

Rapport

Forskjeller og likheter mellom Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode

Forfattere:

Leo Heggem Hauge, Herold Olsen, Karen Brastad Evensen

Rapportnummer:

2023:00013 - Åpen

Oppdragsgiver:

Miljødirektoratet

Rapport

Forskjeller og likheter mellom Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode

EMNEORD

Cnossos-EU, Nordisk
beregningss metode, støy

VERSJON

1.0

DATO

2023-01-04

FORFATTERE

Leo Heggem Hauge, Herold Olsen, Karen Brastad Evensen

OPPDRAGSGIVER(E)

Miljødirektoratet

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

Merete Gynnild

PROSJEKTNUMMER

102024869-2

ANTALL SIDER OG VEDLEGG

35

SAMMENDRAG

Det er gjort en sammenligning av Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode. I sammenligningen er det gått i dybden på hva som er forskjeller og likheter mellom de to metodene med tanke på lydbredelse og kildenivå. Vegtrafikk har vært hovedfokus, men det er også gjort en vurdering for industri og jernbane.

Studien viser at Cnossos-EU er mer detaljrik enn Nordisk beregningsmetode 1996 med hensyn til frekvensspekter, kompleks terrengprofil, håndtering av dobbelt skjerming, akselerasjon inn og ut av kryss, korreksjon i forbindelse med bruk av piggekk, samt hensyn til værstatistikk. Blant hovedfunnene finner man at Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode håndterer kildenivå, markabsorpsjon, og meteorologi forskjellig, og at dette kan ha stor betydning for sluttresultatet. Forskjellene mellom de to beregningsmetodene varierer, og markabsorpsjon er en viktig forklaringsfaktor. Avhengig av situasjon kan derfor Cnossos-EU beregne både lavere og høyere enn Nord96.

UTARBEIDET AV

Leo Heggem Hauge, Herold Olsen, Karen Brastad Evensen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Rolf Tore Randeberg

SIGNATUR

GODKJENT AV

Stian Husevik Stavland

SIGNATUR

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2022-12-02	Første utkast
1.0	2023-01-04	Endelig utgave

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	4
2	Beregningsmetodene	5
3	Forskjeller og likheter mellom Cnossos-EU og Nord96	6
3.1	Kildemodell for vegtrafikk.....	6
3.2	Lydutbredelse.....	12
3.2.1	Avstandsdempning	12
3.2.2	Meteorologi	12
3.2.3	Bakkedempning / markabsorpsjon.....	13
3.2.4	Skjerming	17
3.2.5	Terrengvariasjon.....	22
3.3	Beregning av en sammensatt modell	26
3.4	Industri	29
3.5	Jernbane.....	31
4	Oppsummering	32

BILAG/VEDLEGG

Appendix A: Referanseliste

Appendix B: Beregningsoppsett

1 Introduksjon

Beregningsmetodene for støy er i stadig utvikling, og med teknologiutviklingen i samfunnet kommer rikere grunnlagsdata som åpner for nye tilnærminger til løsninger av komplekse situasjoner. Valg av metodikk som gir de mest riktige resultatene i henhold til dagens viten er å foretrekke. I Norge er to av de mest aktuelle beregningsmetodene Nordisk beregningsmetode fra 1996, som er en svært anvendt beregningsmetodikk for beregning av støy fra samferdsel i dag, og Cnossos-EU, som er en ny europeisk støyberegningss metode.

På oppdrag for Miljødirektoratet har SINTEF fått i oppgave å sammenligne de to beregningsmetodene Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode. Sammenligningen skal svare ut hva som er forskjeller og likheter mellom de to metodene. Den vil gå i dybden på hvordan metodikkene håndterer kildenivå og lydutbredelse, og vil presentere noen beregningseksempler for å forklare og tydeliggjøre forskjellene. Rapporten har hovedfokus på støy fra vegtrafikk, men vil også kommentere industri og jernbanestøy.

2 Beregningsmetodene

Nordisk beregningsmetode [1] ble utviklet av samferdselsmyndighetene i et samarbeidsprosjekt mellom de nordiske landene Danmark, Norge, Finland og Sverige på slutten av 1970-tallet. Metoden er utviklet i hovedsak for veg- og jernbanestøy. Den første versjonen for vegtrafikk ble publisert i 1978, og den andre versjonen ble utviklet i 1989. Versjonen som benyttes i dag er den tredje versjonen, og er et resultat av en revisjon som ble ferdig i 1996 (Nord96). Metoden baseres i stor grad på empiriske data fra nordiske målekampanjer utført tidlig på 70-tallet. Nordisk metode for jernbane [2] ble utviklet i 1984, og den andre versjonen, som benyttes i dag, ble utviklet i 1996. Nordisk metode for industristøy [3] ble utviklet i 1982, og har ikke blitt revidert siden.

Cnossos-EU (**C**ommon **NO**ise **a**SSessment **Meth**Od**S** in the **EU**) [4] er en europeisk beregningsmetode for støy fra vegtrafikk, jernbane, fly og industrikilder. Cnossos-EU sin modell for lydforplantning bygger på den franske metoden NFS31-133, også kjent som NMPB-Routes-2008 [5]. Metodikken er beskrevet i EU-Direktiv 2015/996 [4], med noen endringer beskrevet i EU-Direktiv 2021/1226 [6]. Merk at den opprinnelige beskrivelsen av Cnossos-EU, JRC-rapporten 2012 [7], er utdatert og skal ikke brukes. Formålet med Cnossos-EU er å sikre en enhetlig støy metodikk i Europa. Dette for å gi konsistente og sammenlignbare resultater av antall personer som er utsatt for støy i og omkring EU-land. Fra 1. januar 2019 skal alle EUs medlemsstater benytte Cnossos-EU for strategisk støykartlegging.

3 Forskjeller og likheter mellom Cnossos-EU og Nord96

I dette kapitelet vil det bli presentert hvordan Cnossos-EU og Nord96 skiller seg fra hverandre og hva som er likheter mellom dem. I denne rapporten er det gjort sammenligninger av metodikk som er tilstrekkelig beskrevet i begge beregningsmetodene. Det vil si at deler av metodene som er manglende eller uklar er utelatt. Dette gjelder blant annet forhold omkring refleksjon fra bygninger, støyskjermer o.l., da dette ikke er godt nok beskrevet i metodene til å kunne gjøre en god sammenligning.

Figur 3-1 viser en overordnet oversikt over kildemodellen og lydutbredelsesmodellen som til sammen utgjør Cnossos-EU for vegtrafikk. Cnossos-EU er en mer detaljert metode enn Nord96, og åpner for at det kan benyttes rikere inngangsdata på kildesiden. I tillegg tar utbredelsesmodellen høyde for flere fysiske fenomen enn utbredelsesdelen til Nord96. Parametere hvor Cnossos-EU er forskjellig fra Nord96 er markert med fet skrift i figuren. I de følgende delkapitellene er det gått mer i detalj for å forklare disse punktene samt koble de opp mot beregningseksempler for å illustrere likhet og ulikhetene mellom beregningsmetodene. Beregningseksempelene er utviklet til å være stiliserte eksempler, for at en tydelig kan se effekten, og lettere forstå hvorfor resultatene blir forskjellige. Til slutt er det gjort noen beregninger av mer realistiske scenarioer for å se hvordan de to metodene vil være forskjellige i praksis. Oppsettet og innstillinger benyttet i beregningseksempelene er beskrevet Appendix B.



Figur 3-1. Overordnet struktur for vegtrafikk. Parametere hvor Cnossos-EU er forskjellig fra Nord96 er vist med fet skrift.

3.1 Kildemodell for vegtrafikk

Det totale støynivået fra vegen bestemmes av mange faktorer, blant annet: trafikkmengde, hastighet, type kjøretøy, type bildekk, og hvilken type vegdekke som benyttes. Nord96 og Cnossos-EU håndterer disse faktorene på ulike måter.

Norske forhold: I Norge er det vanlig at det benyttes piggdekk i deler av året. I enkelte områder opp mot 6 måneder i løpet av et år. Som følge av bruk av piggdekk er asfalt som benyttes i Norge (SMA11) noe grovere enn et gjennomsnittlig europeisk asfaltdekke. Gjennomsnittstemperaturen i Norge er også varierende som følge av kyst- og innlandsklima samt stor avstand fra sør til nord.

Likheter:

Begge metodene, Cnossos-EU og Nord96, benytter inngangsverdier som trafikkmengde og hastighet i modellen. Begge metodene forutsetter at vegtrafikk-kilden blir håndtert som en linjekilde.

Forskjeller:Kildenivå**Nord96:**

- Kildedata fra nordisk bilpark, 1970 – 80 tallet. Siste oppdatering av måledataene ble gjort i 1995.
- Kildedata som oppgis (per kjøretøykategori) er A-vektet lydtryknivå 10 meter fra vegen (ikke spektralt).
- Ved beregning av skjermingstilfeller antas det kildehøyde 0,5 meter over vegdekket.
- Målingene for kildegrunnet er utført for en lufttemperatur på 10 – 20 °C. Det er ikke mulig å korrigere kildenivået med hensyn til temperatur i beregningene.
- Det tas ikke hensyn til akselerasjon.
- Det tas ikke hensyn til piggdekk.
- Referanse-vegdekke er tett og jevn asfaltbetong med maks steinstørrelse 12 – 16 mm (DAC12/16) som er mer enn 1 år gammel.
- En forenklet, og noe utdatert, modell for beregning av støy i forbindelse med veg-gradient. Det gis korreksjon for gradient mellom 0 – 10 % for tunge og lette kjøretøy.

I enkelte implementeringer kan brukeren legge inn korreksjoner for spesielle typer vegdekker (porøs, hard asfalt). Dette er et valg brukeren kan gjøre selv, men er ikke direkte håndtert i selve metoden.

Cnossos-EU:

- Kildedata fra europeisk bilpark, målt etter år 2005. Koeffisientene har blitt beregnet med utgangspunkt i målinger av støy fra en bilpark som er ment å være representativ for gjennomsnittet i Europa. Siste oppdatering av koeffisientene var i år 2020. Kildenivået er beregnet på en mer detaljert og teoretisk måte enn i Nord96.
- Kildedata per kjøretøykategori er oppgitt i lydeffektnivå for oktavbåndverdier fra 63 Hz til 8000 Hz.
- Kildehøyde er 0,05 meter (5 cm) over vegdekket.
- Tar detaljert hensyn til rullestøy som følge av:
 - Type dekk (f.eks. piggdekk og sommerdekk)
 - Temperatur
 - Type vegdekke
- Mer detaljert og oppdatert vurdering av støy i forbindelse med veg-gradient. Metoden tar også hensyn til negativ gradient. Har ingen korreksjon for gradient fra -6 til +2 % for lette kjøretøy og fra -4 % til 0 % for tunge kjøretøy.
- Referanse-vegdekke er basert på tett asfaltbetong 11 mm (DAC11) og stein-støpeasfalt 11 mm (SMA11) som er mellom 2 og 7 år gammel.
- Kan ta hensyn til akselerasjon i forbindelse vegkryss og rundkjøringer.

Kjøretøykategorier

Nord96 opererer med to kjøretøykategorier: lette og tunge kjøretøy, der tunge kjøretøy er definert som kjøretøy som er tyngre enn 3,5 tonn.

I Cnossos-EU er kjøretøyene fordelt mellom 5 kategorier: lette, mellomtunge, tunge, tohjul (motersykel), og åpen klasse, se beskrivelse i

Tabell 3-1. I Cnossos-EU vil kjøretøykategori 1 tilsvare lette kjøretøy i Nord96 ($\leq 3,5$ tonn), mens kjøretøykategori 2 og 3 vil tilsvare tunge kjøretøy i Nord96 ($> 3,5$ tonn). Cnossos-EU har i tillegg en egen kategori for motorsykler, og en åpen gruppe som kan defineres til et fremtidig behov.

Tabell 3-1. Kjøretøykategorier i Cnossos.

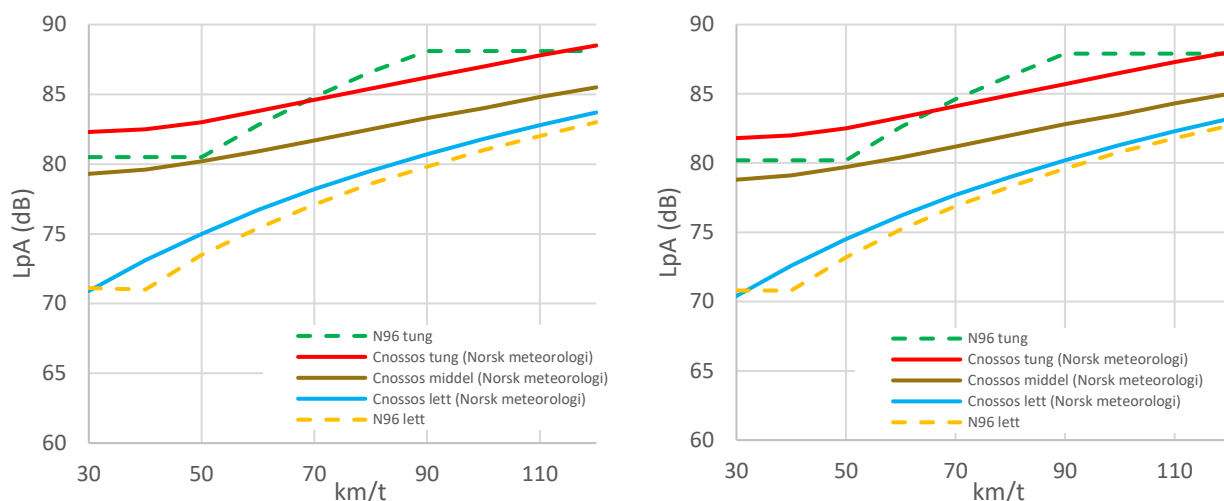
Kategori	Navn	Beskrivelse
1	Lette kjøretøy	Personbiler, varebiler $\leq 3,5$ tonn, SUV, flerbruksbiler inkludert tilhengere og campingvogner.
2	Mellomtunge kjøretøy	Middelstunge kjøretøyer, varebiler $> 3,5$ tonn, busser, bobiler osv. med to aksler og tvillinghjul montert på bakaksel.
3	Tunge kjøretøy	Tunge kjøretøyer, busser med tre eller flere aksler.
4	Tohjuls kjøretøy	(4a) To-, tre- og firehjuls mopeder (4b) Motorsykler med og uten sidevogn, trehjuls og firehjuls motorsykler
5	Åpen gruppe	Skal defineres i henhold til framtidige behov

Beregningseksempel

Siden Nord96 kun har oppgitt et lydtryknivå for en avstand på 10 m er det valgt å bruke lydtryknivå ved denne avstanden som utgangspunkt for sammenligningen av kildenivå mellom metodene. I beregningene er det benyttet hard mark ($G=0$), flatt terreng, ÅDT 86400 som representerer kontinuerlig støynivå, og mottakerhøyde på 1,5 m og 4 m. For meteorologi er det benyttet tall for norske forhold. Se kapittel 3.2.2 for beskrivelse av meteorologi.

