

PLANLÆGNINGSVÆRKTØJER OG EKSEMPLER
STØJREDUKTION LANGS VEJE

VEJTEKNISK INSTITUT
RAPPORT 189 - 2010



STØJREDUKTION LANGS VEJE

Planlægningsværktøjer og eksempler
Rapport 189 - 2010

FORFATTER:

Hans Bendtsen

ISBN (NET):

978-87- 92094-73-5

DATO:

December 2010

COPYRIGHT:

Vejdirektoratet, 2010

LAYOUT:

Svenning Olm

PUBLISHED BY:

Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut

FOTOS:

Hans Bendtsen, Allan Jensen, Rambøll

"Eagle luftfoto"

INDHOLD

SAMMENFATNING	4
FORORD	6
1. INTRODUKTION	7
1.1 Metoder til reduktion af støj	7
1.2 Organisering af støjindsatsen	8
1.3 Rapportens opbygning	11
2. GOOD GOVERNANCE VED HÅNTERING AF STØJ	12
3. GRÆNSEVÆRDIER, BEREGNING OG VURDERING	14
3.1 Grænseværdier for støj	14
3.2 Støjberegning	15
3.3 Støjbelastningstallet	18
3.4 Socioøkonomisk vurdering af støj	21
4. PLANLÆGNING AF NYE MOTORVEJE	23
4.1 Et eksempel	23
4.2 Virkemidler til at reducere støjen	27
5. PLANLÆGNING AF UDBYGNING AF EKSISTERENDE MOTORVEJE	30
5.1 VVM undersøgelse	30
5.2 Vurdering af brug af støjreducerende vejbelægninger	33
6. STØJBEKÆMPELSE LANGS EKSISTERENDE OVERORDNEDE VEJE	36
6.1 Facadeisolering	36
6.2 Støjhandlingsplaner	38
6.3 System for udbud af støjreducerende vejbelægninger	40
6.4 Andre virkemidler til støjreduktion	43
7. NYE BOLIGER LANGS EKSISTERENDE VEJE	47
8. REFERENCER	51

SAMMENFATNING

Når der bygges nye veje eller bygninger i Danmark tages der særlige hensyn til vejtrafikstøj. En ny landsdækkende støjkortlægning viser, at omkring ca. 800.000 boliger, eller ca. 30 % af danske hjem udsættes for vejstøj, som overskrider den vejledende grænseværdi på 58 dB og at støjproblemerne hovedsageligt forekommer i byerne. Denne rapport præsenterer metoder og strategier til støjbekæmpelse. Der findes ingen enkel metode for at fjerne alle støjproblemer langs motorveje og i byer. Det er nødvendigt at anvende støjbekæmpelse på forskellige niveauer:

Ved kilden: dette dækker køretøjer, dæk, vejbelægninger, trafik og hastighed.

Under udbredelse: i form af støjskærme, etc.

Ved modtageren: i form af facadeisolering og lokale skærme.

Baggrunden for denne rapport er erfaringer og idéer fra det danske Vejdirektorat samt statslige vejmyndigheder i andre europæiske lande. Som en introduktion præsenteres 14 anbefalinger for "good governance" angående forebyggelse og bekæmpelse af vejstøj.

I Danmark anses boliger at være støjbelastede, hvis vejstøjniveauet er højere end 58 dB (L_{DEN}). Når der planlægges nye boligområder anvendes normalt en grænseværdi på 58 dB (L_{DEN}). Den nordiske støjberegningsmetode, Nord2000, anvendes for vejtrafik. Støjbelastningstallet (SBT) er grundlaget for økonomiske analyser af støj fra vejtrafik. SBT er et udtryk for den samlede støjbelastning ved alle boliger i et område. SBT beregnes som summen af de vægtede støjbelastninger på individuelle boliger i området, således at boliger med høje støjniveauer vægtes tungere end boliger med mindre støj. Den økonomiske vurdering af støj er baseret på markedsværdien af boliger samt indflydelsen på sundheden.

Som en vigtig del af planlægningen af nye motorvejsstrækninger i Danmark gennemføres normalt en VVM-undersøgelse. Støj er en af de miljømæssige faktorer, som tages med i VVM-undersøgelserne. Når der planlægges nye motorveje, bliver støjgrænseværdien på 58 dB så vidt muligt søgt overholdt ved samlede boligområder. For enkeltliggende boliger tages der normalt ikke hensyn til grænseværdien. Der tilbydes i stedet facadeisolering, såfremt støjen overstiger 63 dB. Forskellige virkemidler til at reducere støjen kan anvendes, når der planlægges nye motorveje. Hvis det er muligt og realistisk at finde en linjeføring for den nye motorvej, som giver den maksimale afstand til boligområder, er det normalt den foretrukne løsning. Støjafskærmninger og støjreducerende belægninger bruges normalt, når en motorvej passerer byer og samlede boligområder.

Som ved nye motorvejsprojekter, tages også støj i betragtning, når der planlægges udbygning af en eksisterende motorveje.

Fra 1992-2008 har Vejdirektoratet anvendt over 300 mio. kr. på etablering af støjskærme og i mindre omfang til facadeisolering langs de eksisterende statsveje. I aftalen om "En grøn transportpolitik" fra januar 2009 blev der afsat en samlet støjpulje på 400 mio. kr. frem til 2014 til en målrettet indsats for at reducere støjproblemer langs statens jernbaner og veje. Langs de eksisterende motorveje og hovedlandsveje er støjskærme det vigtigste virkemiddel. I nogle situationer, hvor det ikke har været muligt at anvende støjskærme for at opnå tilstrækkelig støjreduktion, anvendes facadeisolering, typisk ved at udskifte vinduer og døre til mere støjreducerende typer.

I december 2009 udgav Vejdirektoratet "Støjhandlingsplan 2008-2013 for større statslige veje". Formålet med planen er at beskrive tiltag for at nedsætte vejstøj langs statsvejene, der hvor støjniveauet anses for at være uacceptabelt. Planen beskriver også støjinitiativer i forhold til vedligeholdelse og udvidelse af statens vejnet.

Det væsentligste redskab til at forhindre støjgener fra veje er forebyggelse. Siden midten af 1980'erne er støj indgået i kommunernes lokalplanlægning i forbindelse med planlægning og bygning af nye boliger. Ifølge planloven må støjbelastede arealer kun udlægges til støjfølsom anvendelse (fx boliger) i en lokalplan, hvis planen har bestemmelser om etablering af afskærmningsforanstaltninger, der kan sikre den fremtidige anvendelse mod støjgener. Et areal betragtes som støjbelastet, når støjen er højere end Miljøstyrelsens vejledende støjgrænseværdi for den planlagte anvendelse. Frem til 2007 blev der anvendt en støjgrænseværdi for boliger på 55 dB ($L_{Aeq,24h}$). I 2007 blev støjindikatoren L_{den} introduceret som erstatning for $L_{Aeq,24h}$ og støjgrænseværdien blev ændret til 58 dB (L_{den}) for at sikre samme beskyttelsesniveau.

FORORD

Støj er en stor udfordring for vejmyndighederne. Støj er en vigtig faktor der inddrages i udbygningen og vedligeholdelsen af vejnettet. Der anvendes store økonomiske ressourcer til støjbekæmpelse. Denne rapport præsenterer en række metoder til at håndtere støj i forbindelse med vejplanlægning. Rapportens baggrund er de metoder og virkemidler som anvendes af det danske vejdirektorat, desuden er der anvendt eksempler fra andre europæiske lande.

Rapporten er udarbejdet af Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut for de statslige vejmyndigheder i Californien - California Department of Transportation (Caltrans). Arbejdet er gennemført som en del af et forskningssamarbejde om vejtrafikstøj og støjreducerende vejbelægninger mellem Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut og University of California Pavement Research Centre (UCPRC).

Rapporten er skrevet af Hans Bendtsen fra Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut. Jakob Fryd fra Vejdirektoratets Vejplan- og Miljøafdeling har bidraget med råd og kommentarer. Forfatteren vil takke alle der har gjort det muligt at producere denne sammenfatning af hvordan Vejdirektoratet håndterer støj i forbindelse med vejplanlægningen.



1. INTRODUKTION

I forbindelse med anlæg af nye veje samt ved opførelse af ny bebyggelse i Danmark tages der særligt hensyn til støj. Ifølge en ny national støjkortlægning er omkring 30 % af boligerne i Danmark udsat for vejtrafikstøj på et niveau der ligger over den vejledende grænseværdi på 58 dB (L_{DEN}) og støjproblemerne er især koncentreret i byområder.

Støj fra vejtrafik påvirker folk på forskellige måder. Støjen kan både forstyrre samtale og påvirke folks søvn. Nye studier indikerer, at støj kan påvirke helbredet ved at forøge risikoen for at få hjerte-kar sygdomme. Støjens effekter har ligeledes en økonomisk betydning, da støjen påvirker prisen på boliger i områder der er udsat for støj fra vejtrafik.

