: Værforhold

Nord2000 Road er grunnleggende en punkt-til-punkt-metode med værforhold som beskrevet i avsnitt A.4.1. Årsmiddelnivåer (eller ethvert annet langsiktig støynivå) kan ikke beregnes direkte i Nord2000 Road, men dersom værforholdene grupperes i et antall meteorologiske klasser kan årsmiddelnivå bestemmes som beskrevet i avsnitt A.4.2.

Nord2000 Road kan også benyttes til beregning av støynivået for spesifiserte værforhold. Spesifiserte værforhold er definert som administrativt fastsatte værforhold, som for eksempel i den gamle trafikkstøymodellen, der støynivåene er fastsatt for moderat medvind. Beregningen for spesifiserte værforhold er drøftet i avsnitt A.4.3.

Nord2000 Road kan i tillegg benyttes for beregning av støynivået for faktiske værforhold. Faktiske værforhold er kortsiktige værforhold. Formålet med beregninger for faktiske værforhold er å sammenligne med, og analysere, målte støynivåer, se avsnitt A.4.4.

A.4.1 Grunnleggende værforhold for Nord2000 Road

Nord2000 Road er grunnleggende en punkt-til-punkt-metode med faste værforhold.

Den viktigste egenskapen til atmosfæren er at den bestemmer lydets hastighetsvariasjon i høyden. Lydens hastighet er den effektive hastigheten, som er en kombinasjon av den adiabatisk lyd hastigheten og vindhastigheten i utbredelsesretningen. Hvis lyd hastigheten øker med høyden er resultatet en avbøyning nedover, som fører til høyere A-veide støynivåer sammenlignet med en nøytral atmosfære, og hvis lyd hastigheten avtar med høyden vil resultatet være en avbøyning oppover som fører til lavere A-veide støynivåer.

I Nord2000 Road er lyd hastigheten $c(z)$ en funksjon av høyden over bakken z , med en logaritmisk komponent og en lineær komponent som vist i ligning (10).

$$c(z) = A \ln \left(\frac{z}{z_0} + 1 \right) + Bz + C \quad (10)$$

der z_0 er ruhetslengden, A er den logaritmiske værkoeffisienten, B er den lineære værkoeffisienten og C er lydets hastighet på bakkenivå ($= c(0)$).

z_0 , A , B og C avhenger av hvilken type støynivå som skal beregnes. A , B og C må fastsettes på basis av værdata fra synoptiske stasjoner, i form av

- vindhastighet (i m/s) målt i en angitt høyde (vanligvis 10 meter over bakken)
- vindretning (i grader)
- atmosfærens stabilitet (vanligvis bestemt indirekte på basis av vindhastighet, skydekke og tiden på dagen)
- lufttemperatur t (i °C)

I en meteorologisk nøytral atmosfære bidrar vinden til den logaritmiske komponenten av den vertikale lydprofilen, mens temperaturens variasjon i høyden bidrar til den lineære komponenten av profilen. I dette tilfellet vil A være bestemt av vindens hastighet og retning, mens B tilsvarer et temperaturfall på 1°C for hver 100 meter (den adiabatisk temperaturgradienten). C er bestemt av lufttemperaturen. Hvis atmosfæren ikke er nøytral er fastsettelsen av A og B mer komplisert, se avsnitt A.4.4.

Andre meteorologisk definerte parametere i Nord2000 Road er:

- turbulensintensitet som tilsvarer vinden C_v^2 (i $m^{4/3}s^{-2}$)
- turbulensintensitet som tilsvarer temperaturen C_T^2 (i Ks^{-2})
- standardavviket for vindhastigheten i lydutbredelsens retning σ_w (i m/s)
- standardavviket for svingningene i temperaturgradienten $\sigma_{dt/dz}$ (i °C/m)
- relativ fuktighet RH (i %)

Turbulensintensiteten som tilsvarer vinden C_v^2 gir opphav til turbulente bevegelser i atmosfæren. Denne parameteren er ikke tilgjengelig i standard værdata. Den maksimale observerte verdien av C_v^2 er ca. $0,3 m^{4/3}s^{-2}$, og en verdi på $0,12 m^{4/3}s^{-2}$ anbefales brukt med mindre annen informasjon er tilgjengelig.

Turbulensintensiteten som tilsvarer temperaturen C_T^2 gir opphav til turbulent variasjon i atmosfærens temperatur. Denne parameteren er ikke tilgjengelig i standard værdata. Den maksimalt observerte verdien av C_T^2 er ca. $0,05 Ks^{-2}$, og det anbefales å bruke en verdi på $0,008 Ks^{-2}$ med mindre annen informasjon er tilgjengelig.