Kildenivå

Figur 3-2 viser beregningsresultater for Nord96 og Cnossos-EU for hastigheter 30 – 120 km/t og for kjøretøykategoriene lett (kategori 1), mellomtung (kategori 2) og tung (kategori 3).



Figur 3-2. Kildenivå for Cnossos-EU og Nord96 på 10 meter avstand for ulike hastigheter. Figur til venstre viser resultat med mottakerhøyde på 1,5 m mens figur til høyre viser resultat med mottakerhøyde på 4 m. Trafikkmengde ÅDT 86400.

Tabell 3-2. Differanse mellom Nord96 og Cnossos-EU for ulike kjøretøykategorier og mottakerhøyder.

høyde	Beskrivelse	Hastighet [Km/t]									
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1,5 m	Cnossoslett – Nord96lett [dB]	-0,2	2,1	1,5	1,3	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7
	Cnossosmid – Nord96tung [dB]	-1,2	-0,9	-0,3	-1,9	-3,1	-4,1	-4,8	-4,1	-3,3	-2,6
	Cnossos tung – Nord96tung [dB]	1,8	2	2,5	1	-0,2	-1,2	-1,9	-1,1	-0,3	0,4
4 m	Cnossoslett – Nord96lett [dB]	-0,4	1,8	1,3	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
	Cnossosmid – Nord96tung [dB]	-1,4	-1,1	-0,5	-2,2	-3,4	-4,3	-5,1	-4,4	-3,6	-2,9
	Cnossos tung – Nord96tung [dB]	1,6	1,8	2,3	0,7	-0,5	-1,4	-2,2	-1,4	-0,6	0,1

Som en kan se fra Figur 3-2 og Tabell 3-2 viser resultatene at kjøretøykategori 1 (lette) i Cnossos-EU har et noe høyere kildenivå enn lette kjøretøy i Nord96. Forskjellen mellom Cnossos-EU og Nord96 for lette kjøretøy er imidlertid liten/moderat hvor det er størst forskjell (ca. 2 dB) ved rundt 40 – 50 km/t.

Kjøretøykategori 2 (mellomtunge) til Cnossos-EU kan i utgangspunktet ikke direkte sammenlignes med tunge kjøretøy til Nord96 siden sammensetningen av kjøretøyene i de to kjøretøykategoriene er forskjellig. Men, siden begge kjøretøy kategoriene håndterer tunge kjøretøy (> 3,5 tonn) er det gjort en sammenligning for å gi et inntrykk av forskjellene mellom de to kategoriene. Cnossos-EU har opptil 5 dB lavere støynivå enn Nord96, og det er størst forskjell ved rundt 90 km/t.

Kjøretøykategori 3 (tunge kjøretøy) er forskjellen mellom Nord96 og Cnossos-EU i stor grad avhengig av hastighet. Cnossos-EU har et høyere nivå enn Nord96 for hastigheter opp til ca. 70 km/t, men får et lavere nivå enn Nord96 for hastigheter over dette. Differanse mellom Cnossos-EU og Nord96 varierer derfor mellom ca. +3 dB ved 50 km/t og ca. -2 dB ved 90 km/t.

Forskjellene i kildenivå mellom Nord96 og Cnossos-EU vurderes å være sammensatt av flere faktorer. Nord96 baseres på målinger av en nordisk bilpark i tidsrommet 1970 – 1980, med siste oppdatering i 1995. Cnossos-EU baseres på målinger av en europeisk bilpark utført etter år 2005 med siste oppdatering i 2020. Det har skjedd mye utvikling i bilindustrien ifm. motorstøy og støysvake dekk, samt utvikling av mer støysvake asfaltdekker i perioden 1995 – 2020. Det er også en del uklårheter i hvordan kildedataene i

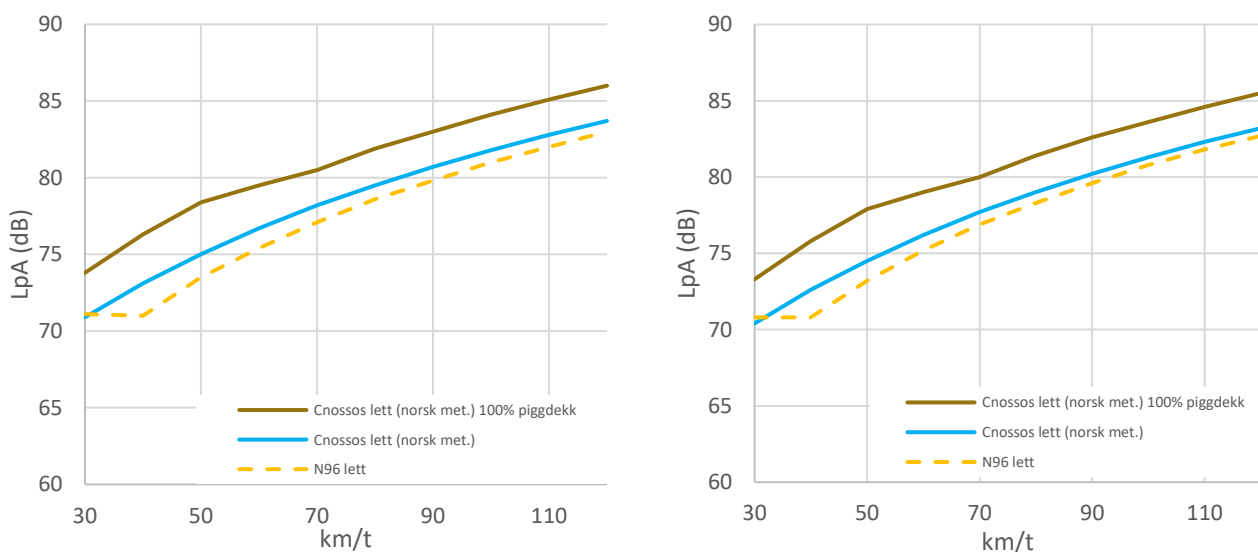
Nord96 har blitt fremskaffet og bearbeidet, dette gjelder blant annet vegdekke, dekktype, målemetode, og kjøretøy. For tunge kjøretøy har gruppen i Cnossos-EU blitt delt opp i to kategorier, noe som gjør det vanskelig å sammenligne dette direkte med Nord96. I tillegg kan noe av forskjellene forklares med at det benyttes meteorologi for norske forhold og temperatur (4°C) i Cnossos-EU, som vil gi noe høyere kildenivå som følge av mer rullestøy sammenlignet med temperatur på 10 – 20°C i kildedata for Nord96.

Det bemerkes at typiske norske vegdekker er noe grovere enn referansevegdekket som oppgitt i Cnossos-EU, dette som følge av piggdekk bruk. Det er derfor grunn til å anta at et norsk vegdekke vil ha noe høyere rullestøynivå enn referansedekket som er oppgitt i Cnossos-EU. Mer forskning er nødvendig på gjeldende vegdekker, sett i sammenheng med gjeldende kildepekter, før en korreksjon i Cnossos-EU for norske forhold kan tallfestes.

Piggdekk

Figur 3-3 viser resultat for situasjon med piggdekk (100 % av tiden) og uten piggdekk. Beregningene er gjort for en avstand på 10 meter med mottakerhøyde på 1,5 m og 4 m for hastigheter 30 – 120 km/t. Merk at Nord96 ikke tar hensyn til piggdekk, og at piggdekk-korreksjon i Cnossos-EU kun gjelder for lette kjøretøy (kategori 1).

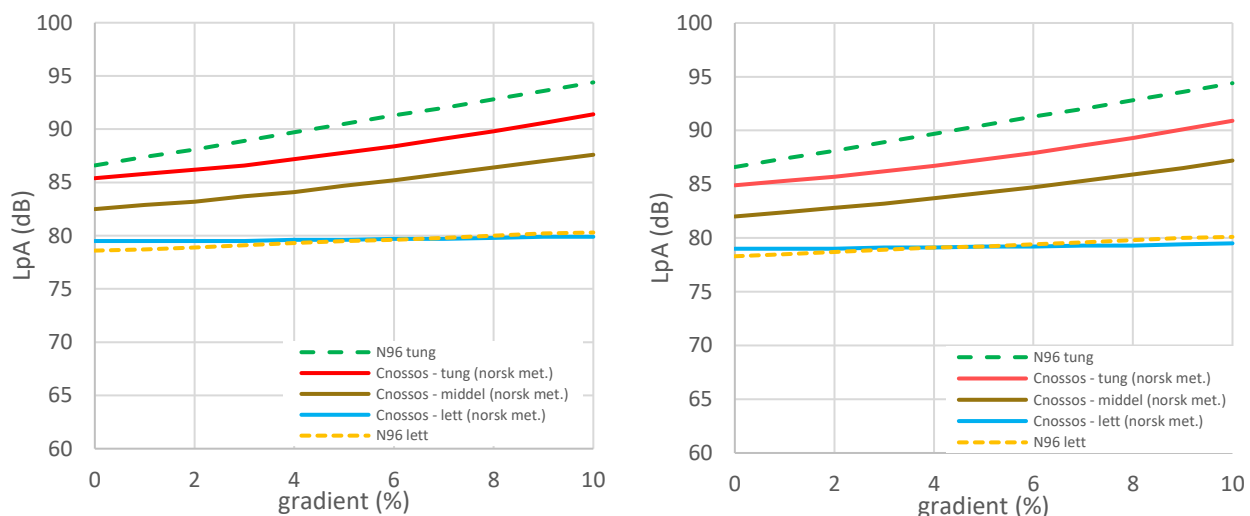
Resultatene viser at støynivået øker med ca. 3 dB med bruk av piggdekk for en avstand på 10 meter. Siden piggdekkstøyen hovedsakelig ligger over 1000 Hz, vil forskjellen bli vesentlig mindre på lengre avstander der luftabsorpsjonen demper diskant-frekvensene. Denne effekten vil også være lavere når en fordeler piggdekkandelen for et helt år, og når tyngre kjøretøy inngår i trafikkmixen. Piggdekkandelen må sees i sammenheng med statistikk for piggdekkbruk for det aktuelle stedet / regionen.



Figur 3-3. Kildenivå for Cnossos-EU og Nord96 på 10 m avstand for situasjon med (100 %) og uten (0 %) piggdekk. Figur til venstre viser mottakerhøyde på 1,5 m, mens figur til høyre har mottakerhøyde på 4 m. Trafikkmengde ÅDT 86400.

Veg-gradient

Figur 3-4 viser lydtryknivå som funksjon av veg-gradient. Som kan sees fra figuren, er det tydelig at tunge kjøretøy gir mer støybidrag når gradienten øker. Resultatene viser at Nord96 har mye kraftigere økning av støynivå for tunge kjøretøy enn Cnossos-EU ved stigning av gradient. Denne forskjellen mellom Cnossos-EU og Nord96 skyldes nok i stor grad at forbrenningsmotoren, spesielt for tunge kjøretøy har blitt betydelig forbedret siden metodikken ble utviklet mellom 70- og 90-tallet for Nord96.

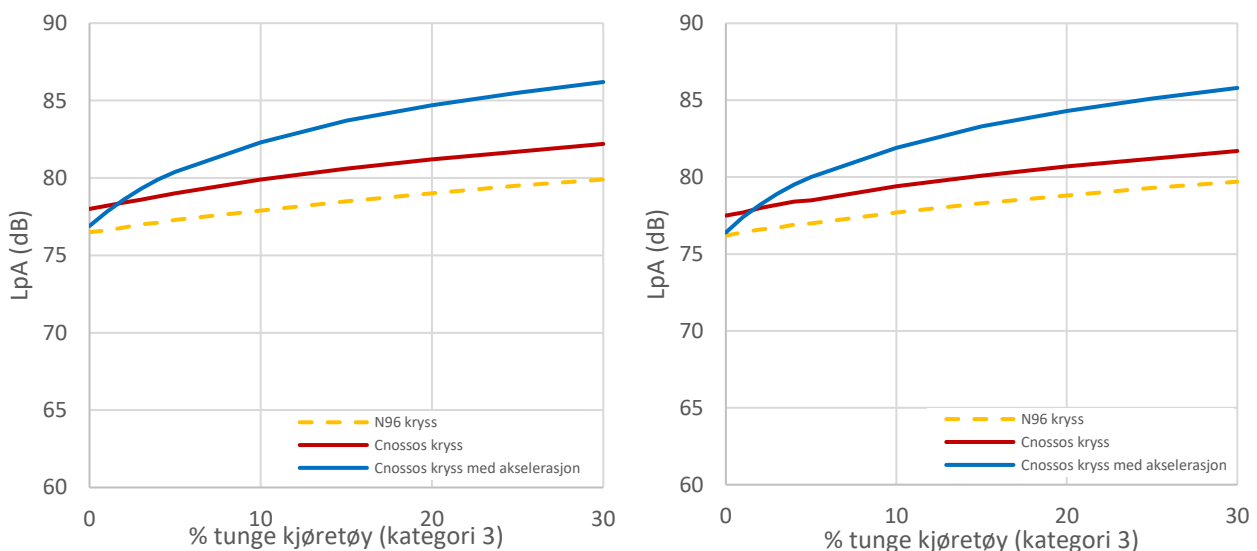


Figur 3-4. Kildenivå for Cnossos-EU og Nord96 på 10 m avstand for situasjon med veg-gradient fra 0 til 10 %. Figur til venstre viser mottakerhøyde på 1,5 m, mens figur til høyre har mottakerhøyde på 4 m. Hastighet 80 km/t, trafikkmengde ÅDT 86400.

Akselerasjon

Figur 3-5 viser resultat for situasjon med og uten akselerasjon i lyskryss (to veier vinkelrett på hverandre) for varierende tungtrafikkandel. Mottaker er plassert i en avstand på 10 meter fra hver vei med mottakerhøyde 1,5 m og 4 m og hastighet 50 km/t. Merk at korreksjon for akselerasjon kun er inkludert i Cnossos-EU metoden; Nord96 har ikke denne korreksjonen. Akselerasjon med Cnossos-EU gjelder for en avstand på 100 meter inn og ut fra lyskrysset/rundkjøringen.