Desuden betyder sundhedseffekterne udgifter til sundhedssystemet mv. I forbindelse med udarbejdelsen af regeringens "Forslag til strategi for begrænsning af vejtrafikstøj" fra 2003 blev det beregnet, at de årlige samfundsøkonomiske udgifter forårsaget af støj fra vejtrafik udgør mellem 5,9 og 8,7 mia. kr. årligt [6].

1.1 METODER TIL REDUKTION AF STØJ



Figur 1.1. Eksempel på facadeisolering hvor der er opsat glaskasser foran de eksisterende vinduer ved soveværelser og stuer på en boligblok i Århus [10].

Der findes ikke en enkelt metode som kan fjerne støjproblemerne langs det overordnede vejnet samt i byerne. Der er principielt tre forskellige steder, hvor der kan sættes ind [7]:

1. **Ved kilden** som dækker over køretøjer, vejbelægning, trafikmængde og hastighed. Når støjen dæmpes ved kilden, har det en effekt på alle de boliger og friarealer, som er påvirket af støj fra en given vejstrækning. Der opnås ligeledes en støjreduktion ved fortove og cykelstier langs vejen, hvor de lette trafikanter færdes.
2. **Under udbredelsen** i form af forskellige former for afskærmning og lignende. Ved anvendelse af afskærmning reduceres støjen ved de boliger og friarealer, der ligger bag en afskærmning, hvorimod der ikke opnås nogen dæmpning for de mennesker, som bor og opholder sig foran afskærmningen.
3. **Ved modtageren** i form af facadeisolering og lokal afskærmning. Facadeisolering har kun en effekt på støjniveauet indendørs, hvorimod støjen på friarealer ikke reduceres.

Det kan være nødvendigt at anvende en kombination af virkemidler for at opnå den ønskede støjreduktion som fx brug af støjskærme, støjreducerende vejbelægninger, hastighedsreduktioner, begrænsning af tung trafik om natten og facadeisolering for blot at nævne nogen. Miljøzoner i byområder, hvor der anvendes hastighedsbegrænsning, kan også reducere støjen.

1.2 ORGANISERING AF STØJINDSATSEN

Oftest gøres der intet ved støjproblemerne, formodentlig fordi der ikke er en klar ejer af problemet eller en organisation, der kan tage initiativer. Måske virker problemerne overvældende og der mangler gode ideer eller nogle alternative metoder til at finansiere indsatsen. Men det er vigtigt at sætte en positiv udvikling i gang lokalt, også selvom forhindringerne kan virke store og resultaterne i begyndelsen kun er meget beskedne!

Til at igangsætte og drive støjarbejdet i en kommune kunne der etableres et støjsekretariat med nogle medarbejdere, der har som primær opgave at planlægge, igangsætte og styre den kommunale indsats på støjområdet. Et sådant arbejde bør foregå i et samarbejde med andre afdelinger i kommunen samt i samarbejde med private borgere, ejer- og lejerforeninger samt erhvervslivet.

En kommune er en stor organisation som løbende planlægger og gennemfører en lang række aktiviteter både med nybyggeri og anlæg samt med drift og vedligeholdelse. Det kunne gøres til en kommunal målsætning, at støjhensyn og støjbekæmpelse altid skal tænkes ind i alle relevante aktiviteter fx i forbindelse med vejvedligeholdelse, bygningsvedligeholdelse og renovering af friarealer og parker mv.

I kommuner foregår der en planlægning af byudviklingen og evt. af ombygningen og forbedringen af eksisterende byområder. Støj medtages normalt som en væsentlig parameter ved udbygning af helt nye boligområder. Men støj kunne ligeledes medtages som en væsentlig parameter ved ombygning og udbygning af eksisterende byområder. Grundlaget for noget sådant kunne være en fastlæggelse af nogle kommunale målsætninger for støj i eksisterende byområder.

Der er et behov for at aktivere så mange ressourcer som muligt i arbejdet på at reducere støjen. Her kan kommunen spille en meget vigtig rolle i forhold til borgere og erhvervsliv. Undersøgelser viser, at der er en vis vilje til at deltage i betalingen af støjreducerende tiltag blandt nogle borgere. Men de enkelte borgere kan mangle viden om de tekniske og økonomiske muligheder.

Et kommunalt støjsekretariat kunne spille en vigtig rolle som idébank, initiativtager og koordinater. Hvis det er muligt at samle interesserede støjplagede borgere, præsentere dem for tekniske løsningsmuligheder og hjælpe dem med planlægningen og organiseringen af arbejdet med at reducere støjen, vil der formodentlig kunne igangsættes en række initiativer, som helt eller delvist kan betales af borgerne. Den kommunale indsats kan bestå i organisering og koordinering med henblik på at få aktiveret de ressourcer, der findes blandt borgerne samt med eventuel deltagelse ved udførelse af forskellige arbejder. Desuden kunne det være en mulighed, at borgere og kommune deles om udgiften til nogle aktiviteter efter en fordeling, der kan opnås enighed om.



Figur 1.2. Når hegn omkring boliger og friarealer skal bygges eller fornyes af ejeren, kan det besluttes i stedet at opføre det nye hegn således at det samtidig fungerer som en støjskærm ved at anvende den rette design og konstruktion samt velegnede materialer. Det betyder ikke nødvendigvis at prisen stiger markant [10].

Der findes en række eksempler fra ind- og udland på, hvordan støjreduktioner er blevet finansieret [10, 29]. Boligejere kan selv beslutte sig for at få reduceret støjen ved deres bolig og selv betale for dette. Den stigning af ejendomsprisen, der opstår pga. en støjreduktion, kan danne baggrunden for en finansiering. En værdiforøgelse af en bolig vil principielt betyde, at ejendomsværdien forøges tilsvarende. I perioder uden skattestop, vil en forøget ejendomsværdi betyde, at kommune og stat får forøget skatteindtægterne i form af øget grundskyld og ejendomsværdiskat, som kunne anvendes til helt eller delvist at finansiere støjreducerende tiltag.

I almentygtige boligbebyggelser eller i ejer- og andelsforeninger kan støjdæmpning i form af støjsolierende vinduer mv. finansieres over bebyggelsens vedligeholdelses- eller moderniseringsbudget, der ligeledes kan finansiere et nyt hegn, der udformes som støjskærm eller bygning af beboervaskeri, fælleslokaler, carporte/garager eller cykelskure, der placeres og udformes, således at de kan fungere som støjskærme.



Figur 1.3. Når vinduerne i en boligejendom alligevel skal udskiftes af ejeren kan støj tages med som vigtig parameter ved valg af nye vinduer. Uden en markant forøgelse af omkostningerne vil det ofte være muligt at opnå støjreduktioner. Ligeledes er energitabet ofte lavt i gode støjreducerende vinduer, således at der også vil blive opnået en energibesparelse [10].



Figur 1.4: Offentlig møde om støjdæmpning i forbindelse med et motorvejsprojekt.

I forbindelse med projekter, hvor der planlægges støjreducerende tiltag, kan det anbefales at inddrage de borgere, der opnår en støjreduktion eller på anden vis påvirkes af projektet. Dette kan være med til at give borgerne indflydelse på valg af løsninger samt give borgerne en realistisk forventning til hvor

stor en støjreduktion projektet medfører. Borgerne vil kunne bibringes et medejerskab til projektet og nogle borgere vil kunne få et incitament til selv at gennemføre nogle supplerende tiltag, som kan forbedre effekten og kvaliteten af det, der i forvejen planlægges gennemført.

1.3 RAPPORTENS OPBYGNING

Som introduktion præsenteres fjorten anbefalinger til vejmyndigheder for "good governance" i forhold til håndtering af støj og støjreduktioner i Kapitel 2. Vejledende grænseværdier, beregning af støj og socio-økonomisk vurdering af støj præsenteres i kapitel 3. Derefter følger tre typiske planlægningssituationer, der med eksempler beskriver hvordan støj kan håndteres i forhold overordnede veje:

- Planlægning af nye motorveje i Kapitel 4.
- Planlægning af udvidelse og ombygning af eksisterende motorveje i Kapitel 5.
- Støjreduktioner langs eksisterende veje i Kapitel 6.

Endelig præsenteres der i Kapitel 7, hvordan der tages hensyn til støj i forbindelse med planlægning af nye boligområder langs eksisterende veje.