Standardavviket av vindhastigheten i lydutbredelsens retning σ_w angir fluktuasjonen i vindhastighet utover det som allerede omfattes av turbulensen. Turbulente bevegelser er fluktuasjoner som finner sted over sekunder eller minutter. For beregning av øyeblikkelig lydtrykknivå skal σ_w være lik null. For beregning av ekvivalent lydtrykknivå med en varighet av noen minutter opp til noen timer kan effekten av langsomme variasjoner i vindhastighet bli fanget opp av denne parameteren. Denne parameteren skal ikke benyttes for beregning av langsiktige effekter der været forandrer seg over tid. I stedet bør man benytte en framgangsmåte der været deles inn i et antall meteorologiske klasser.

Standardavviket av fluktasjoner i temperaturgradienten $\sigma_{dt/dz}$ tar hensyn til fluktasjoner i temperaturgradienten utover det som allerede omfattes av turbulensen. Det anbefales å benytte en verdi på null med mindre annen informasjon er tilgjengelig.

Sammen med lufttemperaturen benyttes relativ fuktighet til å beregne dempning som skyldes absorpsjon i luften. Denne verdien er vanligvis tilgjengelig i standard værdata.

A.4.2 Beregning av årsmiddelverdier for støynivåer

Framgangsmåten som er beskrevet i dette avsnittet benyttes for å beregne årsmiddelverdier av L_{den} og L_{night} som definert i avsnitt 2.2. L_{den} er basert på L_{Aeq} for dag-, kveld- og nattetid, mens L_{night} er L_{Aeq} for nattetiden.

For beregninger av det årsmiddelverdier er det blitt definert et antall meteorologiske klasser (meteo-klasser) som representerer alle typer av vær som forekommer over året. Et format med 25 meteo-klasser er blitt fastsatt, der hver klasse er definert ved en representativ verdi av A og B [11]. Når man skal bestemme lydshastighetsprofilen ved hjelp av ligning (10) benyttes en verdi for $z_0 = 0,025$ meter.

For å beregne årsmiddelverdi av L_{den} and L_{night} må man ha tilgjengelig statistikk som angir sannsynligheten for forekomsten av hver meteo-klasse. Gjennomsnittlig lufttemperatur og relativ fuktighet må også være tilgjengelig for beregning av både lydemisjon og lyd demping. Statistikken varierer med lydutbredelsens retning, og bør være tilgjengelig i retningsområdet fra 0° - 360° i intervaller på 10° . Lydutbredelsens retning er retningen fra kilden sett fra mottakeren ved bruk av koordinatsystemet for vindretning. Lydutbredelsens retning er 0° hvis kilden er i en posisjon rett nord for mottakeren, og 90° hvis kilden er i en posisjon rett øst for mottakeren. Lineær interpolasjon benyttes mellom verdiene på 10° . Et eksempel på en tabell med slik statistikk er gitt i tabell 17. Meteorologisk statistikk forutsettes å være tilgjengelig for brukeren. Prinsippene for produksjon av slike data, som er basert på observasjoner hver time (eller hver tredje time) fortrinnsvis over en periode på ti år, er beskrevet i [11]³⁾.

³⁾ Den korrekte fordelingen av forekomsten av meteo-klasser bør knyttes til forekomsten av emisjon av støy fra kilden. Fordelingen bør beregnes ved å telle forekomsten av hver lydforplantningsklasse for hvert kjøretøy i løpet av et referanseår. Nødvendige data omfatter informasjon på timenivå for både trafikk og meteorologi. Et eksempel på en beregning og ytterligere detaljer finnes i [17].

Tabell 17
Utdrag av et eksempel på statistiske vekter [sannsynlighet i %] for perioden "Dag".