I metoden med akselerasjon er det ulik korreksjon for rullestøy og motorstøy (omfatter kildene: motor, gir og eksos) som er avhengig av kjøretøytype. Generelt blir rullestøyen lavere mens motorstøyen blir høyere. Som en kan se fra resultatet øker støynivået med høyere tungtrafikkandel. Forskjellen mellom et kryss med og uten akselerasjon for 10 % tunge kjøretøy på 10 m avstand er ca. 2 – 3 dB.



Figur 3-5. Kildenivå for Cnossos-EU og Nord96 på 10 m avstand fra hver vei (ca 14 meter fra senter kryss). Situasjon med og uten akselerasjon ut fra vegkryss. Tungtrafikk varierer fra 0 til 30 %. Figur til venstre viser mottakerhøyde på 1,5 m, mens figur til høyre har mottakerhøyde på 4 m. Hastighet 50 km/t, trafikkmengde ÅDT 86400.

3.2 Lydutbredelse

Lydutbredelse er alt det som påvirker lydforplantningen mellom kilde og mottaker. I dette kapitlet skal det forklares mer i detalj om hvilke effekter som påvirker lydutbredelsen. Beregningseksemplene er gjort for vegtrafikk. Se Appendix B for mer detaljer omkring oppsett av beregningene.

Nord96: I dokumentasjonen for Nord96 er det nevnt at beregninger for vegtrafikk er gyldig for avstander opptil 300 meter.

Cnossos-EU: Det er ikke satt en begrensning for hvilken avstand lydutbredelsen er gyldig. Det anbefales på generell basis at en ikke beregner for større avstander enn 1000 meter på grunn av økt usikkerhet.

3.2.1 Avstandsdempning

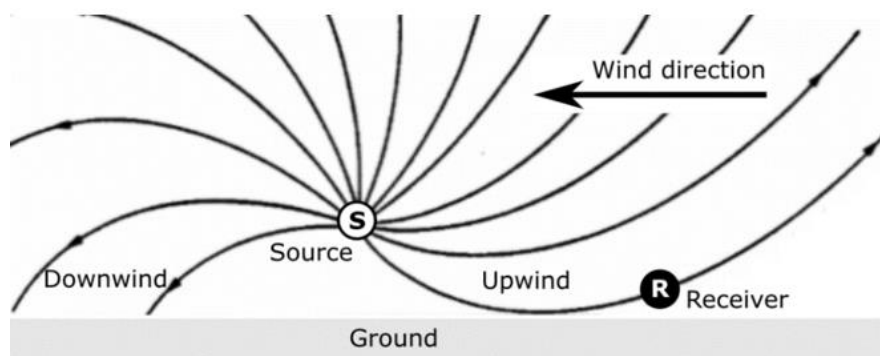
Både Nord96 og Cnossos-EU bruker samme metodikk for luftbåren avstandsdempning: geometrisk spredning over en sfærisk eller halvsfærisk overflate basert på lydforplantning over en distance. For en punktkilde er dette uttrykt som 6 dB dempning per dobling av distance.

3.2.2 Meteorologi

Meteorologi (værforhold) har betydelig påvirkning på lydutbredelsen. Vind- og temperaturgradienter påvirker vertikal lydhastighetsprofil og vil, avhengig av gradient, gi nedoverbøyde/konvekse lydbaner (gunstig utbredelse/medvindforhold), oppoverbøyde /konkave lydbaner (ugunstig utbredelse/motvind) eller rettlinjede lydbaner (homogen utbredelse). Figur 3-6 viser eksempel med gunstig og ugunstig utbredelse som følge av værforhold. Hvilke utbredelsesforhold en har vil gi stor betydning for større avstander, dette spesielt med tanke på dempningseffekt tilknyttet markabsorpsjon og skjerming.

Luftabsorpsjon beskriver den akustiske friksjonen i luften, og er avhengig av frekvens, temperatur og luftfuktighet. Denne effekten har størst betydning når en kommer på større avstander, og gir utslag for høyere frekvenser > 1000 Hz.

Norske forhold: Basert på undersøkelser av norsk meteorologi [8] anbefales norsk meteorologi til å modelleres med en fast døgn-fordeling med prosentvis gunstige forhold: dag 50 %, kveld 60 % og natt 70 %. Gjennomsnittstemperatur for Norge varierer og bør tas hensyn til for hver region. Luftfuktighet kan normalt settes til 70%.



Figur 3-6. Forskjellige utbredelsesforhold som følge av meteorologi/værforhold.

Likheter

Begge metodene tar hensyn at vind- og temperaturforhold påvirker lydutbredelsen. Nord96 beskriver at lydutbredelsen skjer under medvinds-forhold uten at dette er nærmere spesifisert. Cnossos-EU har en mer detaljert håndtering av statistisk variasjon for meteorologi.

Forskjeller

Nord96:

- Meteorologi er ikke håndtert spesifikt i Nord96. I metoden er det beskrevet at det er svake medvindsforhold mellom kilde og mottaker (moderat gunstig utbredelse, svak medvind < 2 m/s).
- Metoden støtter ikke brukerdefinert temperatur eller luftfuktighet.
- Luftabsorpsjon er ikke håndtert.

Cnossos-EU:

- Tar hensyn til meteorologi og har beskrevet to klasser av lydutbredelse basert på vær: homogen og gunstig utbredelse. Det benyttes en prosentvis fordeling mellom de to værtypene med gunstig utbredelse som referanse. Det er mulig å legge inn værstatistikk, temperatur og luftfuktighet.
- Luftabsorpsjon håndtert etter ISO 9613-1 [9], som er basert på bredt anerkjent metodikk. Metoden regner spektralt og tar hensyn til temperatur, og luftfuktighet.

3.2.3 Bakkedempning / markabsorpsjon

Bakkedempning er den akustiske dempningen lydbølgen får når den er i kontakt med bakken. Den akustiske dempningen kan variere avhengig av markegenskaper til bakken; fra hard mark (betong, asfalt og vann) til myk mark (jorde, park- og grøntområder). Vinkelen mellom lydbølgen og bakken er viktig. En lydbølge som streifer lavt over bakken over en stor avstand, dempes mye mer enn en bølge som faller mer loddrett mot bakken.

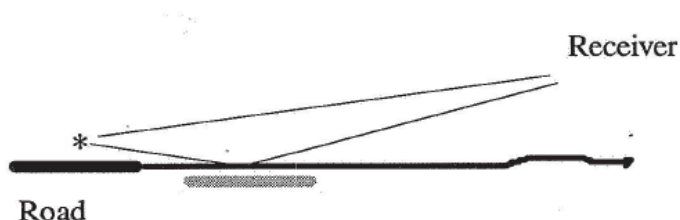
Likheter

Begge beregningsmetodene oppretter et plan mellom kilde og mottaker for å ta hand om lydrefleksjon i bakken og tilhørende bakkedempning.

Forskjeller

Nord96:

- Benytter enten hard ($G = 0$) eller myk mark ($G = 1$).
- Valgt marktype gjelder hele strekningen mellom kilde og mottaker, foruten de 10 første meterne fra kilden som settes til hard mark (uavhengig av valgt marktype).
- Dersom det er lagt inn flere marktyper mellom kilde og mottaker (f.eks. grøntområde og vann / parkeringsplass) bestemmes marktypen av den som er ved refleksjonsplanet. Refleksjonsplanet er ± 10 m på hver side av et refleksjonspunkt, se Figur 3-7. Refleksjonspunktet velges som det punktet som gir det høyeste reflekterte nivå til mottakeren.

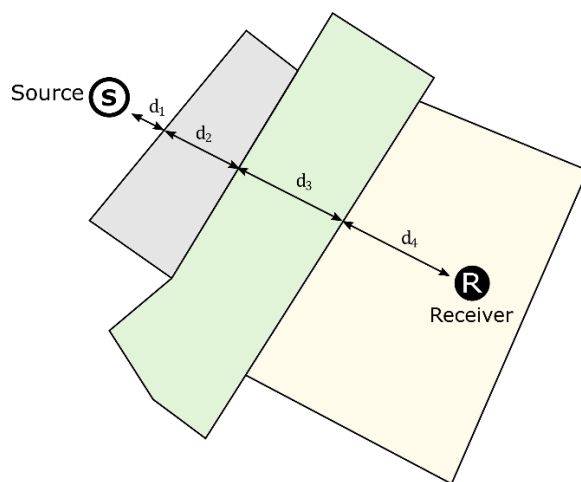


Figur 3-7. Refleksjonsplan for Nord96 mellom kilde og mottaker. Figur hentet fra Nord96 [2].

Cnossos-EU:

- Håndterer flere ulike marktyper mellom kilde og mottaker. Cnossos-EU har definert 8 forskjellige marktyper, se Tabell 3-3 for beskrivelse, hvor markdempningsfaktoren er beskrevet som en G-faktor med verdier mellom 0 og 1. I praksis er det, iht. Tabell 3-3, i praksis 4 forskjellige G-faktorer en kan velge mellom siden flere marktyper er beskrevet med samme G-faktor.
- Valgt marktype gjelder i utgangspunktet hele strekningen mellom sender og mottaker. Men ved skjerming beregnes markdemping separat på hver side av skjermen.
- Dersom det er flere ulike marktyper mellom kilde og mottaker beregnes det en gjennomsnittlig markdempningsfaktor for de ulike marktypene, se illustrasjon i Figur 3-8.

Markabsorpsjonen i Cnossos-EU kan være sterkt avhengig av meteorologi og lydbane når det er lang avstand mellom kilde og mottaker.



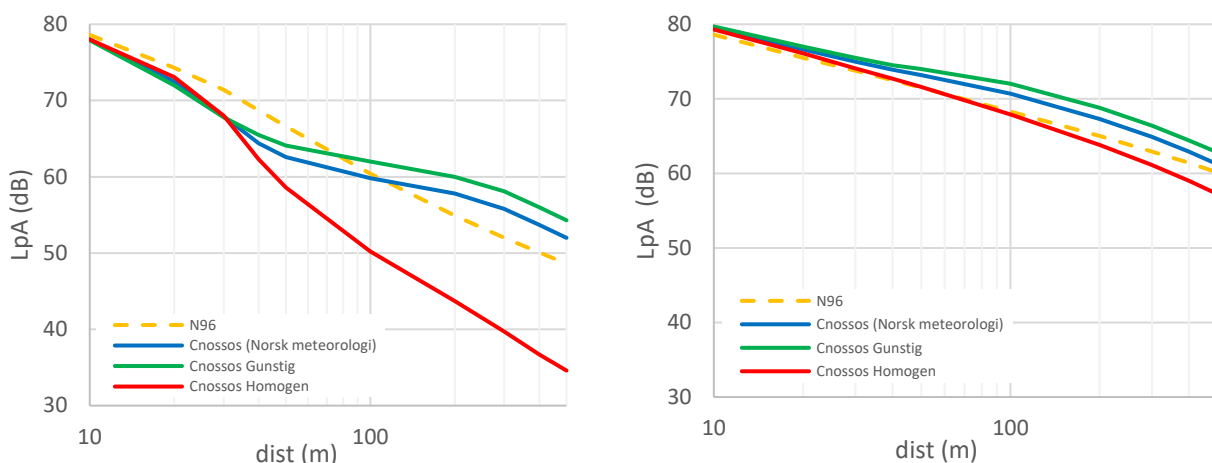
Figur 3-8. Bestemmelse av bakkedempningen for lydutbredelse mellom sender og mottaker. Oppdelt område i ulike deler. Her i figuren vist som fire forskjellige marktyper representert som d_1 , d_2 , d_3 og d_4 .

Tabell 3-3. *G-verdi (markabsorpsjonsfaktor) for ulike marktyper. Tabell hentet fra Cnossos-EU [10].*

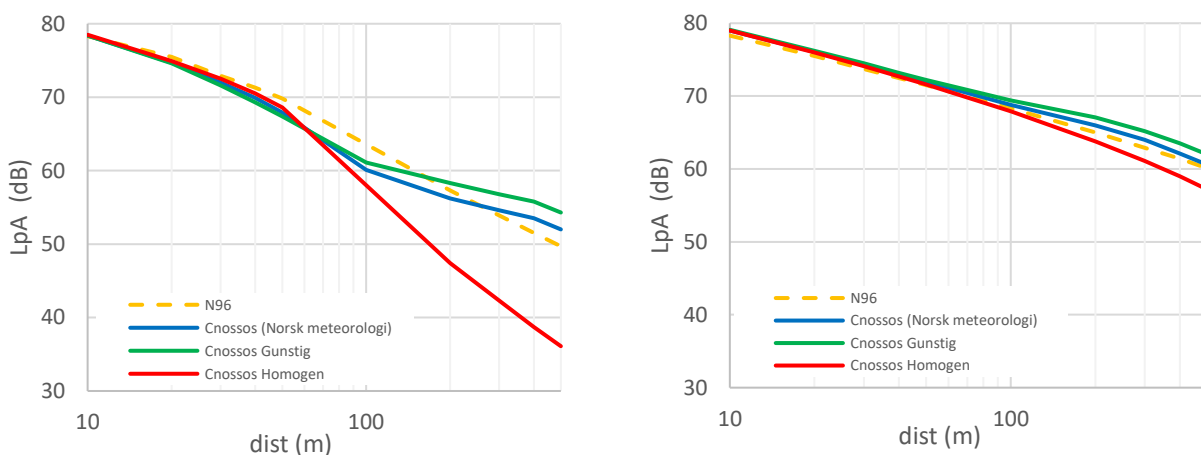
Description	Type	(kPa·s/m ²)	G value
Very soft (snow or moss-like)	A	12.5	1
Soft forest floor (short, dense heather-like or thick moss)	B	31.5	1
Uncompacted, loose ground (turf, grass, loose soil)	C	80	1
Normal uncompacted ground (forest floors, pasture field)	D	200	1
Compacted field and gravel (compacted lawns, park area)	E	500	0.7
Compacted dense ground (gravel road, car park)	F	2000	0.3
Hard surfaces (most normal asphalt, concrete)	G	20 000	0
Very hard and dense surfaces (dense asphalt, concrete, water)	H	200 000	0

Beregningseksempel

Det er kjent at bakkedempning og meteorologi er to faktorer som henger sammen og påvirker lydutbredelsen i stor grad. For å tydeliggjøre dette er det utført beregning med ulik markdempning, meteorologiske forhold (norsk meteorologi, homogen, og gunstig) og mottakerhøyder. Se resultater i Figur 3-9, Figur 3-10 og Figur 3-11. Korreksjonsfaktor for markabsorpsjon som funksjon av frekvens er vist i Figur 3-38 i kapittel 3.4 for industri.