2. GOOD GOVERNANCE VED HÅNTERING AF STØJ

De følgende fjorten anbefalinger til vejmyndigheder for "good governance" i forhold til håndtering af støj og støjreduktioner [3] er udarbejdet af en europæisk støjarbejdsgruppe under "Conference of European Directors of Roads" (CEDR) [5]. CEDR er et samarbejdsforum mellem de europæiske nationale vejmyndigheder:

1. Det er vigtigt at medtage støjens syn på et tidligt tidspunkt i processen i forbindelse med planlægning af nye veje. På denne måde kan det sikres, at der ikke senere opstår støjrelaterede problemer. De nationale støjgrænseværdier og retningslinjer kan danne baggrund for dette.
2. Støj bør medtages som en vigtig parameter, hvor eksisterende veje ombygges og udvides. På denne måde vil støjmiljøet kunne forbedres for de mennesker der bor i nærheden af veje, som skal udvides.
3. Ved planlægning af tiltag til støjreduktion i forbindelse med nye vejanlæg samt ved vejudvidelser, er det vigtigt at anvende en lang tidshorisont på 20 – 30 år, når støjen fra den fremtidige og stigende trafik beregnes. På denne måde gøres støjprojekter robuste.
4. De primære støjproblemer i Europa findes i omgivelserne til de eksisterende veje og disse problemer bliver kun forøget af den stigende trafik. Derfor er støjbekæmpelse langs de eksisterende veje meget vigtig i forhold til at starte en proces, hvor støjen fra de eksisterende veje over en lang periode bliver reduceret.
5. Når der planlægges og udføres konstruktions- og anlægsarbejde ved veje i nærheden af beboede områder, er det en god ide, at støjen fra anlægsaktiviteterne analyseres og at der om nødvendigt etableres foranstaltninger til at reducere støjen.
6. Støjskærme har normalt en lang levetid. Trafikanter samt beboere langs vejene skal se på og leve med skærmene hver dag. Det er derfor vigtigt at anvende støjskærme hvis design og udformning er tilpasset hver enkelt specifik lokalitet.
7. I projekter hvor virkemidler til støjreduktion som fx. skærme planlægges og designes, er det vigtigt at sikre god kommunikation og borgerinddragelse. Dette kan give beboerne et ejerskab til projektet samt sikre, at beboernes forventninger til den fremtidige støj er realistiske.

8. Brug af støjreducerende vejbelægninger er normalt et omkostningseffektivt virkemiddel.
9. I forbindelse med vedligeholdelse og skift af belægninger på eksisterende veje er brug af støjreducerende vejbelægninger ofte et billigt virkemiddel til at reducere støjen.
10. Integration af støj som en aktiv parameter i Pavement Management Systemer kan forøge den optimale brug af støjreducerende vejbelægninger i den løbende vejvedligeholdelsesproces.
11. Et system som det danske "SRS-system" til støjdeklarering af belægningsprodukter kan være medvirkende til at støjreducerende vejbelægninger kommer på markedet (se Afsnit 6.3).
12. En fortsættelse af et internationalt støjsamarbejde mellem de europæiske vejdirektorater er positivt og skaber ny værdi.
13. Der er et behov for fortsat forskning og udvikling af langtidsholdbare metoder til at reducere støjen som fx. optimerede støjreducerende belægninger, dæk og køretøjer.
14. Som al anden infrastruktur og bygningsværker skal også støjdæmpende foranstaltninger som belægninger, skærme, facadeisolering mv. vedligeholdes med passende mellemrum.



Figur 2.1. I forbindelse med vejarbejde i nærheden af eksisterende boligområder kan det være relevant at medtænke støj fra konstruktionsarbejdet i forbindelse med planlægning og udførelse af sådanne arbejder.

3. GRÆNSEVÆRDIER, BEREGNING OG VURDERING

3.1 GRÆNSEVÆRDIER FOR STØJ

I mange år er støjindikatoren $L_{Aeq,24h}$ blevet anvendt i Danmark i forbindelse med vurdering af støj fra vejtrafik. $L_{Aeq,24h}$ er et udtryk for det « gennemsnitlige » støjniveau over døgnets 24 timer. Den vejledende grænseværdi for vejtrafikstøj, udendørs ved facaden af en bygning, har været 55 dB. Der er tale om en såkaldt frit felt værdi hvor støjrefleksionen fra bygningens egen facade ikke medregnes.

På baggrund af EU's direktiv om vurdering og styring af eksternt støj [22] er en ny indikator for støj fra vejtrafik, L_{den} , introduceret af Miljøstyrelsen i 2007 [23]. For L_{den} beregnes støjen separat for dag-, aften- og natperioden. 5 dB lægges til støjen i aftenperioden og 10 dB til støjen i nat perioden for på denne måde at give en form for kompensation for at mennesker om aftenen, og især om natten, er mere følsomme over for støj end om dagen. De tre tidsperioder er i Danmark defineret som følgende:

- **Dag:** 07 – 19, længde 12 timer
- **Aften:** 19 – 22, længde 3 timer, tillæg 5 dB
- **Nat:** 22 – 07, længde 9 timer, tillæg 10 dB

L_{den} beregnes som den vægtede sum af de tilpassede støjniveauer for de tre perioder på døgnet ved at anvende følgende formel

$$L_{den} = 10 \log \{ 12 \cdot 10^{L_{dag}/10} + 3 \cdot 10^{(L_{aften}+5)/10} + 9 \cdot 10^{(L_{nat}+10)/10} \} \quad (1)$$

Ifølge [23] for danske forhold med en "normal" fordeling af trafikken over døgnets 24 timer, kan L_{den} beregnes simpelt ved at lægge 3 dB til $L_{Aeq,24h}$:

$$L_{den} = L_{Aeq,24h} + 3dB \quad (2)$$

De eksisterende vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj er derfor blevet justeret med 3 dB ved introduktionen af L_{den} for at opretholde det samme niveau af støjbeskyttelse, som da $L_{Aeq,24h}$ blev anvendt. I andre europæiske lande anvendes der andre relationer mellem L_{den} og $L_{Aeq,24h}$ [3].

Områdetype	Grænseværdi L_{den}
Rekreative arealer i landområder, sommerhusområder, campingpladser mv.	53 dB
Boligområder, børneinstitutioner, skoler og uddannelsesinstitutioner, beboelse for ældre hospitaler mv. Kolonihaver, rekreative arealer og parker	58 dB
Hoteller, kontorer mv.	63 dB

Tabel 3.1. Danske vejledende grænseværdier for støj fra vejtrafik udtrykt som L_{den} [23].

De nye danske vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj udtrykt som L_{den} , kan ses i Tabel 3.1. Det skal bemærkes, at de vejledende grænseværdier er retningsgivende, men ikke obligatoriske grænser, som ikke må overskrides nogen steder langs vejnettet i Danmark. De vejledende grænseværdier anvendes derimod i forbindelse med planlægning og opførelse af nyt boligbyggeri mv. langs det eksisterende vejnet, lige som de normalt også anvendes i forbindelse med planlægning af nye veje og motorveje.

Danmark er i disse år i en proces hvor $L_{Aeq,24h}$ bliver udskiftet med L_{den} . Dette er reflekteret i denne rapport, hvor nogle af de anvendte eksempler anvender $L_{Aeq,24h}$, mens andre anvender L_{den} .

3.2 STØJBEREGNING

I Danmark har den fælles nordiske metode til beregning af vejtrafikstøj været den officielle beregningsmetode siden 1970'erne. I 2007 introducerede Miljøstyrelsen [23] i samarbejde med Vejdirektoratet den nyeste version som hedder "Nord2000" [25, 26]. Metoden er udviklet i et fælles nordisk projekt med dansk deltagelse. Nord2000 er en helt ny metode, som er væsentligt forbedret i forhold til de tidligere metoder. Både kildestyrkemodellen samt modellen for beregning af lydudbredelsen er nyudviklede, baseret på den nyeste forskning og den seneste akustiske viden.

Ideen har været at udvikle en generel model for lydudbredelse med kildestyrefikke beregningsmetoder for henholdsvis vej- og jernbanestøj samt støj fra andre kilder bl.a. industri. Nord 2000 består nu af modeller for kildestyrker for veje og jernbaner samt en model for lydets udbredelse i terrænet/byen. Modellen arbejder i 1/3 oktav bånd og den kan beregne lydudbredelsen i alle normale meteorologiske situationer. Af historiske årsager har støjen fra henholdsvis veje, jernbaner og industri i de tidligere nordiske beregningsmodeller været beregnet under forskellige meteorologiske forhold. Med Nord2000 kan støjen fra alle kilder beregnes under de samme meteorologiske forhold.

I kildemodellen skelnes der mellem 3 køretøjstyper:

1. Lette køretøjer/personbiler
2. Medium tunge køretøjer (to-akslede lastbiler og busser).
3. Tunge køretøjer (lastbiler og busser med mere end to aksler).

Støjen i 1/3 oktav-bånd beregnes henholdsvis for dæk-vejbanestøjen og motorstøjen på baggrund af brugerens valg af inputparametre. Udgangsstøjniveauerne er baseret på en lang række støjmålinger langs vejnettet. De danske støjemissionsdata er baseret på støjmålinger gennemført i perioden 1999 – 2000 på i alt 4000 køretøjer fordelt på 21 vejstrækninger med hastighedsgrænser varierende fra 30 til 110 km/t. På disse strækninger lå der 2 til 18 år gamle (gennemsnitsalder 8 år) tætte asfaltbeton eller SMA belægninger med en maksimal stenstørrelse på 8 – 12 mm.

Der er en tendens til, at støjemissionerne i Nord2000 ligger lidt højere end i den tidligere version af den nordiske støjbergningsmodel fra 1996. Det er ikke klarlagt om denne forskel skyldes øget støjemission fra køretøjerne eller dækkene.