			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
class	A (log)	B (lin)											
1	-1,00	-0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	-1,00	-0,04	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
3	-1,00	0	22,0	22,7	23,3	23,7	22,4	20,5	18,3	17,4	14,4	11,2	9,1
4	-1,00	0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	-1,00	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	-0,40	-0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	-0,40	-0,04	2,6	2,7	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	1,8	1,5	1,5
8	-0,40	0	29,8	28,7	27,2	25,5	25,1	25,4	27,3	27,0	28,4	30,0	28,8
9	-0,40	0,04	1,8	2,0	2,0	2,2	2,3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,4	2,2
10	-0,40	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,00	-0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,00	-0,04	0,3	0,3	0,1	0,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1
13	0,00	0	20,8	21,0	22,1	22,8	22,0	22,6	22,3	21,3	20,8	21,2	23,0
14	0,00	0,04	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,5
15	0,00	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,40	-0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,40	-0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,40	0	13,1	12,5	12,5	12,5	13,4	14,2	14,6	15,8	18,3	20,7	21,7
19	0,40	0,04	3,9	3,8	3,5	3,1	3,1	3,4	4,0	4,2	4,1	4,1	4,1
20	0,40	0,12	1,4	1,3	1,3	1,2	1,0	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7
21	1,00	-0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	1,00	-0,04	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	1,00	0	3,1	3,6	3,6	4,4	5,7	6,0	6,3	7,2	7,0	6,4	7,3
24	1,00	0,04	0,8	0,9	1,2	1,5	1,5	1,4	1,3	1,0	1,0	0,8	0,7
25	1,00	0,12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

For perioden på dagen og for hvert kildepunkt er lydtryknivået lik energigjennomsnittet av beregningsresultatet L_m i hver meteo-klasse veid med prosentandelen p_m av klassen, som vist i ligning (11). L_m beregnes ved hjelp av parameterne A_m og B_m , samt temperaturen t_m og den relative fuktigheten RH_m i meteo-klassen. Generelt for hver døgnperiode fås et middelnivå som gitt i ligning (11).

$$L_{\text{middel}} = 10 \lg \sum_{m=1}^{25} \frac{p_m}{100} 10^{\frac{L_m(A_m, B_m, t_m, RH_m)}{10}} \quad (11)$$

For utbredelsesveger som ikke går direkte fra kilden til mottakeren, slik som de for reflektert lyd eller lyd som avbøyes rundt vertikale kanter på en skjerm med avgrenset lengde, må prosentandelen ρ_m bestemmes ved at det tas hensyn til lydets faktiske utbredelsesretninger.

I prinsippet må det gjøres en beregning for hver av de 25 klassene, men i praksis synes bare 13 klasser å inneholde forekomster, og 3-5 av dem ser ut til å inneholde så få forekomster at antallet klasser kan reduseres til 8-10. For å redusere beregningstiden for tilnærmede overslag kan antallet reduseres til fire eller fem klasser (eller til og med enda færre) ved at enkelte av meteo-klassene slås sammen.

Ved beregning av årsmiddelverdier skal de øvrige parameterne være:

- $C_w^2 = 0,12 \text{ m}^{4/3}\text{s}^{-2}$
- $C_t^2 = 0,008 \text{ Ks}^{-2}$
- $\sigma_w = 0 \text{ m/s}$
- $\sigma_{dt/dz} = 0$

A.4.3 Beregning for spesifiserte værforhold

De mest interessante spesifiserte værforholdene er referanseværet i den gamle nordiske modellen for beregning av trafikkstøy. Referanseforholdene for denne metoden er ikke spesielt godt definerte, men de følgende verdiene anbefales for et best mulig estimat:

- $z_0 = 0,025 \text{ m}$
- $A = 0,25$ (tilsvarende en vindhastighet på 1,5 m/s ved 10 meter over bakken)
- $B = 0$ (tilsvarende en temperaturgradient på 0 °C /m)
- $t = 15 \text{ °C}$ (som gir $C = 340 \text{ m/s}$)
- $RH = 70 \%$
- $C_w^2 = 0,12 \text{ m}^{4/3}\text{s}^{-2}$
- $C_t^2 = 0,008 \text{ Ks}^{-2}$
- $\sigma_w = 0,5 \text{ m/s}$
- $\sigma_{dt/dz} = 0$

En annen type spesifiserte værforhold som kan være nyttig representerer et "moderat" verste tilfelle av lydutbredelse. Det anbefales å benytte $A = 1,0$ og $B = 0,04$, tilsvarende en vindhastighet på 6 m/s ved 10 meter over bakken og en temperaturgradient på 0,07 °C /m, mens resten av parameterne i Nord2000 Road tilsvarer parameterne ovenfor, fra den gamle nordiske metoden for beregning av trafikkstøy.