Figur 3-9. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med myk og hard mark for forskjellige værforhold. Figur til venstre viser situasjon med myk mark ($G = 1$) og figur til høyre viser med hard mark ($G = 0$). ÅDT 86400, lette kjøretøy, avstand 10 – 500 meter, mottakerhøyde 1,5 meter.



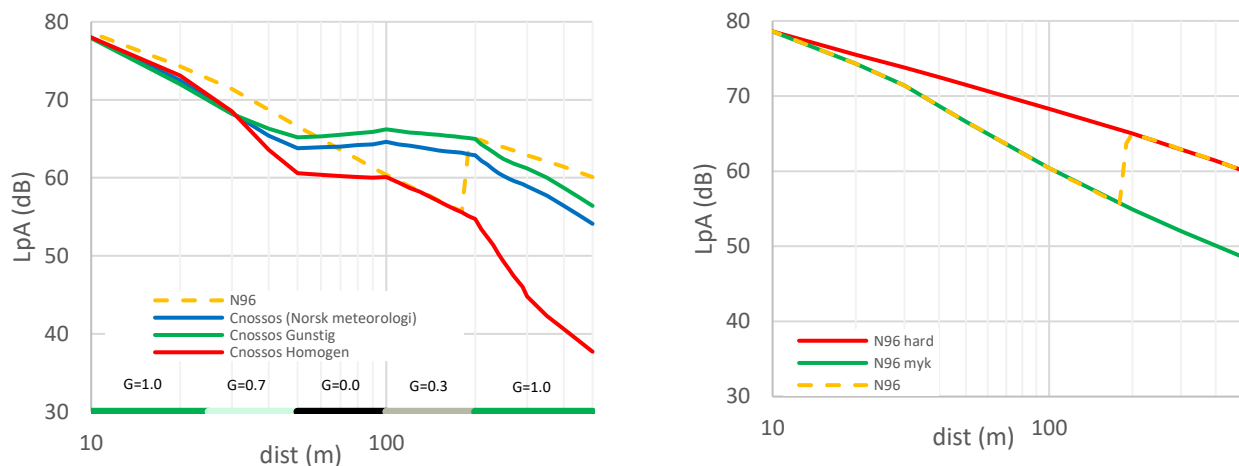
Figur 3-10. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med myk ($G = 1$) og hard mark ($G = 0$) for forskjellige værforhold. Figur til venstre viser situasjon med myk mark og figur til høyre viser med hard mark. ÅDT 86400, lette kjøretøy, avstand 10 – 500 meter, mottakerhøyde 4 meter.

Som en kan se fra resultatene ovenfor har meteorologi stor betydning for hvilken dempnings-effekt en får fra markabsorpsjonen. Ved å sammenligne resultatene for homogen utbredelse for myk ($G = 1$) og hard mark ($G = 0$) kan en tydelig se at markabsorpsjonen er betydelig kraftigere i Cnossos-EU enn i Nord96. En kan også se at gunstig utbredelse gir mindre markabsorpsjon som følge av kurvet lydbane. Som nevnt har norsk meteorologi en mer gunstig utbredelse enn det Nord96 legger til grunn. Det gjør at utbredelsen i Nord96 totalt sett får mer markdempning over større avstander, selv om markabsorpsjonen i seg selv er svakere i Nord96 enn i Cnossos-EU. Det vil si at for hard mark ($G = 0$), hvor markabsorpsjonen håndteres omtrent likt i begge metodene, vil lydutbredelsen for de to metodene følge hverandre noe bedre.

Markdempning mellom kilde og mottaker har også ulik effekt avhengig av hvilken mottakerhøyde som er valgt. Siden Cnossos-EU har en sterkere markabsorpsjon enn Nord96 vil dette slå kraftigere ut for lave høyder enn for høyere mottakerhøyder, se Figur 3-9 og Figur 3-10.

Som nevnt benytter Nord96 enten hard ($G = 0$) eller myk mark ($G = 1$). Effekten av dette kan tydelig sees i Figur 3-11, hvor det er benyttet varierende markabsorpsjon. I dette eksempelet kan en se at Nord96 velger

den markabsorpsjonsfaktoren som er nærmest myk eller hard. Med Cnossos-EU tas det hensyn til den varierende markabsorpsjonen og en får en mer jevner variasjon mellom de ulike delene.



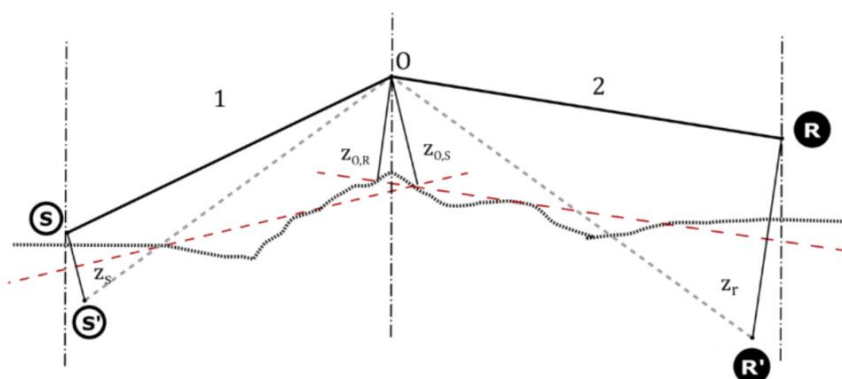
Figur 3-11. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med varierende markabsorpsjon. Figur til venstre viser scenario med varierende markabsorpsjon ($G = 0$ til $G = 1$) for ulike værforhold. Figur til høyre viser Nord96 med hard ($G = 0$) og myk mark ($G = 1$) sammenlignet med eksempelet med varierende markabsorpsjon (gul stiplet linje). ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

3.2.4 Skjerming

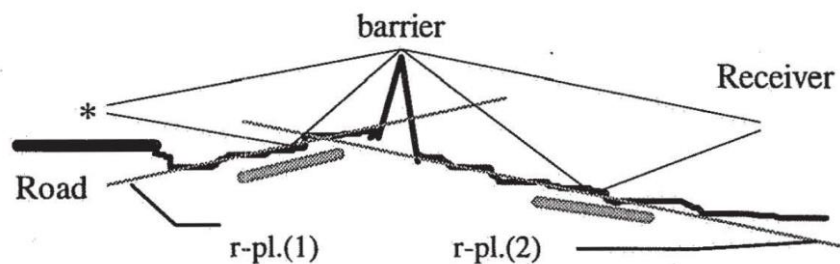
Skjerming oppstår når den direkte siktlinjen mellom kilde og mottaker kommer nær, eller blir brutt av et objekt / hinder. Dette kan for eksempel være et bygg, støyskjerm eller terrengvariasjoner.

Likheter

Både Nord96 og Cnossos-EU baserer seg på Maekawa metodikk [11], og hvor skjermingseffekten er begrenset til maks 25 dB. For situasjon med enkelt skjerming krever begge metodene at en deler opp lydbanene i to deler: en propagasjonsveg fra kilde til toppen av skjermen (diffraksjonspunkt), og en fra toppen av skjermen til mottaker. I tillegg lages det et refleksjonsplan eller et "mean plane" av terrenget på hver side av skjermen til mottaker / kilde. Se illustrasjon i Figur 3-12 og Figur 3-13.



Figur 3-12. Cnossos-EU. Eksempel med skjermingstilfelle. Rød stiplet linje viser mean-plane mellom kilde/mottaker og skjerm. S = kilde, S' =speilkilde, R =mottaker, R' =speil-mottaker, O =diffraksjonspunkt.

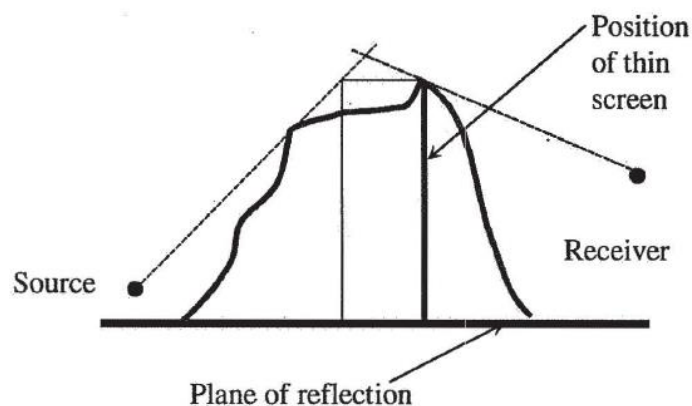


Figur 3-13. Nord96. Eksempel med skjermingstilfelle. "r-pl(1)" og "r-pl(2)" viser refleksjonsplanet mellom kilde/mottaker og skjerm [1].

Forskjeller

Nord96:

- Enkel diffraksjonsmodell for tynn skjerm. Det er ett diffraksjonspunkt på toppen av skjermen.
- Skjermingseffekten beregnes med kildehøyde 0,5 meter over vegen.
- Det tas i utgangspunktet ikke hensyn til bakkeabsorpsjon mellom kilde og skjerm når mottaker er plassert bak skjermobjektet og ligger under siktlinjen mellom veg og skjermtopp.
- Ved skjerming fra bygninger vil det opprettes en tynn skjerm for den fasaden som er i retning mottakerpunktet. Nord96 legger til en korreksjonsfaktor basert på tykkelsen til bygget, og begrenser imidlertid ikke samlet skjermvirkning til maksimum 25 dB for tykke bygninger. En tykk bygning vil derfor gi noe mer demping enn en tynn. Se Figur 3-14 for illustrasjon.
- Skjerming som følge av terreng (f.eks. voll) håndteres på samme måte som skjerming fra objekter (skjerm / bygning). Se Figur 3-14 for illustrasjon.
- Metoden tar ikke hensyn til dobbelt skjerming, men ser kun på det skjermobjektet mellom kilde og mottaker som gir høyest demping.

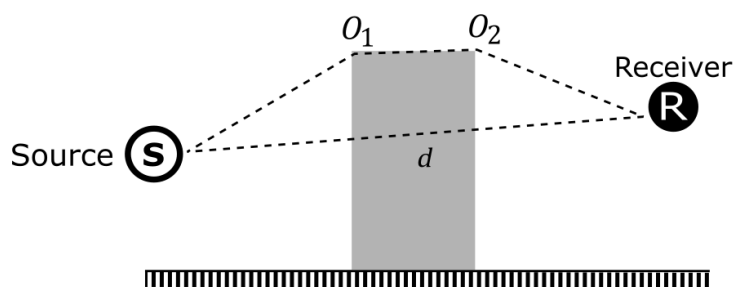


Figur 3-14. Nord96. Eksempel på utbredelse mellom kilde og mottaker for skjermingstilfelle med voll/ tykk skjerm / bygning [1].

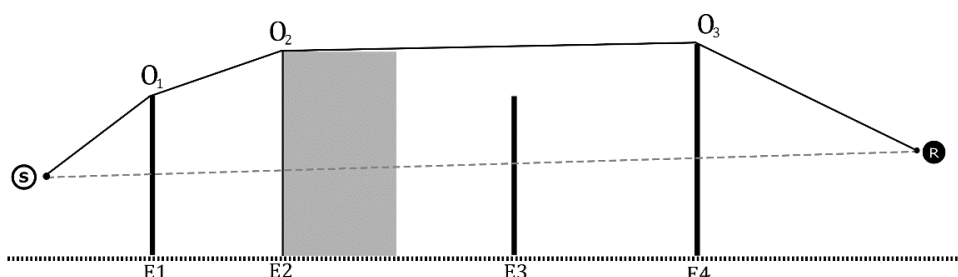
Crossos-EU:

- Har noe mer kompleks diffraksjonsmodell for beregning av skjermingseffekten.
- Skjermingseffekten beregnes med kildehøyden 0,05 m (5 cm) over vegen.
- Har med bakkedemping både foran og bak skjerm for enkelt skjerm.
- Metoden tar hensyn til absorpsjonsfaktor til skjermen.

- Ved skjerming fra bygninger vil modellen bruke to eller flere knekkpunkter. Dette gir en lengre gangveiforskjell med høyere skjermdeмпing enn en tynn skjerm med samme høyde (ref. Maekawa). Se Figur 3-15.
- Ved skjerming fra terreng (f.eks. voll) tas det mer korrekt hensyn til bakkedemping som følge av at det opprettes et mean-plane på hver side av vollen. Dette kan gi utslag i at en får noe høyere markabsorpsjon sammenlignet med Nord96.
- Tar hensyn til dobbelt skjerming. Det beregnes en sammensatt diffraksjon fra reell høydeprofil mellom kilde og mottaker. Dette er basert på velkjent metodikk for skjermvirkning med utspring fra Maekawa-metodikk. Det tas imidlertid ikke hensyn til bakkerefleksjon mellom skjermene når det er flere skjermobjekter, se Figur 3-16.



Figur 3-15. Cnossos-EU. Eksempel på utbredelse mellom kilde og mottaker for tykk skjerm / bygning.

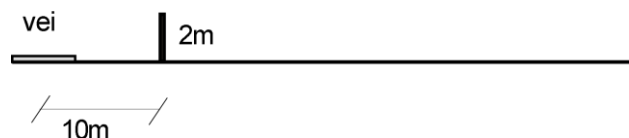


Figur 3-16. Cnossos-EU. Eksempel på utbredelse for multiple skjermingstilfeller mellom kilde S og mottaker R. O = diffraksjonspunkt, og E = skjerm/objekter.