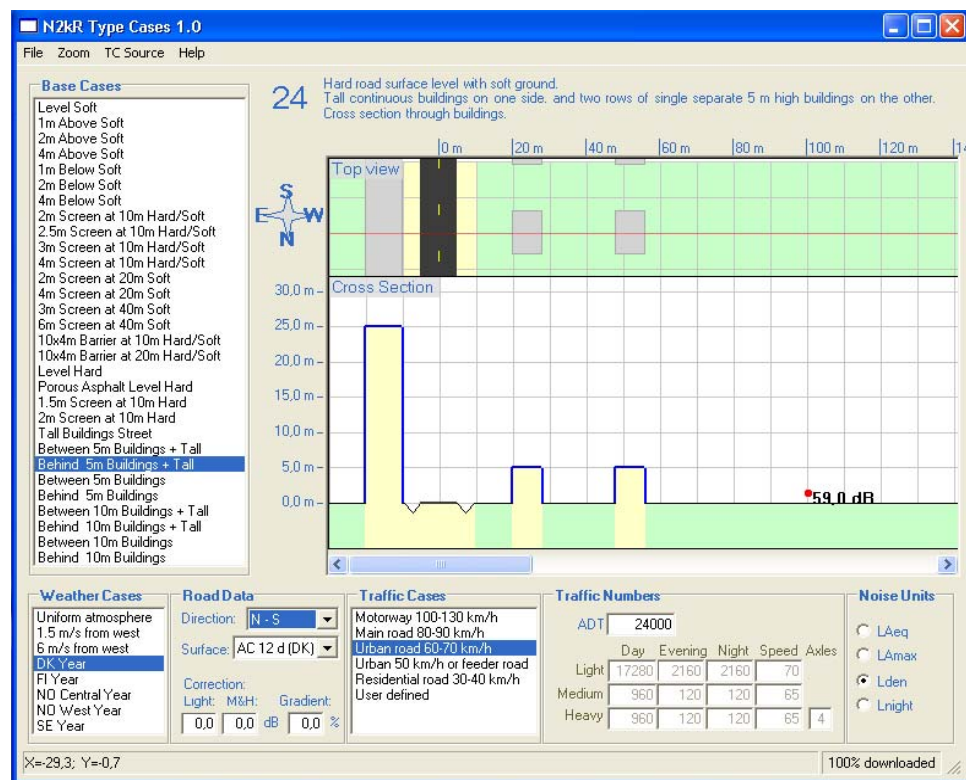
Støjudbredelsesmodellen i Nord2000 er baseret på geometrisk stråleteori med algoritmer til beregning af 1/3 oktav band støj dæmpning langs en vej fra støjkilde til modtager, hvor der tages hensyn til terrænets geometri samt terrænoverfladens type (impedans) og ruhed.

Nord2000 opererer med støj dæmpning under forskellige vejforhold og er derfor velegnet til at beregne det årlige gennemsnitlige støjniveau. Forskellige typer vejforhold er defineret og deres forekomst/hyppighed er bestemt ud fra data fra meteorologiske observationer. Det årlige gennemsnit beregnes ved at foretage støjbergninger for hver enkelt vejtype og derefter vægte støjniveauerne i forhold til forekomsten af de forskellige vejtyper. Som et eksempel kan det nævnes, at effekten af at anvende præcise vejforhold ved beregningerne kan betyde, at for en nord-sydgående vej er støjniveauet som årgennemsnit 2 dB højere 300 m øst for vejen end det er ved et tilsvarende beregningspunkt 300 m vest for vejen. Forklaringen på dette er, at den mest fremherskende vindretning er vestenvind. Nord2000 er udviklet til at beregne de udendørs støjniveauer, hvorimod den ikke er specielt udviklet til at beregne støjniveauer inde i bygninger.

Nord2000 er udviklet til brug for miljø- og transportmyndighederne i de nordiske lande. Modellen er udviklet i et fælles nordisk projekt og udviklingsomkostningerne er dækket af de offentlige myndigheder i de nordiske lande. Modellen består af en brugermanual [26] samt en stor serie af formeludtryk (se reference liste i [26]), som begge dele via internettet er stillet til gratis disposition for alle, der vil bruge dem. Det er så en udfordring for private softwarefirmaer at udvikle EDB versioner af metoden samt at sælge disse produkter på markedet. Der er kommercielle versioner af Nord2000 på markedet.

Med det formål at gøre Nord2000 let tilgængelig for offentlige myndigheder samt offentligheden i øvrigt, er der i offentligt nordisk regi udviklet en simpel PC version af metoden som kan downloades gratis [27]. PC version anvender engelsk som arbejdssprog. Denne simple version indeholder en serie af 30 typetilfælde med typiske situationer for veje, støjskærme og terrængeometri mv.

Brugeren skal definere inputparametre som trafik, døgnfordeling, hastighed, type vejbelægning, støjskærme etc. Der findes foruddefinerede data for trafikfordelinger (køretøjstype og døgnfordeling) for 5 typiske vejtyper. Disse data kan tilpasses af brugeren til en specifik situation.



Figur 3.1. "Forsiden" af det simple PC program for Nord2000 som kan anvendes til overslagsberegninger af vejstøj ud fra 30 typetilfælde [27].

PC programmet kommunikerer via Internettet med en server i Norge, hvor der ligger en stor database med forudberegnete resultater. Resultaterne angives som udendørs støjniveauer og kan udtrykkes som $L_{Aeq,24h}$, L_{den} , L_{night} og det maksimale støjniveau L_{AFmax} . På denne måde har vej-, trafik og byplanlægge-re nem adgang til Nord2000.

3.3 STØJBELASTNINGSTALLET

Støjbelastningstallet (SBT) er i Danmark basis for gennemførelse af cost-benefit analyser af støj fra vejtrafik [11]. SBT er et udtryk for den akkumulerede støjbelastning på alle boliger i et givent afgrænset boligområde. SBT beregnes som summen af de vægtede støjniveauer for de enkelte boliger i et område, således at boliger udsat for høje støjniveauer vægter højere end boliger udsat for lavere støjniveauer.

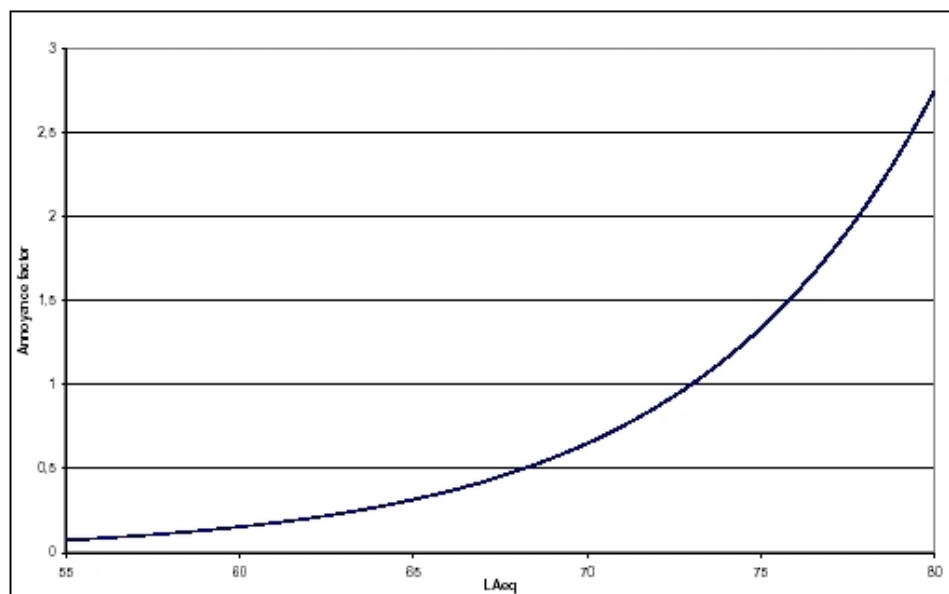
Beregninger af SBT kan baseres på støjniveauet tre steder ved og inde i en given bolig, men beregnes dog normalt kun for støjen ved facaden:

1. Inde i boligen
2. Uden for boligens facade
3. Ved boligens udendørs opholdsarealer

Den vægtning, der anvendes til hvert af de 3 ovenstående steder afhænger af hvor ofte folk kan antages at opholde sig på stedet samt om der er tale om almindelig helårsbeboelse eller sommerhuse. Disse vægte kan ses i Tabel 3.2.

	Uden for bolig	Udendørs opholdsarealer	Inde i bolig
Helårsbeboelse	0,2	0,2	0,6
Sommerhuse etc.	0,1	0,3	0,1

Tabel 3.2. Vægte for forskellige steder til brug ved beregning af støjbelastningstallet SBT [14].



Figur 3.2. Sammenhæng mellem støjgenefaktor og støjniveau ($L_{Aeq,24h}$) uden for en helårsbolig [11, 14].

Støjbelastningstallet SBT er baseret på en dosis-response relation, som det fremgår af Figur 3.2. Den aktuelle genefaktor for specifikke støjniveauer er bestemt ud fra en dosis-response sammenhæng for støj uden for helårsboliger [9]. Sammenhængen mellem genefaktor og støjniveau fremgår af Figur 3.2. Denne figur er baseret på undersøgelser af hvor generede folk er ved forskellige støjniveauer.