A.4.4 Beregning for faktiske værforhold

Når Nord2000 Road benyttes for beregning av lydtryknivå for faktiske værforhold må den vertikale lyd hastighetsprofilen passes inn i log-lin-profilen i ligning (10). I spesielle tilfeller med lagdelt atmosfære vil dette kanskje ikke være mulig, og Nord2000 Road kan ikke forventes å fungere godt i slike tilfeller. Slike tilfeller forekommer imidlertid sjelden, og i de fleste tilfeller kan den vertikale vind- og temperaturprofilen beregnes ved bruk av de såkalte Businger-Dyer-profilene, som gir vertikale lyd hastighetsprofiler som kan tilnærmes av log-lin-profilen med god nøyaktighet ved bruk av tilpasning ved minste kvadraters metode. For en meteorologisk nøytral og stabil atmosfære gir log lin profilen en perfekt tilpasning til den faktiske lyd hastighetsprofilen, og for en ustabil atmosfære har tilpasningen blitt funnet å være tilstrekkelig nøyaktig.

Referanser

- [1] Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise, January 2006.
- [2] Directive 2002/49/EC of 25 June 2002 of the European parliament and of the council on the assessment and management of environmental noise, L 189/12 Official Journal of the European Communities 18.7.2002.
- [3] SINTEF Type case computation software. To be published, Trondheim 2006.
- [4] H. Jonasson, Acoustic Source Modelling of Nordic Road Vehicles, SP Rapport 2006:12, Energy Technology, Borås 2006.
- [5] P. A. Morgan, P. M. Nelson and H. Steven, Integrated assessment of noise reduction measures in the road transport sector, PR SE/652/03, ETD/FIF.20020051 from TRL & RWTüV.
- [6] J. F. Hamet and M. Bérengier, Acoustical characteristics of porous pavements: a new phenomenological model, Proceedings Internoise 93, 641-646, Leuven 1993.
- [7] B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 1: Propagation in an Atmosphere without Significant Refraction, DELTA Akustik & Vibration, Rapport AV 1849/00, revised Hørsholm 2006.
- [8] B. Plovsing and J. Kragh, Nord2000. Comprehensive Outdoor Sound Propagation Model. Part 2: Propagation in an Atmosphere with Refraction, DELTA Akustik & Vibration, Rapport AV 1851/00, revised Hørsholm 2006.
- [9] EN 1793-1:1997, Road traffic noise devices. Test method for determining the acoustic performance – Part 1: Intrinsic characteristics of sound absorption.
- [10] S. Å. Storeheier, Nord2000: Sound scattering outdoors. Revised simple models, SINTEF Memo 40-N0 990003, Trondheim 1999.
- [11] R. Eurasto, Nord2000 for road traffic noise prediction. Weather classes and statistics, VTT Research Report No. VTT-R-02530-06, Esbo 2006.
- [12] Road Traffic Noise. Nordic prediction method, TemaNord 1996:525, Nordic Council of Ministers, Copenhagen 1996.
- [13] H. G. Jonasson and S. Å. Storeheier, Nord2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise, Version 1.0, SP Report 2001:10, Borås 2001. The source model in this report has been changed in [4].
- [14] EN ISO 140-5:1998, Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades.
- [15] EN ISO 10052:2004, Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method.
- [16] ISO, Guide for the expression of uncertainty in measurement (GUM).
- [17] G. Taraldsen and H. O. Hygen, Meteorology and Noise Emission from Road Vehicles, SINTEF 90-NO050193, Trondheim 2005.

Del 2

1 Bakgrunn

I forbindelse med implementering utvikling av NorStøy som en overbygning over Nord2000 Road metoden, er det gjort en del tilpasninger og valg som relaterer seg direkte til innholdet i veiledningen. I noen tilfeller dreier det seg om konkrete valg og tilpasninger til norske forhold, der metoden åpner for valgfrihet, eller der tilgjengelige grunnlagsdata begrenser mulighetene. I andre tilfeller dreier det seg om nødvendige valg relatert til Nord2000 Road, men som metoden ikke omtaler direkte.

Del 2 gjør rede for de valg og tilpasninger som er gjort i forbindelse med implementering av Nord2000 Road i NorStøy.

2 Grunnlagsdata for vegtrafikk

2.1 Kjøretøy

I Nord2000 Road er det lagt til rette for bruk av en rekke kjøretøykategorier, jfr. vedlegg 3 i veiledningen. I NorStøy er det imidlertid begrenset til å bruke de tre kjøretøykategoriene Lett, Middels og Tung, jfr. tabell 2 i veiledningen. Dette betyr at det ikke skilles mellom ulike underkategorier eller variasjon for ulike antall akslinger. Videre beregnes det ikke støy fra tohjulinger. Det tas heller ikke hensyn til at en del av de tunge kjøretøyene kan ha høytliggende eksosutslipp. For alle tunge kjøretøyer er det regnet med at eksosutslippet skjer i høyde 0,75 m over vegbanen, jfr. kapittel 3.1.1 i veiledningen.