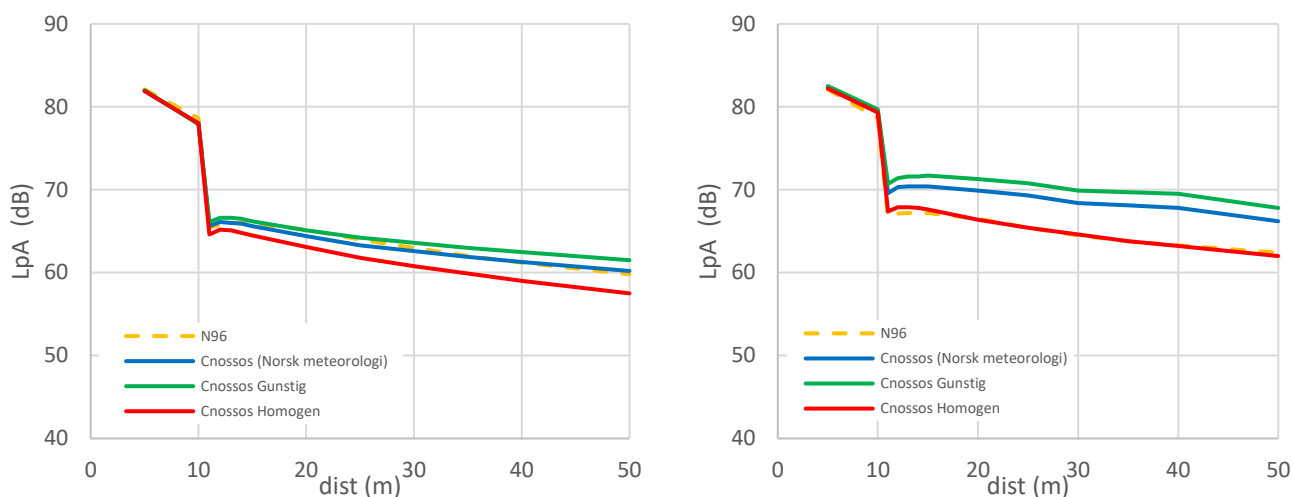
Beregningseksempel

Enkelt skjerm

Beregning med enkelt skjerm. Skjermhøyde på 2 meter plassert 10 meter fra senter veg, se Figur 3-17.

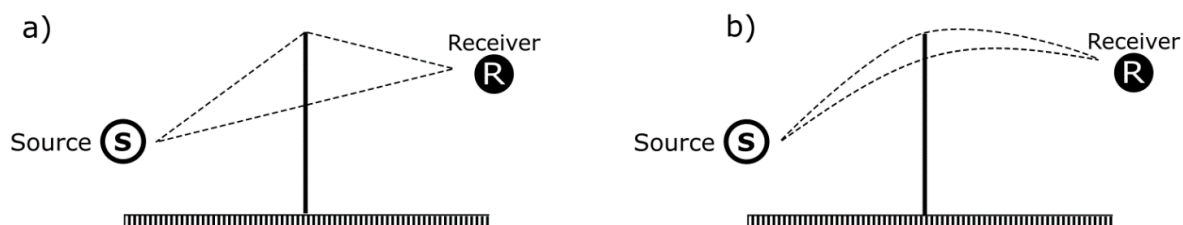


Figur 3-17. Illustrasjon skjerming. Skjerm 2 m høy, plassert 10 meter fra senterlinje.



Figur 3-18. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med skjerming for forskjellig værforhold og bakkedempning. Figur til venstre viser resultat med myk mark, mens figur til høyre viser hard mark. Skjermhøyde 2 m plassert 10 m fra senter veg. ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

Som en kan se fra resultatene har meteorologi stor påvirkning for mottakernivået med skjermingstilfeller. Gunstig utbredelse vil, som nevnt, gi en krummet lydbane mellom kilde og mottaker, og dermed gi et høyere støynivå ved mottaker enn med homogen utbredelse, se Figur 3-19 for illustrasjon.



Figur 3-19. a) Homogene og b) gunstige utbredelsesforhold.

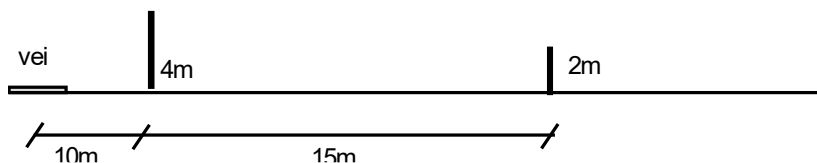
Fra resultatene kan en se at Nord96 følger mer eller mindre homogen utbredelse til Cnossos-EU både for situasjon med myk og hard mark. Dette skyldes at dempningen fra selve skjermen er omtrent lik i begge metodene (begge metodene benytter Maekawa metodikk), samt at markabsorpsjonen får noe mindre effekt som følge av at direktelinjen blir brutt og at det mest dominerende kildenivået kommer fra diffraksjonspunktet (topp av skjerm).

Siden både Cnossos-EU og Nord96 har omtrent samme markdempning for hard mark, kan en tydelig se fra resultatene hvilken effekt gunstig utbredelse gir, der Cnossos-EU resulterer i et høyere nivå bak skjermen.

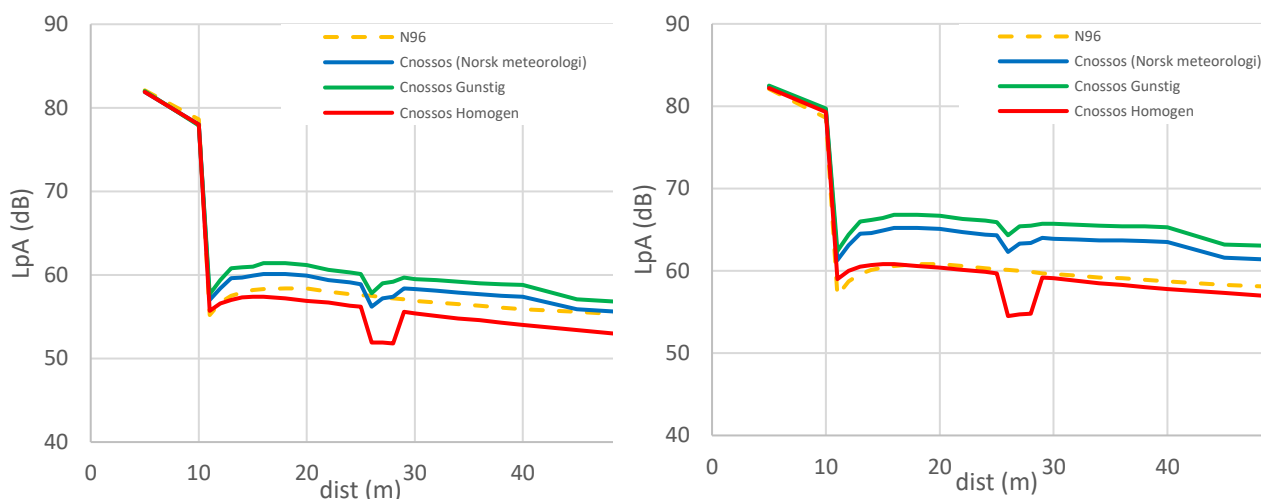
Beregningene viser at det er en differanse mellom Nord96 og Cnossos-EU med norsk meteorologi på ca. 0 – 2 dB med myk mark og 1 – 5 dB med hard mark for avstand på 1 til 10 meter bak skjerm.

Dobbelt skjerming

Beregningseksempel med dobbelt skjerming, se Figur 3-20.



Figur 3-20. Illustrasjon dobbeltskjerming. Første skjerm plassert 10 m fra senterlinje veg, 4 m høyde. Skjerm nummer to er plassert 25 m fra senterlinje veg, 2 m høyde.

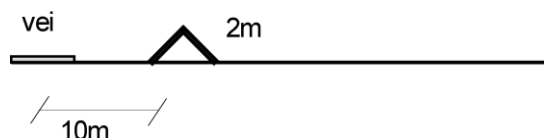


Figur 3-21. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med dobbelt skjerming for forskjellig værforhold og bakkedempning. Figur til venstre viser resultat med myk mark, mens figur til høyre viser resultat med hard mark. Dobbelt skjerm 10 m og 25 m fra senter veg, hhv. 4 og 2 m høyde. ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

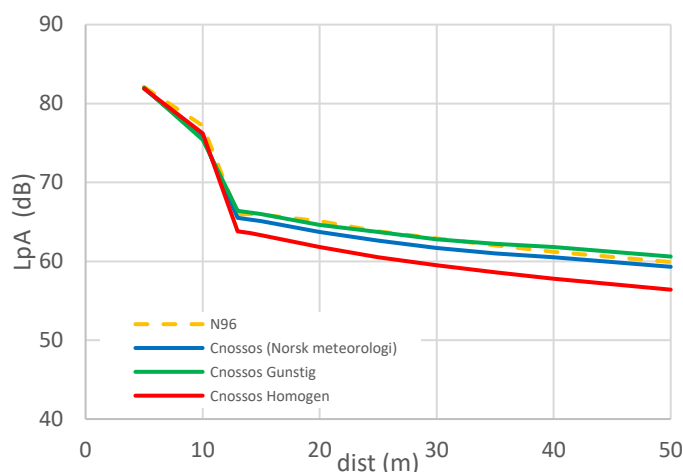
Som en kan se fra resultatene i Figur 3-21 klarer Cnossos-EU å få med seg dempningseffekten fra begge skjermene, mens Nord96 ikke klarer å ta høyde for dobbelt skjerming ettersom den første skjermen gir den største skjerm dempningen. I Nord96 er støynivået bak skjerm nummer to det samme som om den ikke hadde vært der. Her kan vi, i likhet med eksempelet med enkelt skjerm, se hvilken effekt meteorologi har på skjermingseffekten. Da den første skjermen er høy (4 m) og kommer nærme vegkilden blir derfor forskjellen mellom de ulike meteorologiske forholdene liten, men for den videre utbredelsen har den krummede lydbanen større effekt.

Voll

Beregningseksempel med voll plassert 10 meter fra senterlinje veg og 2 meter høyde, se Figur 3-22.



Figur 3-22. Illustrasjon. Voll plassert 10 m fra senterlinje veg, 2 m høyde.



Figur 3-23. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med voll for forskjellige værforhold. Vull 10 m fra senter veg, 2 m høyde. Myk mark, ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

Siden Cnossos-EU lager et mean-plane mellom kilde og topp voll, og mellom topp voll og mottaker får man litt mer markabsorpsjon for et slikt skjermingstilfelle sammenlignet med en skjerm med tilsvarende høyde.

3.2.5 Terrengvariasjon

Terrengvariasjon med bakker, daler og kupert landskap har stor betydning for lydforplantningen som følge av markabsorpsjon og skjermingseffekter.

Likheter

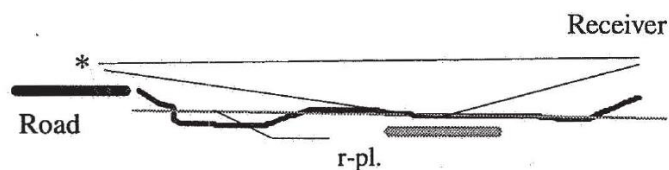
Begge metodene danner et virtuelt plan for den/de reflekterende lydbølgene mellom kilde og mottaker ved terrengvariasjoner.

Forskjeller

Nord96 danner et refleksjonsplan mellom kilde og mottaker som nevnt i kap. 3.2.3. For ujevnt terreng prøver modellen å opprette et refleksjonsplan som er minst 20 meter og oppfyller visse krav:

1. Det vertikale avviket mellom faktisk terreng skal ikke overstige ± 1 m (± 0.5 m er ønskelig for hard mark)
2. Terrengprofilenes variasjon skal være jevn, f.eks. ved store forskjeller innenfor grensene nevnt ovenfor skal den gjelde for minst 10 m.
3. Det aktuelle refleksjonsplanet gjelder for situasjoner hvor lydrefleksjonen mellom vegen (kildehøyde 0,5 m over senterlinjen) og mottaker er uskjermet. Faktiske refleksjoner skal skje innenfor en gyldig forlengelse av refleksjonsplanet.

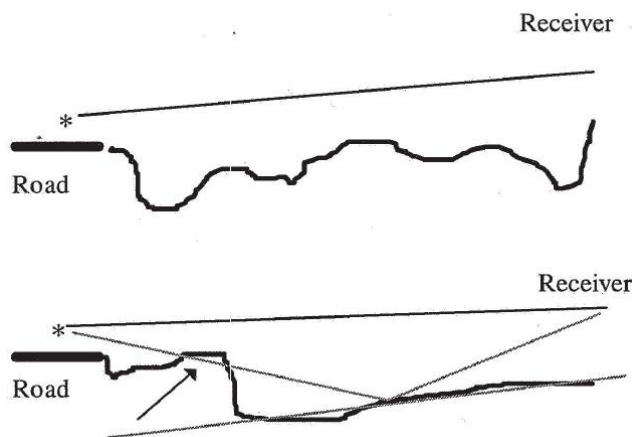
Hvis det er mer enn ett gyldig refleksjonsplan mellom kilde og mottaker, benyttes det refleksjonsplanet som gir det høyeste støynivået.



Figur 3-24. Refleksjonsplan mellom kilde og mottaker. Figur hentet fra Nord96 [2].

For enkelte områder kan ikke kriteriene til refleksjonsplanet bli møtt. Dette gjelder for situasjoner som:

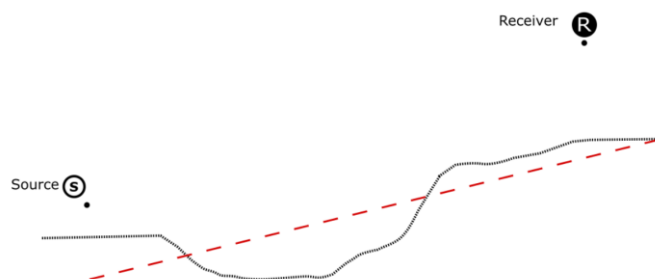
- Terrenget er såpass ujevnt at det ikke er steder refleksjonsplanet kan bli plassert gitt kriteriene. Denne situasjonen skjer også for korte avstander for terreng med ujevnheter.
- En seksjon av terrenget kan være egnet for et refleksjonsplan, men én eller begge reflekterte lydbaner blir blokkert.
- Refleksjonspunktet er i ytterkanten eller i akkurat i grensen av refleksjonsplanet.



Figur 3-25. Situasjoner med ikke-gyldig refleksjonsplan. Figur hentet fra Nord96 [2].

For situasjoner hvor det ikke er skjerming involvert mellom kilde og mottaker (fri sikt) men hvor lydrefleksjonen mot bakken er skjermet eller vanskelig å definere som følge av variert terreng (som vist i figuren ovenfor) vil Nord96 gjøre et estimat av mottakernivået. Siden direktelyden vil være den mest dominerende kilden, estimeres støynivået for slike situasjoner til å være $L = L_{\text{HARD}} - 3$. Hvor L er L_{Aeq} eller L_{AFmax} og hvor L_{HARD} er støynivået ved mottaker beregnet for hard mark.