Genefaktoren kan beskrives ved følgende formel [9]:

$$\text{Gene factor} = 0.01 * 4,22^{0,1(L_{\text{den}} - K)} \quad (3)$$

Hvor:

- K = 19 og L_{den} starter ved 33 dB for støj inde i boliger
- K = 44 og L_{den} starter ved 58 dB for støj uden for boliger.
- K = 39 og L_{den} starter ved 53 dB for støj uden for sommerhuse

Antallet af boliger, som er påvirket af støj i hver af de 3 situationer (inde, ude og på friarealer) beregnes i intervaller på 5 dB med brug af beregningsmetoden Nord2000 (se evt. Afsnit 3.2) og ganges med den tilhørende genefaktor (Tabel 3.3). De resulterende værdier summeres og ganges med den tilhørende vægtningsfaktor fra Tabel 3.2. Dermed beregnes støjbelastningstallet SBT for den givne situation og boligtype. Et eksempel på beregning af SBT for et område med helårsbeboelse fremgår af Tabel 3.4.

Skrevet som en formel kan SBT beregnes på følgende vis:

$$SBT = \sum_k \sum_j w_{jk} \sum_i a_{ijk} N_{ijk} \quad (4)$$

Hvor:

- k = ord, wec (helårsbeboelse, sommerhus).
- j = od, oa, in (uden for boliger, udendørs areal, inde i bolig).
- i = 1, 2, 3, 4, 5, 6 (5-dB intervaller begyndende ved 33 dB, 58 dB eller 53 dB, se Tabel 3.3).
- w_{jk} = {0,2, 0,2, 0,6}k = helårsbeboelse, {0,1, 0,3, 0,1}k = sommerhus
- a_{ijk} = 0,11, 0,22, 0,45, 0,93, 1,92, 3,94.
- N_{ijk} Antallet af boliger i 5 dB intervaller

Støjniveau i dB	Område type			
	Helårsbeboelse		Sommerhuse	
	Inde	Ude	Inde	Ude
33,1-38,0	0,11	-	0,11	-
38,1-43,0	0,22	-	0,22	-
43,1-48,0	0,45	-	0,45	-
48,1-53,0	0,93	-	0,93	-
53,1-58,0	1,92	-	1,92	0,11
58,1-63,0	3,94	0,11	3,94	0,22
63,1-68,0	-	0,22	-	0,45
68,1-73,0	-	0,45	-	0,93
73,1-78,0	-	0,93	-	1,92
78,1-83,0	-	1,92	-	3,94

Tabel 3.3. Genefaktor for enkelte boliger afhængigt af støjniveauet [14].

Støjbelastningstallet SBT gør det muligt at sammenligne fordelene ved forskellige tiltag til støjreduktion som fx støjskærme, støjreducerende vejbelægninger, facadeisolering mv. på en måde der tager hensyn til de enkelte virkemidlers forskellige effekt over for støjen. Denne beregningsmåde muliggør, at flere forskellige strategier for støjreduktion herunder en kombination af virkemidler kan gennemregnes og sammenlignes på lige vilkår.

Udendørs ved bolig			Udendørs friareal			Inde i bolig		
Støj ved facaden [dB]	Antal boliger	Genefaktor	Støj ved facaden [dB]	Antal boliger	Genefaktor	Støj ved facaden [dB]	Antal boliger	Genefaktor
68-73	163	0,45	68-73	37	0,45	43-48	163	0,45
63-68	207	0,22	63-68	15	0,22	38-43	207	0,22
58-63	123	0,11	58-63	19	0,11	33-38	123	0,11
Vægt		0,2	Vægt		0,2	Vægt		0,2
SBT		26,5	SBT		4,4	SBT		79,4
Sum af SBT = 110,3								

Tabel 3.4. Eksempel på beregning af støjbelastningstallet SBT for et område med helårsboliger udsat for støj over 58 dB angivet som L_{den} [11].

Ofte anvendes en simplificeret metode til beregning af SBT, hvor der kun ses på støjniveauet udendørs ved facaden af boliger og evt. sommerhuse og tildelles den udendørs støj vægten 1 og man ser bort fra støjen indendørs samt ved boligens friarealer.

Hvis denne simplificerede metode anvendes, er det ikke muligt at foretage en korrekt vurdering af effekten af facadeisolering og vurderinger af støjafskærmning kan også blive mindre korrekt, da en skærm i nogle tilfælde pga. geometrien kan have en forskellig støjdæmpende effekt på et friareal og ved boligens facade.

3.4 SOCIOØKONOMISK VURDERING AF STØJ

I 1999 offentliggjorde Finansministeriet en vejledning til udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger af bygge- og anlægsprojekter mv. [12]. Formålet var at sikre en stor ensartethed i forbindelse med udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger af nye initiativer i transport og energisektoren. Hvorvidt der bør anvendes en Cost-Benefit Analyse (CBA) eller en Cost-Effectiveness Analyse (CEA) afhænger af karakteren af det projekt, som skal analyseres, men CBA fremhæves som den primære metode [12].

Vejledningen indeholder standarder og principper for beregning af centrale parametre i sådanne analyser. Værdisætning skal foretages som beregnet nutidsværdi, med anvendelse af en kalkulationsrente på 6 % samt en skatteomkostningsfaktor på 20 %, for at tage hensyn til omkostningerne for samfundet ved at anvende skattefinansiering af projekter. For projekter med en tidshorisont på mere end 20 år kan skatteomkostningsfaktor udelades, hvis der i stedet anvendes en kalkulationsrente på 7 %.

I 2003 offentliggjorde Transportministeriet en manual for socioøkonomiske analyser [13], baseret på Finansministeriets vejledning fra 1999. Vurderingen af støj baseres på gener ved boligbebyggelse, hvorimod støjpåvirkningen af institutioner samt kontorer og andre arbejdspladser ikke medtages. Boliger udsat for en støjpåvirkning under 55 dB ($L_{Aeq,24h}$) medtages ikke og der differentieres ikke mellem støj i dag- og nat-perioderne.

Værdisætning af støjens effekter baseres på markedspriser. Transportministeriet offentliggør løbende publikationer som angiver opdaterede priser på de nøgletal som skal anvendes. I publikationen fra 2004 [15], er prisen på støj baseret på en ny undersøgelse af hvordan vejtrafikstøj påvirker boligpriserne (den såkaldte Hedoniske metode) [16]. Prisen på støjgener er her opgjort til 35.853 kr. per SBT. 23.018 kr. adderes til dette per SBT for at medregne de samfundsøkonomiske omkostninger af støjens sundhedsmæssige effekter. Den samlede pris på en SBT enhed bliver således 58.871 kr/år. (2003 prisniveau).

I juni 2010 har Transportministeriet igen offentliggjort nye og reviderede nøgletal. I denne forbindelse er det blevet besluttet på baggrund af endnu en undersøgelse af støjens betydning for boliger (primært ejerlejligheder) at nedsætte prisen pr SBT til 22.301 kr. [34]. I de efterfølgende eksempler anvendes SBT prisen på 58.871 kr.

Disse priser for SBT kan også anvendes i forbindelse med analyser baseret på den nye støjindikator L_{den} [9].

Vurderingen af støjens sundhedsmæssige effekter er baseret på en sammenfattende litteraturundersøgelse om emnet [17] hvor det konkluderes at dokumentationen for faktiske sundhedseffekter er svag hvorfor estimerne af de økonomiske konsekvenser skal tages med et vist forbehold. Der er noget dokumentation for en sammenhæng mellem støj og hjerte kar sygdomme selv om risikofaktorerne relateret til dette er usikre. Der anvendes en risikofaktor for høje blodtryk/ hjerte- kar sygdomme på 1,09 pr 5 dB forøgede støjniveauer. Andre mulige sundhedseffekter er udeladt af vurderingen af mulige sundhedsomkostninger.

I de nye reviderede nøgletal [34] findes også faktorer for transportens marginale omkostninger i forhold til støj. Omkostningen for støj pr kørt køretøjs kilometer (prisniveau 2010) fremgår af Tabel 3.5. Disse omkostninger er ligeledes nedskrevet i forhold til de tidligere anvendt værdier [15].