2.2 Trafikk

I NorStøy blir trafikkmengden fordelt på de tre kjøretøykategoriene ut fra reelle tellinger eller annen informasjon avledet fra slike tellinger. Det tas følgelig ikke hensyn til den foreslåtte standard fordelingen som er vist i tabell 3 i veiledningen. Tilsvarende er fordelingen av trafikk over døgnperiodene Dag, Kveld og Natt også basert på reelle tellinger eller data avledet fra tellinger. Standard døgnfordeling jfr. tabell 5 i veiledningen er følgelig ikke i bruk.

Hastighet og stigning

Når det gjelder kjørehastighet tas ikke hensyn til at den kan variere over tid, eller at det kan være systematiske forskjeller i hastighet mellom de tre kategoriene, jfr. tabell 4 i veiledningen. Det tas heller ikke hensyn til at visse områder langs vegen kan ha spesielle kjøreforhold som køkjøring eller start/stopp variasjon (omtalt veiledningens kapittel 3.1.8). Det legges derimot til grunn at all trafikk følger oppgitt skiltet hastighet. Det tas imidlertid hensyn til øket støyutslipp for veger med stigning (motbakke/utforbakke) jfr. figur 6 i veiledningen.

2.3 Veg

Kjørefelt

I NorStøy er kjørefelt modellert ut fra vegens oppgitte bredde. Vegen er modellert med 3,5 meter bredde for hvert kjørefelt. Vegen antas å ha så mange kjørefelt som det er plass til. Kjørefeltene er samlet symmetrisk omkring vegens senterlinje, slik at eventuell overskytende vegflate ut mot vegskulderen antas å ikke være trafikkert. Hvert kjørefelt modelleres som en egen støykilde. Kildepunktene for støyutslippet blir plassert i det hjulsporet som ligger nærmest beregningspunktet. Det betyr at støy som beregnes på høyre side av kjøretøyene tar utgangspunkt i høyre side av kjøretøyet, og motsatt for venstre side. Det legges til grunn at kjøretøyene er 1,9 meter brede. Dette avviker litt fra veiledningen, der bredden på kjøretøyet implisitt er satt til 2 meter (jfr. kapittel 3.1.1).

Vegdekketype

Vegdekkets betydning for støyen tas hensyn til ved at brukeren kan velge blant de dekketyperne som er i vanlig bruk i Norge. Standard referansedekke er et SKA 11/14, som er i

tråd med kildemodellen Nord2000 Road. Velges et annet dekke vil det bli beregnet med en justert kilde som stemmer med midlere måleverdier fra et stort antall målinger utført for norske forhold av SINTEF. Denne er mer korrekt enn den grove korreksjonen for steinstørrelse som finnes i figur 2 i veiledningen, eller de eksemplene som er vist i tabell 6 i veiledningen, bl.a. fordi den tar hensyn til variasjon i spektrum mellom ulike dekker, i tråd med vedlegg 2 i veiledningen. Det kan også skilles mellom nylagt og slitt dekke. Tabell 1 nedenfor gjengir de tilgjengelige vegdekkene, og tallfester deres innvirkning på A-veid kilde-nivå for rullestøy. Justeringen gjøres kun for lette kjøretøy. Ved hastighet under 50 km/t vil justeringen tilsvare den ved 50 km/t. Tilsvarende vil justeringen ved 80 km/t også gjelde for høyere hastigheter. Ved hastigheter mellom disse to gjøres det en interpolering.

Tabell 1: Forskjeller i rullestøy mellom de tilgjengelige vegdekkene i NorStøy. Tallverdiene angir avvik i A-veid kilde-nivå mellom dekket og referansedekket. Det skilles mellom nylagt og slitt dekke, og kjørehastighetene 50 og 80 km/t.