I Cnossos-EU lages det et "mean plane", gjennomsnittlig plan mellom kilde og mottaker ved terrengvariasjoner, se Figur 3-26. Det gjennomsnittlige planet kan ta høyde for mer komplekst terreng. Dersom det er hindring mellom kilde og mottaker som bryter siktlinjen, vil det (som for Nord96) bli dannet et mean plane på kilde- og mottakerside som illustrert i Figur 3-12.

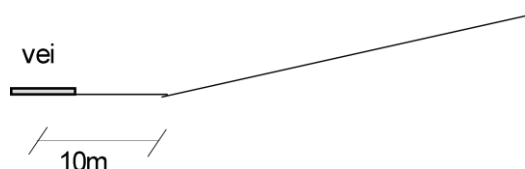


Figur 3-26. Mean plane. Rød stiptet linje viser et eksempel på mean plane mellom kilde og mottaker.

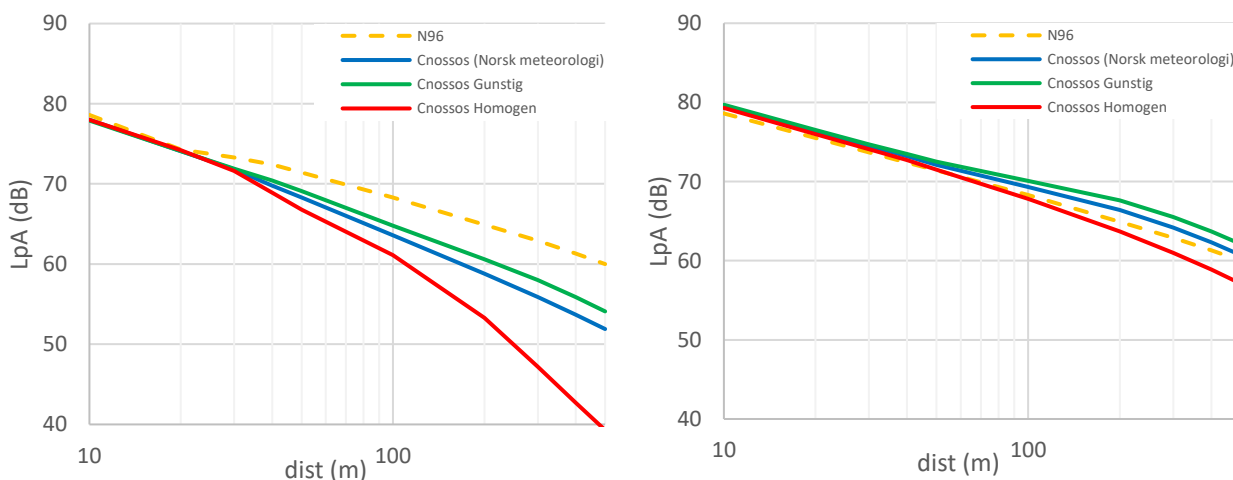
Beregningseksempler

Stigende terreng

10 meter med flatt terreng ut fra senterlinje til veg og deretter 10 grader stigende terreng, se Figur 3-27.



Figur 3-27. Illustrasjon. 10 meter flatt terreng og deretter 10 grader stigende terreng.



Figur 3-28. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med stigende terreng for forskjellig værforhold og bakkedempning. Figur til venstre viser resultat med myk mark, mens figur til høyre viser resultat med hard mark. 10 grader stigende terreng som illustrert i Figur 3-27. ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

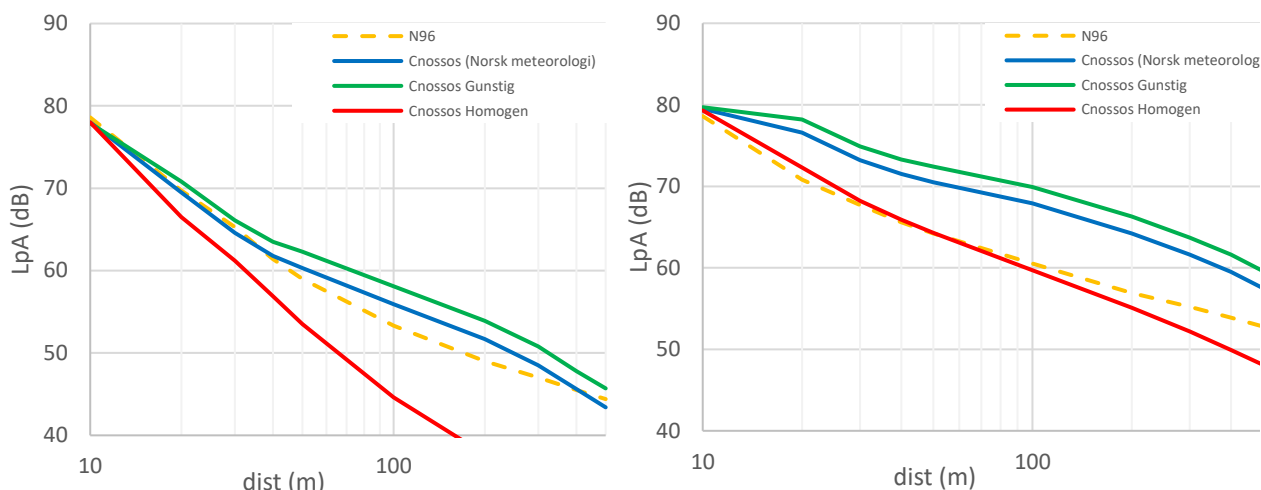
Fra Figur 3-28 kan en se at situasjon med Cnossos-EU og myk mark får mer markabsorpsjon enn situasjon i Nord96. Dette er som følge av at Cnossos-EU danner et mean-plane mellom kilde og mottaker som resulterer i at lydbølgen ligger nærmere bakken. Dette gir betydelig effekt på større avstander.

Synkende terreng

10 meter flatt og deretter 10 grader synkende terreng, se Figur 3-29.



Figur 3-29. Illustrasjon. 10 meter flatt terreng og deretter 10 grader synkende terreng.

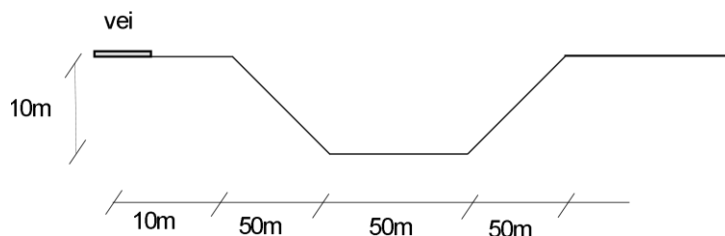


Figur 3-30. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med synkende terreng for forskjellig værforhold og bakkedempning. Figur til venstre viser resultat med myk mark, mens figur til høyre viser resultat med hard mark. 10 grader synkende terreng som illustrert i Figur 3-29. ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

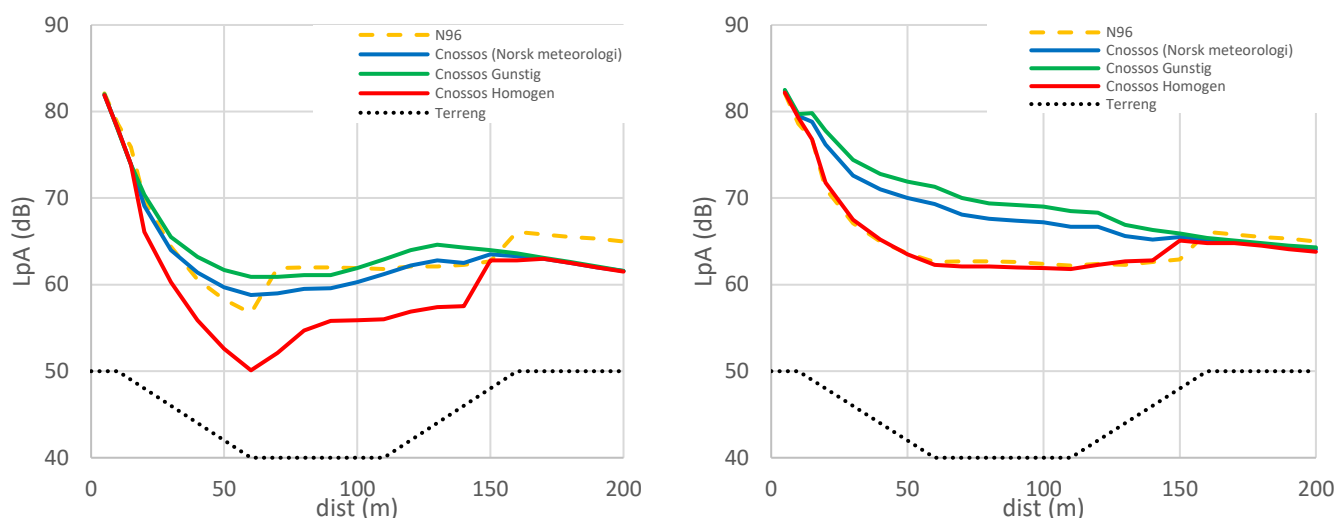
For synkende terreng ser en tydelig forskjell mellom de ulike meteorologiske forholdene, da en med homogen utbredelse vil få mer skjermingseffekt fra vegskulderen og mer markabsorpsjon enn for situasjon med norsk meteorologi. For situasjon med hard mark ser en tydelig at Nord96 følger linjen til homogen utbredelse, og at meteorologien har stor betydning.

Dal

10 m flatt terreng ut fra senterlinje, 10 grader synkende terreng (50 m), flatt terreng (50 m) og 10 grader stigende terreng (50 m), flatt terreng (> 50 m). Se Figur 3-31.



Figur 3-31. Illustrasjon dal.



Figur 3-32. Støynivå for Nord96 og Cnossos-EU for situasjon med dal som illustrert i Figur 3-31 for forskjellig værforhold og bakkedempning. Figur til venstre viser resultat med myk mark, mens figur til høyre viser resultat med hard mark. ÅDT 86400, hastighet 80 km/t, lette kjøretøy, mottakerhøyde 1,5 meter.

For situasjon med hard mark ser vi at Nord96 følger omtrent samme kurve som homogen utbredelse til Cnossos-EU. Dette har å gjøre med at markabsorpsjonen for hard mark og meteorologi (homogen) er omtrent den samme for begge metodene, som nevnt tidligere. Med norsk meteorologi (krummet lydbane) blir skjermingseffekten fra dalen mindre som resulterer i at støynivået med Cnossos-EU blir høyere.

For situasjon med myk mark er forskjellene mellom Nord96 og Cnossos-EU med homogen utbredelse større. Dette skyldes at Nord96 ikke har like kraftig markabsorpsjon som Cnossos-EU. En ser likevel tydelig at begge kurvene følger omtrent samme form, og kan minne om en slags trappetrinn. Denne trappetrinnformen er et resultat av graden av skjerming mellom kilde og mottaker. Effekten kommer tydeligere frem for situasjonen med myk mark enn ved hard mark, noe som er forårsaket av at markdempningen er mer dominerende. For situasjon med norsk meteorologi vil en ikke få denne effekten så tydelig som følge av krummet lydbane som gir mindre skjerm- og markdempning.

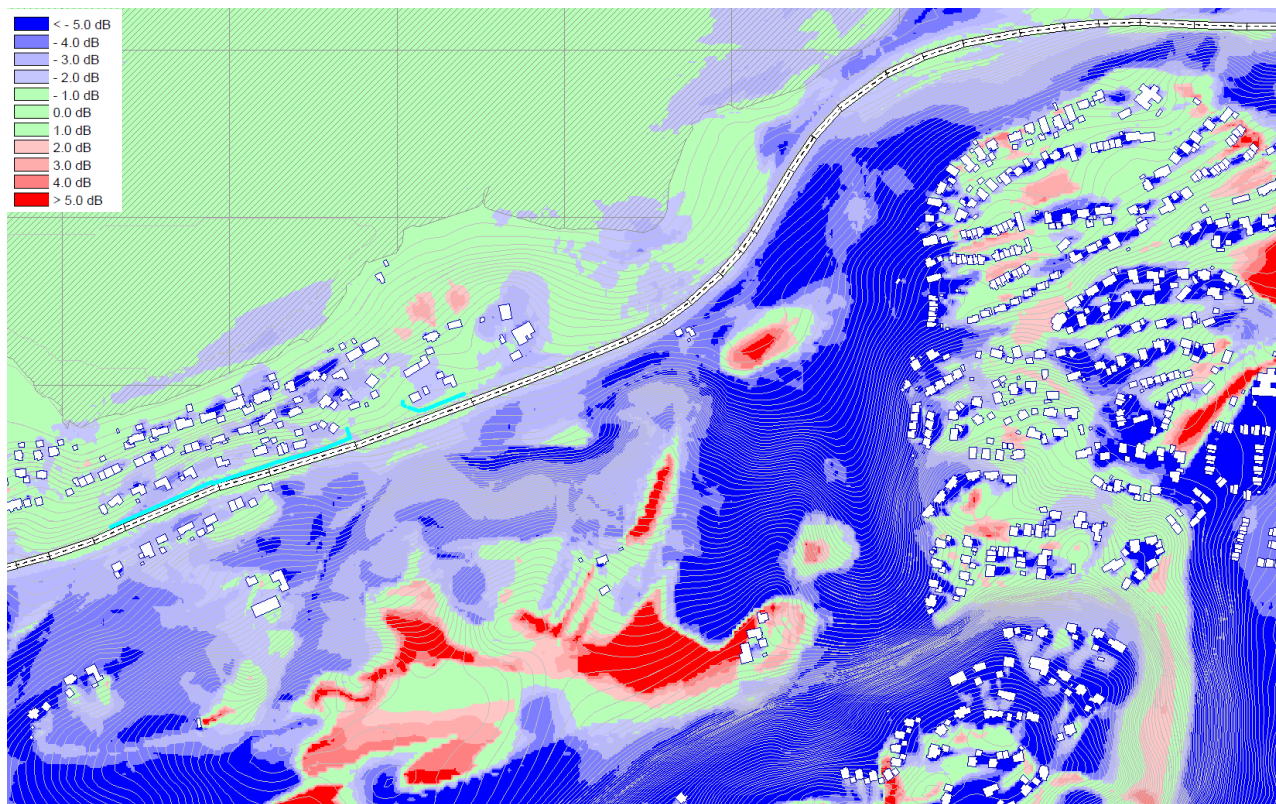
Ved rundt 60 meter kan en se at skjermingseffekten for Nord96 blir markant mindre og en får et lite sprang. Fra 60 meter til omtrent 140 meter er det en variasjon mellom skjerming- og avstandsdempning som nærmest kansellerer hverandre ut før en kommer opp fra dalen igjen og får fri sikt. For myk mark ser en at Nord96 beregner høyere nivå når en får fri sikt til den andre siden av dalen. Det har å gjøre med at refleksjonspunktet blir skjermet fra dalen, og at en derfor må lage et nytt refleksjonsplan som er flatt med hard mark mellom kilde og mottaker, som nevnt innledningsvis.