Køretøjs type	Kr/km
Personbil	0,05
Varebil	0,07
Lastbil	0,10
Bus	0,21

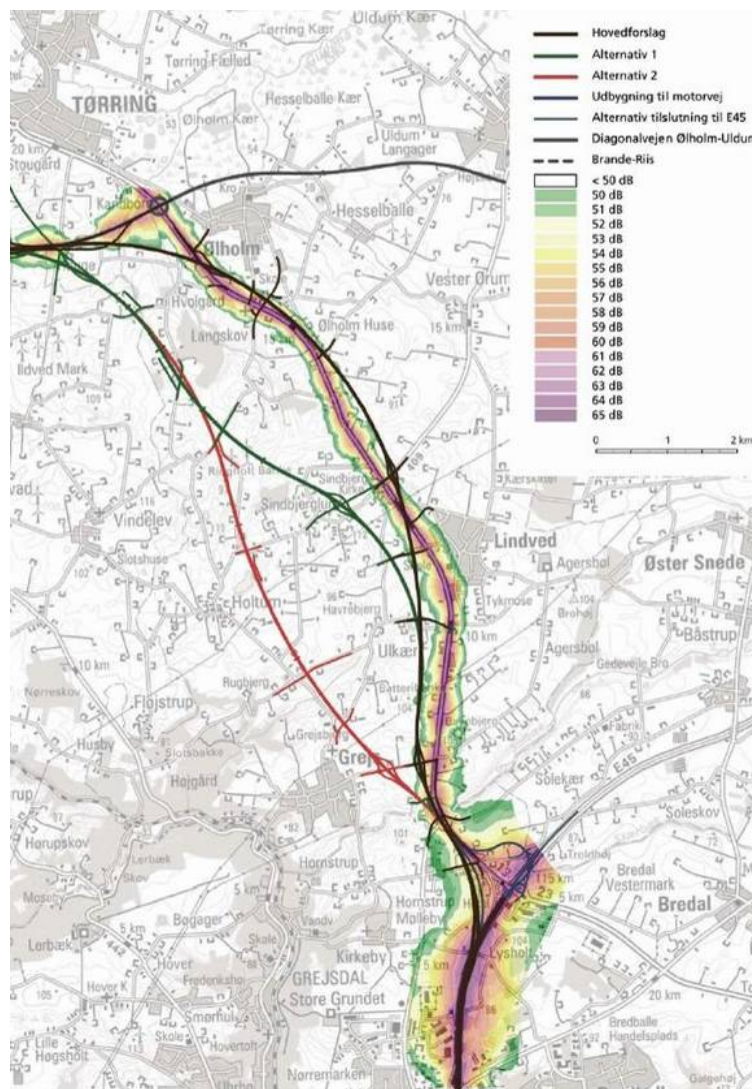
Tabel 3.5. Transportens marginale omkostninger i forhold til støj pr kørt køretøjs kilometer (prisniveau 2010) [34].

I rapporten "Cost-benefit analysis on noise-reducing pavements" [11] fra Vejdirektoratet foretages der en yderligere præsentation og diskussion af emnet "støjens socioøkonomiske omkostninger".

4. PLANLÆGNING AF NYE MOTORVEJE

Som en vigtig del af planlægningsprocessen for nye motorveje, udarbejdes der undersøgelser og vurderinger af virkninger på miljøet – de såkaldte VVM-undersøgelser. Støj er normalt en af de vigtige parametre der medtages i disse undersøgelser.

4.1 ET EKSEMPEL

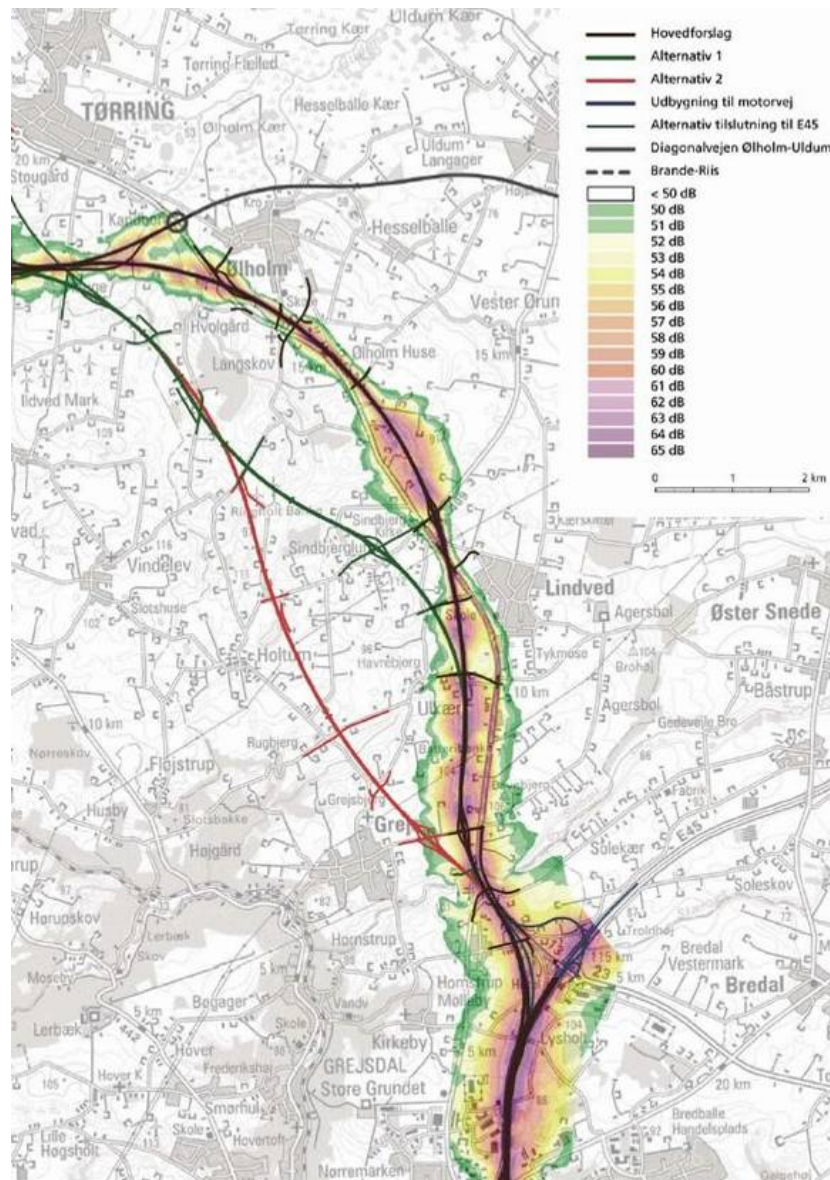


Figur 4.1. Planlægning af en ny motorvej mellem Ølholm og Vejle. Støjkortet viser referencesituationen i 2015 beregnet for en modtagerhøjde på 1,5 m over terræn. Støjkonturene langs den eksisterende vej er præsenteret [21].

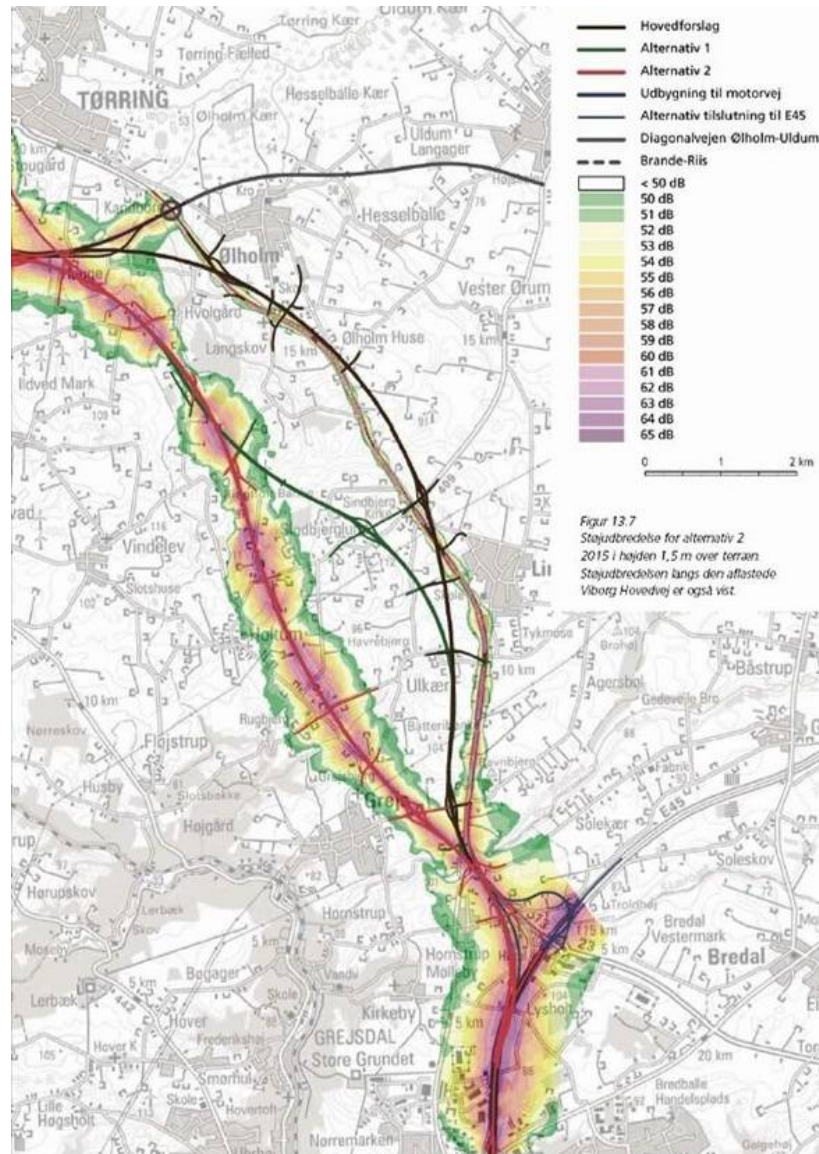
Det følgende er et eksempel på, hvordan støj er håndteret i VVM undersøgelsen [21] der er blevet gennemført som en del af planlægningen af en ny motorvej mellem Ølholm og Vejle. $L_{Aeq,24h}$ er anvendt som indikator for støjen i dette eksempel.