Veidekke	Nylagt (<1 år) ved 50 km/t	Slitt (>1 år) ved 50 km/t	Nylagt (<1 år) ved 80 km/t	Slitt (>1 år) ved 80 km/t
Ska11/Ska14	referanse	referanse	referanse	referanse
Ska16	0	+0,2	-0,9	+0,4
Ab16/Agb16	0	+0,3	0	0
Ab11/Agb11	-2,9	-0,9	-2,8	-1,1
Ska8/Ab8	-4,3	-1,6	-4,9	-1,2
Ska6/Ab6	-5,1	-1,8	-5,4	-2,6
Tynndekke T8	-4,0	-1,3	-4,9	-2,5
Ettlags drens Da8	0	-2,7	-7,2	-3,9
Ettlags drens Da11	-3,8	-2,2	-5,3	-2,8
Tolags drens Da8	-6,7	-3,4	-8,4	-3,3
Tolags drens Da11	-4,1	-3,9	-5,0	-4,2

Alternativt er det imidlertid mulig å utelate disse mer korrekte justeringene. Da vil det imidlertid kun tas hensyn til om dekket er av type "AB" eller "SKA" (jfr. veiledningens figur 2), og steinstørrelsen tas det ikke hensyn til.

Temperaturkorreksjon, piggdekk med mer

NorStøy tar ikke hensyn til eventuell variasjon i dekkets temperatur, jfr. kapittel 3.1.7 i veiledningen. Alle kildedata og beregninger av støy gjelder for en dekktemperatur på 20 °C, som ventes å gi et representativt støynivå for et gjennomsnittlig år (L_{den}). Det er følgelig ikke lagt inn mulighet for valg av andre dekktemperaturer, slik figur 5 i veiledningen legger opp til. Det tas per i dag heller ikke hensyn til endret støy ved bruk av piggdekk, eller når det er vannfilm på vegbanen (omtalt i kapittel 3.1.7 i veiledningen). NorStøy regner med at alle vegdekkene har akustisk impedans tilsvarende normal veg i veiledningens tabell 7.

3 Modellering av omgivelser

3.1 Intern 3D modell

Ved normal bruk av NorStøy leses informasjon om topografi og andre geometriske data inn fra digitale kart.

Internt i NorStøy modelleres terrenget omkring vegnettet i en triangelmodell, som er et ruteneett med høydeinformasjon bundet sammen av trekkanter. På denne overflaten av trekkanter legges et lag med polygoner som avgrensner områder med ulike akustiske overflateegenskaper. Bygninger, skjærmer, voller, broer og vegprofiler redigeres deretter inn i denne modellen ved hjelp av ekstra trekkanter basert på geometriske data for omriss, høyde o.l. Resultatet blir en fullstendig 3D modell som danner en tett overflate over landskapet som skal støyberegnes. Ut fra denne 3D modellen blir det beregnet lydbaner for både direkte lyd og reflektert lyd mellom kildepunkter langs vegnettet og beregningspunkter i omgivelsene. Algoritmene i Nord2000 Road blir anvendt for vertikale tverrsnitt av geometrien langs disse lydbanene.

Alle elementene i den interne 3D modellen vil kunne opptre som støyskjærmer, såfremt de har tilstrekkelig høyde i forhold til de respektive lydbanene i henhold til Nord2000 Road. Likeledes vil potensiell vertikal lydrefleksjon / demping fra de enkelte elementene langs lydbanen bli beregnet i henhold til algoritmene i Nord2000 Road (omtalt i veiledningens kapittel 3.2.2).

3.2 Lydrefleksjon

Lateral (sideveis) lydrefleksjon, beregnes kun fra de elementene i den interne 3D modellen som på forhånd er klassifisert som reflektorer (speil). Dette vil gjelde alle bygningsfasader og alle vertikale støyskjærmer. Terrengformasjoner, skjæringer/fyllinger langs vegen, voller eller lignende blir ikke regnet som reflektorer for støy. Når NorStøy beregner hvor mye lyd som reflekteres tas det utgangspunkt i lydbanens geometriske treffpunkt på reflektoren. Refleksjonen dempes dersom deler av reflektorens ramme (høre/venstre kant, topp og bunn) faller innenfor en Fresnel-sone omkring treffpunktet. Ved beregning av slike treffpunkt og tilhørende demping i reflektert lyd, tas det ikke hensyn til at lydbanene kan være krumme pga vind eller temperaturgradient. Det regnes kun med rette linjer. Grunnen er at krumningen vanligvis vil være forskjellig for de ulike delstrekningene fra kildepunkt til beregningspunkt via refleksjonspunktene. Ved beregning av skjærming og bakkedemping i forbindelse med reflektert lyd, blir krumningen derimot tatt med. Her settes krumningen for hele lydbanen lik krumningen for den lengste delstrekningen.