3.3 Beregning av en sammensatt modell

For å se hvordan Nord96 og Cnossos-EU metoden vil slå ut i praksis med en noe mer sammensatt modell er det gjort beregninger for to litt ulike scenario. Det har blitt beregnet for et landlig og et mer urbant scenario. Det vil ikke gås i detalj på hvordan oppsetning av disse modellene er gjort, da hensikten er å gi et overblikk av hvordan utbredelsesmodellene fungerer i praksis og koble disse opp mot de tidligere forenklete beregningene. Områdene som er valgt ut er et landlig område med varierende topografi, og et urbant/by område med hard mark og kort avstand mellom vegkilder.

Det landlige området som er valgt ut har en bratt bakke mellom vegkilde og bebyggelse, og det er stedvis langsgående skjerming ved vegen. Markabsorpsjonen for området er i hovedsak satt til myk mark foruten

vannflaten i nord som er modellert som hard mark (vist som skravert felt). Figur 3-33 viser differansekart for forskjellene mellom Nord96 og Cnossos-EU. Beregningene er gjort med beregningsparameteren L_{den} . I beregningen er det benyttet trafikkmengde ÅDT 10 000, 20 % tunge (kategori 3) og hastighet 80 km/t.



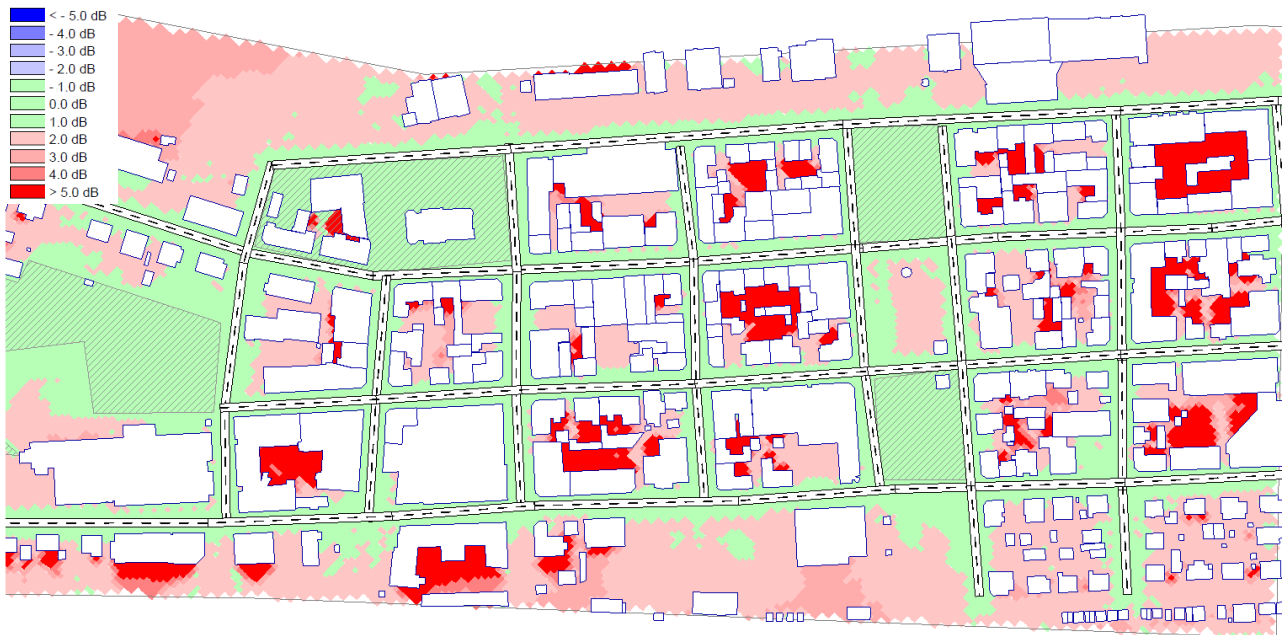
Figur 3-33. Differansekart mellom Nord96 og Cnossos-EU. Blå farge (negativ verdi): Cnossos-EU gir lavere støynivå enn Nord96, rød farge (positiv verdi): Cnossos-EU gir høyere nivå enn Nord96, grønn farge (liten/moderat forskjell): ± 2 dB mellom Cnossos-EU og Nord96. Beregningsgrid 5×5 m, beregningshøyde 1,5 m, beregningsparameter L_{den} .

Fra Figur 3-33 kan en tydelig se effekten av at Cnossos-EU har høyere markabsorpsjon, og dermed gir lavere nivå enn Nord96 (vist som blå farge i figuren). Områder som ligger bak terrengetopper får noe høyere nivå med Cnossos-EU, som følge de kurvede lydbanene ved gunstige utbredelsesforhold (medvind). En kan også se at områder som oppnår dobbelt skjerming (skjerming fra både støyskjerm, terreng og bygning) har lavere nivå med Cnossos-EU enn i Nord96.

For scenarioet med urbant miljø er det valgt et område hvor det er relativt flatt terreng, typisk bykjerne med kvartal-struktur. Det er kort avstand mellom vegkilder og bygninger, og terrenget er i hovedsak modellert som hard mark, foruten noen steder som er modellert som park (markabsorpsjonsfaktor $G = 0,7$) vist med grå skravur i Figur 3-34. I beregningene er det benyttet trafikkmengde ÅDT 5000, 20 % tunge (kategori 3) og hastighet 50 km/t.

Som en kan se i Figur 3-34 regner Cnossos-EU jevnt over høyere nivå enn Nord96. For de åpne områdene nærme vegen og for områdene hvor det er lagt inn park er forskjellene liten mellom de to metodene, om lag 0 til 2 dB. Størst forskjell er det for områdene inne i gårdsrommene, hvor støynivået er betydelig høyere for Cnossos-EU enn Nord96. Dette henger til en viss grad sammen med at kildenivået for Cnossos-EU er noe høyere enn for Nord96. Den meste av forskjellen skyldes imidlertid at Nord96 ikke begrenser samlet skjermvirkning til maksimum 25 dB for tykke skjerm/ bygninger. Som nevnt i kap. 3.2.4 har begge metodene en begrensning på 25 dB. En tilsvarende begrensning finnes i de fleste andre sammenlignbare

metodene som for eksempel nordisk industristøymetode, ISO 9613 og Nord 2000. Men formuleringen av korreksjonsfaktor for tykke skjermer i Nord96 medfører til dels mye høyere demping enn 25 dB, med tilhørende mye lavere beregnet støynivå. Dette kan sees på som mangelfull formulering i Nord96 som i realiteten undergraver intensjonen med en øvre grense for samlet skjermvirkning. Merk at i beregningseksemplet er det ikke tatt hensyn til refleksjoner fra fasadene.



Figur 3-34. Differansekart mellom Nord96 og Cnossos-EU. Blå farge (negativ verdi): Cnossos-EU gir lavere støynivå enn Nord96, rød farge (positiv verdi): Cnossos-EU gir høyere nivå enn Nord96, grønn farge (liten/moderat forskjell): ± 2 dB mellom Cnossos-EU og Nord96. flatt terreng, beregningsgrid 5×5 m, beregningshøyde 1,5 m, beregningsparameter L_{den} .

I tillegg er det gjort et beregningseksempel for å vise situasjon med og uten akselerasjon i tilknytning vegkryss (trafikklys-situasjon). Figur 3-35 viser forskjell mellom situasjon med og uten akselerasjon ut fra vegkrysset med Cnossos-EU metodikk. Som en kan se fra resultatene er det markant økning av støynivået rundt krysset, ca. 1 – 4 dB. Dette samsvarer med det som ble presentert i kap. 3.1 og Figur 3-5, at støynivået som følge av akselerasjon blir høyere enn uten akselerasjon når vegen har høy tungtrafikkandel.



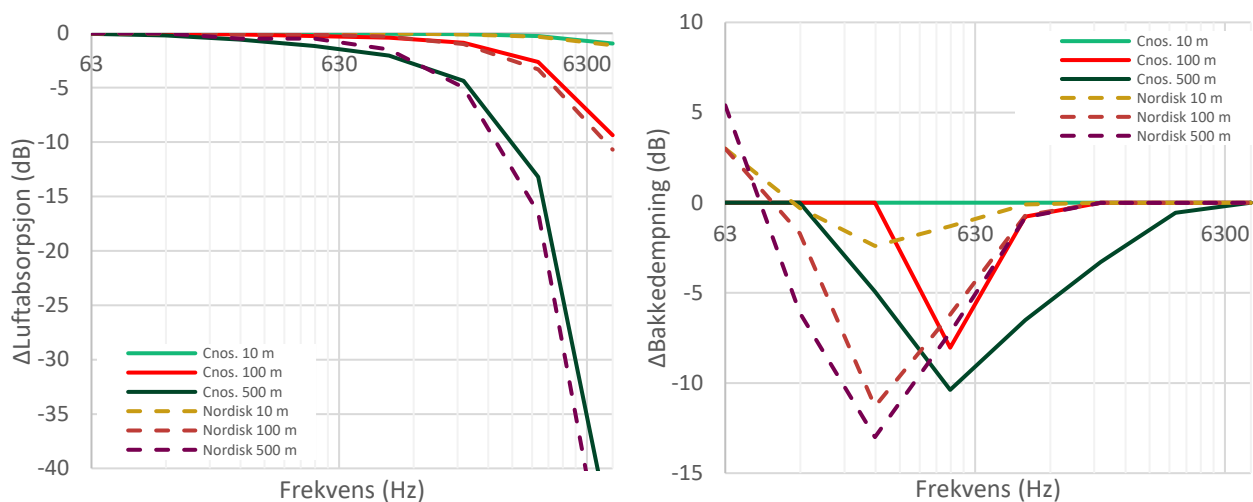
Figur 3-35. Differansekart mellom Cnossos-EU med og uten akselerasjon ut fra kryss. Blå farge (negativ verdi): situasjon uten akselerasjon gir høyest nivå, rød farge (positiv verdi): situasjon med akselerasjon gir høyest nivå. flatt terreng, beregningsgrid 5×5 m, beregningshøyde 1,5 m, beregningsparameter L_{den} .

3.4 Industri

Nordisk beregningsmetode for industri [3] er, som nevnt i kap. 2, en egen beregningsmetode. Ulikt Nord96, kan industristøymetoden beregne spektralt, og gi resultater i oktavbåndverdier fra 63 – 8000 Hz. Metoden har mange likheter med ISO 9613 og håndterer avstandsdempning, luftabsorpsjon, markabsorpsjon, refleksjoner samt skjerming fra en eller flere skjermer.

I Cnossos-EU benytter industrikilder de samme lydutbredelsesmetodene som presentert i de tidligere delkapitlene for vegtrafikk. Både Nord96 og Cnossos-EU kan representere støykildene i form av punkt-, linje-, eller arealkilde.

Det er ikke gjort en like detaljert sammenligning mellom nordisk beregningsmetode for industri og Cnossos-EU som for vegtrafikk. Det er imidlertid gjort en sammenligning mellom de faktorene i metodene som anses som det mest grunnleggende: luftabsorpsjon, markabsorpsjon og skjermvirkning. Sammenligningene er gjort for avstander på 10, 100 og 500 m, lufttemperatur på 15°C og med bakkedempning $G = 0$ (myk mark), se resultater i Figur 3-36 og Figur 3-38. I sammenligningene med Cnossos-EU har det blitt benyttet norsk meteorologi.



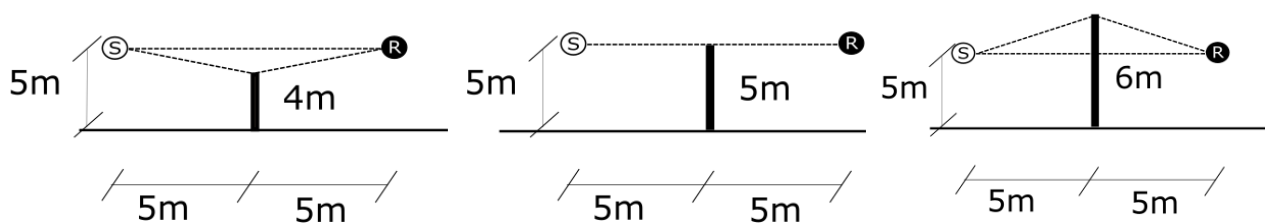
Figur 3-36. Figur til venstre viser korreksjonsfaktor for luftabsorpsjon mens figur til høyre viser korreksjonsfaktor for markabsorpsjon. Resultatene er oppgitt i oktavbånd fra 63 – 8000 Hz. Beregningene er gjort med punktkilde for avstander på 10, 100, og 500 m. Kildehøyde 2 m og mottakerhøyde 1,5m.

Som en kan se fra resultatene er det liten differanse for luftabsorpsjon mellom de to metodene. Cnossos-EU har noe mer demping (0 – 0,7 dB) enn Nordisk beregningsmetode for frekvenser opp mot ca. 2000 Hz, mens Nordisk beregningsmetode har litt kraftigere luftabsorpsjon for frekvenser over 4000 Hz.

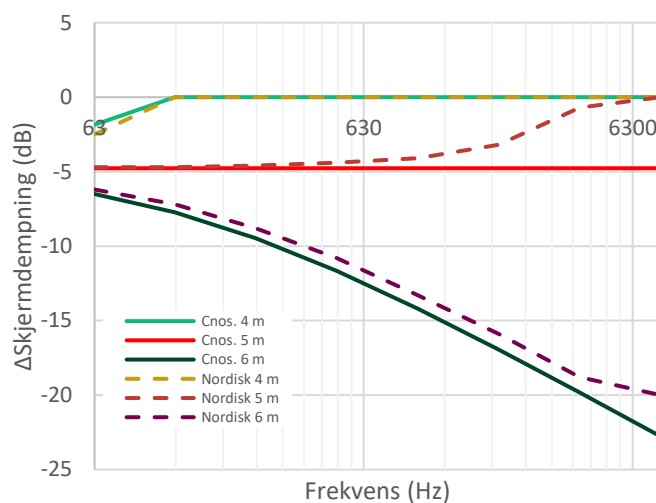
For bakke demping er det større forskjell mellom de to metodene. Cnossos-EU har størst demping ved rundt 500 Hz, mens Nordisk beregningsmetode har størst demping ved 250 Hz. Merk at når en tar hensyn til A-vekting vil ett-tallsverdien med Cnossos-EU gi et lavere nivå totalt enn med Nordisk beregningsmetode for industri.