Referencesituationen er den eksisterende landevej, hvor støjen er blevet kortlagt for 2015 med hensyntagen til den forventede trafikstigning (Figur 4.1). Referencesituationen inkluderer både den eksisterende landevej samt andre veje i området, som vil få en ændring (primært en reduktion) af trafikken på 15 % eller mere, hvis der bygges en ny motorvej. Der er foretaget en analyse af de støjmæssige konsekvenser af tre forskellige linieføringer for den nye motorvej:

- Hovedforslag (Figur 4.2)
- Alternativ 1
- Alternativ 2 (Figur 4.3)



Figur 4.2. Planlægning af en ny motorvej mellem Ølholm og Vejle. Støjkortet viser hovedforslaget i 2015 beregnet for en modtagerhøjde på 1,5 m over terræn. Støjkonturerne langs den foreslåede nye motorvej er præsenteret [21].



Figur 4.3. Planlægning af en ny motorvej mellem Ølholm og Vejle. Støjkortet viser Alternativ 2 i 2015 beregnet for en modtagerhøjde på 1,5 m over terræn. Støjkonturerne langs Alternativ 2's linieføring samt for det eksisterende vejnet er præsenteret [21].

Antallet af boliger eksponeret for forskellige støjniveauer er blevet optalt på baggrund af støjkortlægningen og støjbelastningstallet SBT er blevet beregnet (se Tabel 4.1).

Scenario	Samlet antal støjeksponeerede boliger					SBT	Ændring af SBT
	55-60 dB	60-65 dB	65-70 dB	>70 dB	Total		
Reference	272	153	197	38	660	153,8	-
Hovedforslag	189	159	214	0	562	122,3	31,5
Alternativ 1	201	132	222	0	555	116,2	37,6
Alternativ 2	222	133	221	0	576	119,2	34,6

Tabel 4.1. Sammenfatning af støjkortlægningen. Antallet af støjbelastede boliger, SBT samt ændringen i SBT for de forskellige løsningsforslag i relation til referencesituationen [21].

I referencesituationen er der 660 boliger langs det vejnet, der er medtaget i analyserne, som er udsat for mere end 55 dB. Dette repræsenterer en SBT-værdi på 153,8. I hovedforslaget reduceres antallet af støjbelastede boliger over 55 dB med 98 til samlet 562 boliger, svarende til en reduktion i SBT på 31,5. I alternativ 1 og 2 er der lidt større reduktioner i SBT på henholdsvis 37,6 og 34,6. I VVM undersøgelsen [21] diskuteres forskellige virkemidler til at reducere støjen som støjskærme, støjreducerende vejbelægninger samt brede grønne bæltter, der sikrer så stor afstand til bebyggelse som muligt. På dette trin i planlægningsprocessen [21] er der dog ikke taget stilling til hvilke formler for støjreduktion der evt. skal bringes i anvendelse.

4.2 VIRKEMIDLER TIL AT REDUCERE STØJEN

Den gamle vejledende grænseværdi på 55 dB $L_{Aeq,24h}$ blev i 2007 ændret til 58 dB L_{den} og det er denne værdi, der i dag anvendes i forbindelse med planlægning af nye større veje. Grænseværdien anvendes normalt når en samlede boligområder er udsat for støj. For enkeltliggende boliger tages grænseværdien normalt ikke i betragtning. I stedet kan det forekomme, at boligens ejere tilbydes facadeisolering, hvis støjen overskrider 63 dB.

Forskellige metoder til at reducere støjen kan anvendes i forbindelse med planlægning af nye motorveje og landeveje. Når det er muligt og realistisk er den foretrukne løsning at anvende en linieføring for den nye vejstrækning, der sikrer en så stor afstand som muligt mellem vej og boliger og andre støjfølsomme områder. Men andre miljømæssige, tekniske eller økonomiske forhold spiller ligeledes ind når den endelige linieføring af en ny vej skal fastlægges.

Følgende metoder til at reducere støjen kan anvendes:

- Placering af den nye vej i en afgravning og eventuelt anvende overskydende jordmateriale som støjvolde langs vejen.
- Støjskærme eller jordvolde.
- Total overdækning af vejen evt. ved at grave vejen ned og bygge en overdækning.

- Brug af støjreducerende vejbelægninger.
- Tilbyde facadeisolering til ejerne af støjbelastede boliger (se Afsnit 6.1).
- I begrænsede tilfælde kan vejmyndigheden evt. opkøbe stærkt støjbelastede huse med henblik enten på nedrivning eller ombygning til mindre støjfølsom anvendelse.
- Brug af brede bæltter af vegetation som fremtræder tæt hele året.

Effekten af de forskellige støjreducerende tiltag vil normalt kunne beregnes med brug af støjberegningsmetoden NORD2000 (se Afsnit 3.2).



Figur 4.4. Kombination af bølgeformede indfarvede betonskærme samt grønne støjskærme opført som en "støttet" jordvold med beplantning langs ringgaden i Århus.



Figur 4.5. 700 m af Øresundsmotorvejen ved Tårnby er gravet ned under terræn og der er bygget et betondæk over vejen for at reducere støjen ved nogle nærliggende etageboliger.



Figur 4.6. Facadeisolering udført på en etageejendom i København, hvor altanerne er blevet inddækket med glas.



Figur 4.7. Nærbillede af de glasinddækkede altaner. Det er muligt for beboerne at åbne altanerne op.

5. PLANLÆGNING AF UDBYGNING AF EKSISTERENDE MOTORVEJE

Det danske motorvejsnet blev primært bygget som veje med fire kørebaner. På grund af den stigende trafik er der med tiden opstået et behov for yderligere udbygning af motorvejene. Et af de store projekter var udbygningen af Motorring 3 fra 4 til 6 kørespor, rundt om København, hvor størstedelen af arbejdet blev afsluttet i 2008 [24]. Motorvejen passerer gennem tæt befolkede boligområder. Som en del af planlægningen af udvidelsen er der blevet udarbejdet en VVM-undersøgelse, som inkluderer detaljeret støjkortlægning og vurderinger af virkemidler til at reducere støjen. Vejdirektoratet, som er ansvarlig for vejudvidelsen, har gjort meget ud af at informere og inddrage borgerne i planlægningsprocessen.



Figur 5.1. Ringmotorvej M3 passerer gennem tæt befolkede boligområder.

5.1 VVM UNDERSØGELSE

I forbindelse med vejudvidelsesprojektet [19] blev der gennemført en VVM-undersøgelse. I undersøgelsen blev følgende forhold behandlet:

- Befolkning
- Landskab
- Kultur og historie
- Flora and Fauna

- Vandressourcer
- Grønne områder
- Energi og CO₂
- Luftforurening
- Sundhedseffekter
- Støj og vibrationer
- Affald samt brug af ressourcer
- Lys og refleksioner
- Jord og forurenede jord

Støjkortlægning blev foretaget for den eksisterende situation, dvs. den eksisterende motorvej inkl. støjbidrag fra andre store veje i området. I dette eksempel anvendes $L_{Aeq,24h}$ som indikator for støjen. På baggrund af støjkortlægningen blev konsekvenserne ved brug af støjskærme med forskellig højde belyst. Tabel 5.1 viser en sammenfatning af hovedresultaterne. I den eksisterende situation var 10.305 boliger belastet med støj over 55 dB svarende et støjbelastningstal SBT på 1.717. Ved at anvende støjskærme på henholdsvis 3, 4 og 5 m ved udbygningen af motorvejen, kunne støjbelastningstallet SBT reduceres med henholdsvis 149, 630 og 769.

Scenario	Antal støjbelastede boliger				Samlet antal støjbelastede boliger	Total SBT	Δ SBT
	55-60 dB	60-64 dB	65-69 dB	≥ 70 dB			
Eksisterende	6503	3244	482	76	10305	1717	-
3m skærme	5472	2985	526	78	9061	1568	149
4m skærme	4766	1890	253	36	6945	1087	630
5m skærme	4027	1663	238	35	5963	948	769

Tabel 5.1. Analyse af betydningen for antallet af støjbelastede boliger samt støjbelastningstallet SBT ved at anvende 3, 4 eller 5 m høje støjskærme ved udbygningen af M3 [20].

Scenario	Pris per m ² i Kr.	Total pris i mio. Kr.	Δ SPB	Δ SPB per 1 mio. Kr.
3m skærme	2600	138	149	1,1
4m skærme	2380	169	630	3,7
5m skærme	2400	212	769	3,6

Tabel 5.2. Vurdering af pris og omkostningseffektivitet ved de forskellige støjskærmløsninger [20].