NorStøy regner med 3. ordens refleksjoner. Det betyr at lyd kan være innom inntil 3 reflektorer underveis til mottakeren. Det er regnet med at alle reflektorene har en koeffisient for energirefleksjon på 0,8, jfr. tabell 13 i veiledningen. I et tettbebyggt område vil det finnes et stort antall mulige lydbaner mellom et gitt kildepunkt og et gitt beregningspunkt. Dette kan medføre store mengder beregninger med urimelig lang beregningstid. For å redusere

dette er det innført visse forenklinger i NorStøy. Dette er forhold som er beslektet med innholdet i Nord2000 Road, men som ikke er behandlet der.

- Lydbanen ignoreres hvis den har en reflektor som ligger mer enn 1000 meter fra beregningspunktet, målt langs lydbanen.
- Lydbanen ignoreres hvis den har en reflektor som dekker en horisontal synsvinkel på mindre enn 20 grader, sett fra beregningspunktet, langs lydbanen.
- Lydbanen ignoreres hvis den inneholder en reflektor som er skjult (skjermet) av en annen reflektor, sett fra beregningspunktet, langs lydbanen.
- Lydbaner som er tilstrekkelig lik kombineres til én. Kriteriene er at kildepunktene er samlet innenfor reglene i Nord2000 Road for segmentering av vegen, og at eventuelle skjermer og reflektorer langs lydbanene er de samme.
- Det antas at virkningen av lydrefleksjon i et beregningspunkt, er den samme for alle delkildepunktene på tvers av vegens senterlinje. Dette betyr at andel reflektert lydeffekt i beregningspunktet, som beregnes for én kildehøyde i ett kjørefelt, vil bli direkte gjenbrukt for andre kildehøyder og andre kjørefelt som er assosiert med samme sted på vegen.

I NorStøy er det ikke beregnet lydoverføring rundt kantene på en skjerm (ref. kapittel 3.2.2 i veiledningen). Dette er i praksis av uvesentlig betydning fordi vegens horisontale utstrekning bidrar til en jevn overgang i støy bildet fra foran til bak skjermen, omkring skjermens endepunkter.

Det er heller ikke beregnet virkningen av spredesoner i tettbebyggelse (ref samme kapittel). Grunnen er at erfaringer i ettertid tilsier at metoden vil underestimere støyen. Valget er i overensstemmelse med tilsvarende praksis i Danmark, der Nord2000 Road har offisiell status.

3.3 Værforhold

Statens vegvesen har valgt å ikke inkludere værstatistikk i NorStøy foreløpig, da de lokale variasjonene er store, og dels større enn generelle regionale variasjoner. Dette er bl.a. uttalt Sintef-notat datert 17.2.2006 fra Gunnar Taraldsen¹

Det vil være svært krevende å implementere modeller for representative vær situasjoner i hele landet. Det tas altså ikke hensyn til variasjon i værforhold eller brukervalgt værstatistikk (omtalt i kapittel A.4.2 i veiledningens vedlegg 4). I stedet beregnes det med en konstant vær situasjon (jfr. kapittel A.4.1 i veiledningens vedlegg 4). Det er valgt en situasjon som medfører moderat gunstige forhold for lydutbredelse i alle retninger, altså en konservativ beregning. Parametrene for denne situasjonen er:

- Ingen vind
- Temperaturgradient på + 1 °C per 100 meter (moderat inversjon)
- Lufttemperatur på 15 °C
- Relativ luftfuktighet på 70 %

¹ Meteorologi og beregning av støy i henhold til EUs støydirektiv: Et sammendrag

4 Beregning av støy

4.1 Tunnelstøy

NorStøy beregner støy fra tunnelåpninger i henhold til kapittel 4.2 i veiledningen og tilhørende bakenforliggende metode (veiledningens referanse [13]). Dette inkluderer støtte for å variere egenskapene for tunnelens indre flater (jfr. tabell 14 i veiledningen).

4.2 Maksimalt støynivå

NorStøy beregner to varianter av maksimalt støynivå fra vegtrafikk. Disse er $L_{p,AFmax,natt}$ og $L_{p,AFmax,95,natt}$ (også kalt L_{5AF}). Begge variantene beregnes for enkeltkjøretøy noe som betyr at NorStøy ser bort fra muligheten for at flere kjøretøy kan opptre på samme tidspunkt. Dette er i samsvar med de fleste eksisterende metodene for beregning av maksimalt støynivå fra vegtrafikk, inklusive Nord2000 Road.

$L_{p,AFmax,natt}$ er et forventet gjennomsnittlig maksimalt støynivå for trafikk om natten, jfr. kapittel 4.1.1 i veiledningen. Det gjelder for den kombinasjonen av kjøretøyklasse og vegsegment som gir høyest maksimalt støynivå i beregningspunktet. Dette tallet er uavhengig av trafikkmengde (så lenge mengden ikke er null).