For å vurdere skjermvirkning i de to metodene er det sett på tre situasjoner, se Figur 3-37:

- Fri sikt mellom kilde og mottaker, men med lav skjerm
- Delvis fri sikt mellom kilde og mottaker
- Skjernet situasjon.



Figur 3-37. Illustrasjon. Beregning av skjerm demping for varierende skjerm høyder. Kilde- og mottakerhøyde er satt til 5 m, mens skjermhøyde er satt hhv. 4, 5 og 6 m.



Figur 3-38. Korreksjonsfaktor for skjermdempning for Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode for industri. Resultatene er oppgitt i oktavbånd fra 63 – 8000 Hz. Uskjermet (4 m skjermhøyde), delvis skjernet (5 m skjermhøyde) og skjernet (6 m skjermhøyde), som illustrert i Figur 3-37.

Resultatene viser at skjermdempningen i de to metodene følger hverandre relativt godt. Jevnt over ser en at Cnossos-EU har noe høyere skjermdempning enn Nordisk beregningsmetode for industri.

3.5 Jernbane

Nordisk beregningsmetode for jernbane [2] er, som nevnt i kap. 2, en egen beregningsmetode. I metoden for jernbane håndteres avstandsdempning, luftabsorpsjon, markabsorpsjon og skjermdempning. Alle beregninger gjøres i oktavbånd fra 63 – 4000 Hz. I metoden er det beskrevet kildenivå som skal benyttes for ulike togtyper.

Jernbanekilder er nøye beskrevet i Cnossos-EU og stiller store krav til inngangsdata. Per nå foreligger ikke de nødvendige dataene og det må gjøres mer forskning før det kan anbefales at Cnossos-EU benyttes til beregning av støy fra jernbane. Lydutbredelsen for jernbane vil i stor grad sammenfalle med lydutbredelse for veg.

4 Oppsummering

Studien viser at det er tydelige forskjeller mellom beregningsmetodene Nord96 og Cnossos-EU som vil resultere i ulike beregnede støynivå. Størrelsen på forskjellene mellom de to beregningsmetodene varierer, og en kan dermed ikke si at den ene metoden alltid regner høyere eller lavere enn den andre metoden. De tydeligste faktorene som skiller seg ut for de to beregningsmetodene er kildenivå, markabsorpsjon, og meteorologi. I tillegg viser funnene at Cnossos-EU har en bedre håndtering av dobbelt skjerming og komplekse terrengvariasjoner, samt har en høyere detaljering vedrørende kildenivå fra vegtrafikk.

Kildenivå er grunnlagsdata som vil påvirke alle beregninger og vil derfor være en viktig parameter når en sammenligner ulike metoder. For vegtrafikk er kildenivået i Cnossos-EU basert på en gjennomsnittlig europeisk bilpark, og hvor siste oppdaterte verdier er fra år 2020. Nord96 baserer seg på kildedata fra 70- til 80-tallet og med siste oppdatering i 1995. I beregningseksempelene i studien har det for Cnossos-EU blitt lagt inn korleksjon for meteorologi og gjennomsnittstemperatur for norske forhold. Resultatene viser at for lette kjøretøy (kategori 1) følger kildenivået de to metodene noenlunde for hastigheter mellom 30 og 120 km/t. Cnossos-EU har 0 – 2 dB høyere kildenivå enn Nord96.

For tunge kjøretøy er det noe større forskjeller mellom de to metodene. Dette kan være som følge av at Cnossos-EU har delt opp kjøretøykategorien i to grupper, mellomtunge (kategori 2) og tunge (kategori 3), og hvor de to gruppene er representert med et noe mer karakteristisk støynivå sammenlignet med Nord96 som har samlet alle tunge kjøretøy i én kategori. Beregningsresultatene viser at for tunge kjøretøy (kategori 3) vil differansen mellom Cnossos-EU og Nord96 varierer mellom +3 og -2 dB avhengig av hastigheten.

Forskjellene mellom metodene må også sees i sammenheng med at beregninger utført med Cnossos-EU er benyttet med vegdekke- og lufttemperatur på 4°C (tilsvarende norske forhold) mens i Nord96 er det en temperatur på 10 – 20°C (ikke justerbar). Det er også benyttet norsk meteorologi (til dels gunstig utbredelse) for Cnossos-EU beregningene. Det er likevel vanskelig å konkludere med hva som gir de mest riktige støynivåene av de to metodene, uten å sammenligne resultatene med faktiske målinger. Noen betraktninger er at typiske norske vegdekker er noe grovere enn referansevegdekket som oppgitt i Cnossos-EU, dette som følge av piggdekk bruk. Det er derfor grunn til å anta at et norsk vegdekke vil ha noe høyere rullestøynivå enn referansedekket oppgitt i Cnossos-EU. Bilparken i Norge har også blitt betydelig modernisert de siste årene med elektriske og hybride biler, og dette kan avvike en del fra det som er lagt til grunn i Cnossos-EU. Det er uklart hvilken korleksjon som eventuelt bør legges til grunn for en norsk tilpasning per i dag.

Et av hovedfunnene i sammenligningen som er presentert er at Cnossos-EU har en mye kraftigere markabsorpsjon enn Nord96. Valg av markabsorpsjonsfaktor, og hvilket areal dette skal gjelde for, er derfor mye viktigere i Cnossos-EU sammenlignet med Nord96. Beregningene viser at effekten av markabsorpsjonen også er sterkt avhengig av meteorologi, der homogen utbredelse gir kraftigere markabsorpsjon enn gunstig utbredelse. Dette kan tydelig sees fra studien da norsk meteorologi har en mye mer gunstig utbredelse enn det som er lagt inn i Nord96 (svak medvinds forhold/ moderat gunstig utbredelse). Det gir utslag i at Nord96 får en mer lineær dempning for økende avstander (lignende homogen utbredelse) mens Cnossos-EU med norsk meteorologi får en noe varierende dempning.

Cnossos-EU og Nord96 håndterer skjerming med utgangspunkt i samme Maekawa-baserte metodikk. Cnossos-EU tar imidlertid også høyde for dobbelt skjerming, som Nord96 ikke håndterer. Som følge av at meteorologi er håndtert blir skjermingseffekten med norsk meteorologi (gunstig utbredelse, krummet lydbane) noe lavere i Cnossos-EU enn ved Nord96.

Nedenfor er det presentert en enkel oversikt over hvordan Cnossos og Nord96 skiller seg hverandre. For en situasjon med rettlinjert veg og flatt terreng vil Cnossos-EU (med norsk meteorologi og referansevegdekke) beregne:

- lavere enn Nord96
 - Ved myk mark, uten skjerming, for avstander < 100 meter, mottakerhøyde 1,5 m.
 - Ved myk mark, uten skjerming, for avstander < 200 meter, mottakerhøyde 4 m.
 - Direkte bak en dobbelt skjerming, der den første skjermen har høyest skjermdempning.
- høyere enn Nord96:
 - Ved hard mark, uten skjerming, mottakerhøyde 1,5 m og 4 m.
 - Ved myk mark, avstander > 100 meter, uten skjerming, mottakerhøyde 1,5 m.
 - Situasjoner med enkelt skjerming og hard mark.
- Omtrent som Nord96
 - Ved med myk mark, avstand < 50 m, uten skjerming, mottakerhøyde 4 m.
 - Mottakerpunkt rett bak en enkelt skjerm, både myk og hard mark.
 - Situasjon med enkelt skjerming og myk mark < 50 m bak skjerm, mottakerhøyde 1,5 m.

I tillegg til vegtrafikk håndterer Cnossos-EU også støykilder som jernbane og industri. Lydutbredelsesmetodene som presentert for veg vil også være gjeldende for jernbane og industri. For jernbane er det foreløpig ikke gode nok inngangsdata til at det kan tas i bruk for norske forhold. Forskjellene mellom Cnossos-EU og Nordisk beregningsmetode for industristøy vil variere basert på spekteret til den aktuelle kilden, fordi markabsorpsjon, luftabsorpsjon, og meteorologi er håndtert forskjellig i de to metodene.

A Referanseliste

- [1] NordicNoise Group, *Road Traffic Noise: Nordic Prediction Method*. Nordic Council of Ministers, 1997.
- [2] H. L. Nielsen, The Nordic Noise Group, and Nordic Committee of Senior Officials for Environmental Affairs, *Railway Traffic Noise - Nordic Prediction Method*. Århus: AKA-PRINT A/S, 1996.
- [3] J. Kragh, B. Andersen, and J. Jakobsen, 'Environmental noise from industrial plants - General prediction method'. Danish Acoustical Laboratory, 1982.
- [4] EU DIRECTIVE, *COMMISSION DIRECTIVE (EU) 2015/996 of 19 May 2015, establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council*. Luxembourg: OPEU, 2015.
- [5] G. Dutilleul *et al.*, 'NMPB-Routes-2008: The Revision of the French Method for Road Traffic Noise Prediction', *Acta Acust. United Acust.*, vol. 96, no. 3, pp. 452–462, May 2010, doi: 10.3813/AAA.918298.
- [6] EU DIRECTIVE, *COMMISSION DELEGATED DIRECTIVE (EU) 2021/1226 of 21 December 2020 amending, for the purposes of adapting to scientific and technical progress, Annex II to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council as regards common noise assessment methods*. Brussels: OPEU, 2020.
- [7] S. Kephelopoulou, M. PAVIOTTI, and F. Anfossio-Lédée, *Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. OPEU, 2012. doi: 10.2788/31776.
- [8] V. Henriksen, 'SINTEF rapport 2021-00232 - Meteorologimodell for bruk ved beregning av støy fra lette våpen', 2020.
- [9] Organización Internacional de Normalización, *ISO 9613-1: 1993, Acoustics: attenuation of sound during propagation outdoors. Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*. International Organization for Standardization, 1993.
- [10] S. Kephelopoulou, M. PAVIOTTI, and F. Anfossio-Lédée, *Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. PUBLICATIONS OFFICE OF THE EUROPEAN UNION, 2012. doi: 10.2788/31776.
- [11] Z.-I. Maekawa, 'Noise reduction by screens', *Appl. Acoust.*, vol. 1, no. 3, pp. 157–173, 1968.

B Appendix beregningsoppsett

Beregningseksemplene som vises i rapporten er utført med CadnaA versjon 2022 MR2. Det er også laget et egenutviklet beregningsprogram for både Cnossos-EU og Nord96 metodikk for å kontrollere og kunne se nærmere på detaljene vedrørende lydutbredelse. Beregningsprogrammet er utviklet iht. metodikk beskrevet i Cnossos-EU direktivet [4] inkludert siste oppdatering fra 2021 [6].

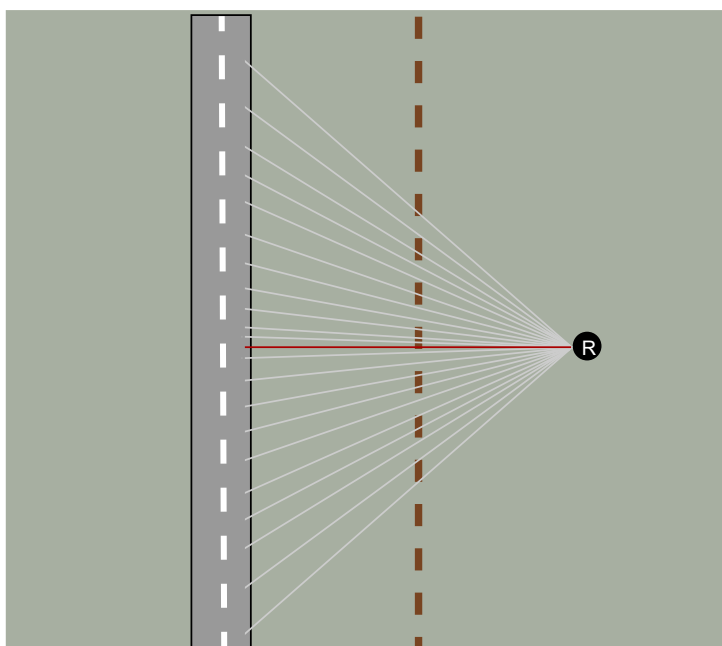
I beregningseksemplene som presentert i kap. 3 er det brukt trafikk tall som representerer det momentane lydnivået, dette tilsvarer ÅDT 86400.

Det er valgt i hovedsak å benytte lette kjøretøy i sammenligningen mellom Cnossos-EU og Nord96. Dette grunnet at Cnossos-EU har delt kjøretøykategoriene for tunge kjøretøy opp i to grupper (mellomtunge og tunge) som ikke direkte kan sammenlignes med Nord96 sine tunge kjøretøy, samt at forskjellene for lette kjøretøy mellom Cnossos-EU og Nord96 er liten/moderat. Det gjør det enklere å se forskjellene mellom de to metodene for de ulike testene. Der parameter LpA er oppgitt er trafikken fordelt over 24 timer med lik døgnfordeling over dag, kveld og natt. Det er brukt variasjon av meteorologi (homogen, gunstig og norsk meteorologi) og mottakerhøyde (1,5 meter og 4 meter). Mottakerhøyde er i stor grad satt til 1,5 meter, dette for å tydeliggjøre effekten fra skjerming og markabsorpsjon. Vegbredden er satt til 6 meter og vegkilden er plassert i senterlinje.

I modellen er det benyttet norsk tilpasning for Cnossos-EU. Norsk meteorologi, med prosentvis gunstig utbredelse: dag 50 %, kveld 60 %, natt 70 % [8]. Temperatur er satt til 4 °C. Temperaturen er valgt basert

på gjennomsnittstemperaturen for en del steder rundt om i Norge med en viss geografisk spredning og størrelse på tettstedet.

I eksemplene er vegen modellert som en rett strekning på 2000 meter hvor mottakerpunktet er plassert vinkelrett ut fra midten av denne vegstrekningen, se Figur 0-1 for illustrasjon. For situasjon med skjerming er skjermen modellert like lang som vegobjektet. For bygninger og skjermer er det ikke tatt med refleksjonsbidrag.



Figur 0-1. Illustrasjon av beregningsoppsett. Vegstrekning (kilde), mottaker (R), stiplet linje viser eksempel for situasjon med skjerm.