$L_{p,AFmax,95,natt}$ er det støynivået som overskrides av 5 % av støyhendelsene i løpet av en gjennomsnittlig natt, jfr. kapittel 4.1.2 i veiledningen. Dette tallet tar hensyn til forventet statistisk spredning av maksimalnivået for den kjøretøykategorien som gir høyest maksimalt støynivå (jfr. figur 10 i veiledningen). Dette tallet påvirkes heller ikke av trafikkmengde (så lenge mengden ikke er null). Beregningen gjelder for det vegsegmentet som isolert sett gir høyest $L_{p,AFmax,95,natt}$ i beregningspunktet.

5 Resultater

5.1 Bakgrunn

Nord2000 Road som grunnleggende metode er ikke ment å definere hvordan et beregningsverktøy beregner og fremstiller det endelige støykartet for området. Temaet grenser likevel tett opp til viktige metoder i Nord2000 Road. Det gis derfor her en kort beskrivelse av hvordan NorStøy kommer frem til de endelige resultatene i form av fasadepunkt og kotekart.

5.2 Fasadepunkt

Beregning av støy i fasadepunkt har som formål å tallfeste hvor stor støybelastning en bygning er utsatt for. Hensikten er som oftest å etablere grunnlag for å bestemme innendørs støy, eller å beregne utendørs støybelastning som skal relateres til innendørs aktiviteter. En god parameter for dette er lydtrykknivået for lydbølger som treffer bygningens fasade. Denne betegnes ofte (noe upresist) som Frittfelt lydnivå, og inkluderer ikke lyd som måtte være reflektert tilbake fra bygningen selv. Siden støyen varierer over bygningens ulike fasader, vil NorStøy normalt beregne i mange slike fasadepunkter for samme bygning. Disse plasseres i et rutenett omkring hele bygningen, med 2 meter horisontal, og 1,5 meter vertikal innbyrdes avstand. For å begrense beregnings- og datamengdene vil NorStøy imidlertid ikke ta med fasadepunkt dersom støynivået avviker mindre enn 0,5-1 dB fra et nærliggende representativt punkt på samme fasade. Grensen er 0,5 dB for L_{den} og 1 dB for L_{5AF} og brukes slik at fasadepunktet bare fjernes hvis avviket er større enn grensen for både L_{den} og L_{5AF} .

5.3 Kotekart

Støynivået i omgivelsene beregnes og rapporteres i NorStøy i form av kotekart. Dette blir produsert ut fra en mengde beregningspunkt som er jevnt fordelt i området. Beregningspunktene plasseres i et regulært rutenett med kvadratiske ruter, der brukeren kan oppgi horisontal oppløsning og høyde over bakken. I tillegg legges det inn ekstra beregningspunkter i forbindelse med bygningssomriss og skjermer. Støykotene fremstilles ved hjelp av bilinear interpolering i en triangelmodell mellom støynivå i beregningspunktene i dette rutenettet. Interpoleringen gjøres ikke på tvers av geometriske barrierer, for sikre at kotekartet skal kunne gjenspeile mulige sprang i lydnivå over skjermer og bygningsfasader. Voller regnes som en del av bakken. Eksempelvis vil en beregning av støykart 4 meter over bakken, bli gjort 4 meter over vollen også. Vollen introduserer derfor ikke et mulig sprang i støynivå, slik skjermer og bygninger kan gjøre.

Brukeren kan videre styre den geometriske oppløsningen i gjengivelsen av kotene ved å oppgi ønsket målestokk for kartet. Uavhengig av dette kan brukeren også be om at støy-

nivået i beregningspunktene utjevnes geometrisk (glattes) i forhold til omkringliggende punkt, før kotene produseres. Dette medfører jevnere koter gjennom områder med stor lokal variasjon i støyen, og gir koter som blir lettere å tolke visuelt. Man unngår eksempelvis uleselige svermer av "øyer" og "fjorder" i støylandskapet mellom bygninger i tettbygde områder. På den andre siden kan slik glatting medføre at skarpe detaljer som tynne koteformasjoner tett på vegen, viskes ut.



Statens vegvesen

Håndbøker bestilles fra:

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Publikasjonsekspedisjonen
Boks 8142 dep.
0033 Oslo

Telefon: 02030
Faks: 22 07 37 68
publvd@vegvesen.no

ISBN 978-82-7207-638-1