For at kunne vurdere omkostningseffektiviteten af at anvende støjskærme med forskellig højde, er Δ SBT per mio. kroner investeret blevet beregnet (se Tabel 5.2). Beregningerne viser, at der med en 3 m høj støjskærm langs den udvidede Motorring 3 kunne opnås en reduktion i SBT på 1,1 pr. 1 mio. kr, for en 4 m høj skærm ville SBT derimod reduceres med 3,7 pr. 1 mio. kr. og for 5 m høje skærme var den tilsvarende reduktion i SBT 3,6. Ifølge disse bereg-

ninger viste de 4 m høje skærme sig at være en lidt mere omkostningseffektiv løsning end valget af 5 m skærme. Den totale investering i 4 m skærme er opgjort til 169 mio. kr., hvorimod de 5 m høje skærme ville kræve en investering på 212 mio. kr.

Denne analyse af omkostningseffektivitet understøttede en beslutning om at anvende en kombination af 3 og 4 m høje støjskærme. Konsekvensen af den valgte løsning var en total reduktion af SBT med 677 og en samlet omkostning for støjskærme på 162 mio. kr.

På baggrund af VVM undersøgelsen og beregningerne af omkostningseffektivitet blev det besluttet i dette specifikke projekt, at anvende 60 dB ($L_{Aeq,24h}$) som støjgrænseværdi for den fremtidige støjbelastning på boligområderne langs M3 efter udvidelsen til 6 spor. Konsekvensen af valget af 60 dB som grænseværdi er en markant reduktion af støjen for mange boliger beliggende i områderne omkring M3. For at overholde de 60 dB blev der i projektet anvendt følgende metoder støjreduktion:

- 17.900 m støjskærme
- Støjreducerende vejbelægninger

Hvor dette ikke var nok til at overholde grænsen på 60 dB blev ejerne af de pågældende boliger tilbudt facadeisolering.



Figur 5.2. 3 til 4 m høje støjskærme er blevet bygget langs Motorring 3 som en del af vejudvidelsesprojektet.

5.2 VURDERING AF BRUG AF STØJREDUCERENDE VEJBELÆGNINGER

Der er foretaget nogle analyser af konsekvenserne af at anvende støjreducerende vejbelægninger i stedet for at anvende tæt asfaltbeton eller SMA belægninger, som ville have været det "normale" valg på en vej som M3. Disse analyser er foretaget på baggrund af støjkortlægningen langs M3, hvor alle boliger der ville ligge over 55 dB efter udvidelsen af M3 er medtaget for en situation, hvor der blev anvendt "normale" vejbelægninger. Der er derefter opstillet 4 scenarier med brug af støjreducerende asfalt med en støj dæmpning på henholdsvis 1, 2, 3 eller 4 dB. Der er ikke i denne undersøgelse foretaget en vurdering af hvilken type vejbelægning, der ville skulle anvendes til at opnå de givne støjreduktioner.

Scenario	Antal støjbelastede boliger				Samlet antal støjbelastede boliger	Total SBT	ΔSBT
	55-60 dB	60-64 dB	65-69 dB	≥70 dB			
Standard	4343	1815	292	34	6484	1040	-
-1 dB	3811	1788	197	34	5830	933	107
-2 dB	3285	1705	196	34	5220	856	184
-3 dB	3165	1376	189	34	4764	768	272
-4 dB	2860	1368	188	34	4450	732	308

Tabel 5.3. Resultater af beregninger af 4 scenarier for brug af støjreducerende vejbelægninger på M3. Resultaterne præsenteres som antal boliger eksponeret med forskellige støjniveauer samt det tilhørende støjbelastningstal SBT [18].

Resultaterne kan ses i Tabel 5.3. I alt 6484 boliger er udsat for støj over 55 dB i situationen, hvor der anvendes en standard asfalt. Dette repræsenterer et samlet SBT på 1040.

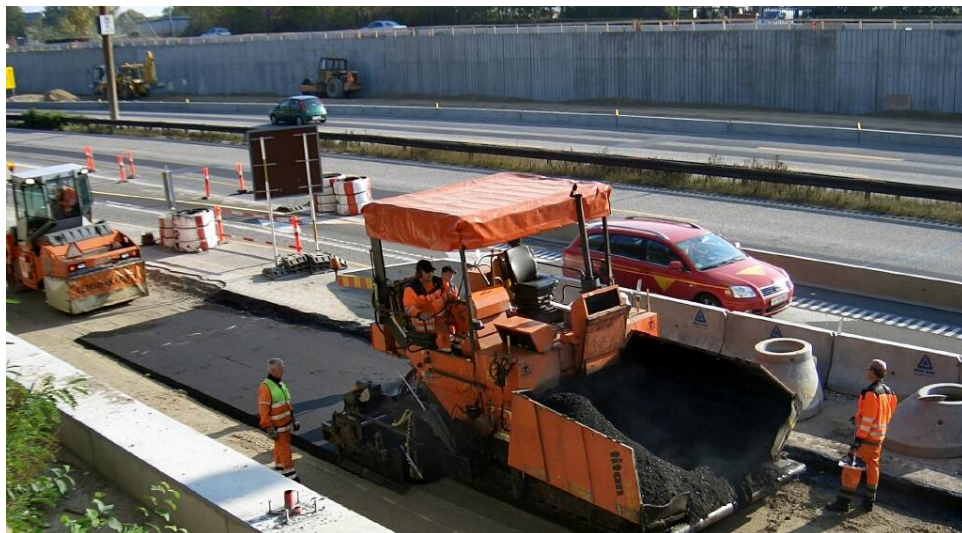
Ved at anvende en belægning der giver 2 dB støjreduktion, bliver antallet af støjbelastede boliger over 55 dB reduceret med 933 og støjbelastningstallet SBT reduceres tilsvarende med 184 til samlet 856. Ved i stedet at anvende en belægning der kan reducere støjen med 4 dB bliver antallet af støjbelastede boliger reduceret til 4450 og SBT reduceres med 308.

Scenario	Δ SBT	Årlig værdi af støjrreduktion i mio. kr.	Nutidsværdi i mio. kr.
-1 dB	107	5,7	85
-2 dB	184	9,7	146
-3 dB	272	14,4	216
-4 dB	308	16,4	244

Tabel 5.4. Værdi af støjrreduktionen opnået ved brug af støjrreducerende vejbelægninger på M3 udtrykt som årlig værdi (prisniveau 2001) samt som samlet nutidsværdi [18].

Den økonomiske betydning af at anvende støjrreducerende asfalt på M3, er beregnet på baggrund af reduktionen i SBT, for hvert af de 4 scenarier for brug af støjrreducerende belægninger. Beregningerne er foretaget for støjrreduktioner på 1 til 4 dB. Den årlige værdi af støjrreduktionen på boligerne langs M3 er beregnet ved at anvende prisen på en enhed SBT, som blev præsenteret i Afsnit 3.4.

Resultaterne fremgår af Tabel 5.4. En belægning, der kan reducere støjen 2 dB svarer til en årlig besparelse på 9.7 mio. kr. på grund af den reducerede støjbelastning af boligerne omkring motorvejen. Dette svarer til en samlet nutidsværdi på 146 mio. kr. Disse tal vil kunne anvendes i en Cost Benefit Analyse. Et eksempel på en sådan analyse kan ses i "Cost-benefit analysis on noise-reducing pavements" [11] fra Vejdirektoratet.



Figur 5.3. Udlægning af støjrreducerende vejbelægninger på Motorring 3 (M3).



Figur 5.4. Støjskærme designet specielt til M3 projektet (til venstre set fra vejsiden og til højre fra boligområderne).

6. STØJBEKÆMPELSE LANGS EKSISTERENDE OVERORDNEDE VEJE

Gennem de seneste ca. 20 år har Vejdirektoratet årligt fået tilført midler på finansloven til støjbekæmpelse langs de eksisterende motorveje samt andre statsveje. Det er primært støjskærme som har været anvendt til at reducere støjen [2], og i mindre omfang tilskud til støjisolering af boliger. I den politiske transportaftale "En grøn transportpolitik" fra januar 2009 [32] blev der afsat en samlet støjpulje på 400 mio. kr. frem til 2014 til en målrettet indsats for at reducere støjproblemer langs statens jernbaner og veje.



Figur 6.1. Støjskærm i træ opført langs en eksisterende vej [2].

6.1 FACADEISOLERING

I nogle situationer, hvor det ikke har været muligt at anvende støjskærme til at opnå en tilstrækkelig støjreduktion, anvendes facadeisolering typisk ved at udskifte døre og vinduer til nye og bedre støjreducerende type. Som en sideeffekt opnås ofte samtidig en forøget varmeisolering, som medfører energibesparelser til boligernes opvarmning.

Tilskud til facadeisolering gives til soveværelser, stuer og opholdsrum samt køkkener, hvor det er muligt at spise i køkkenet. Der skal mindst opnås en indendørs støjreduktion på 5 dB og samtidig må det indendørs støjniveau efter ombygningen ikke overstige 30 dB. Vejdirektoratet udfører ikke bygningsar-

bejder på private ejendomme. I stedet kontakter Vejdirektoratet ejerne af boligerne og tilbyder et tilskud til facadeisoleringen. Hvis ejeren accepterer dette tilbud, anvendes følgende procedure [28]:

- En akustisk konsulent inspicerer den pågældende bygning og beskriver hvilken form for facadeisolering, der skal udføres.
- Ejeren indhenter tilbud fra private entreprenører/håndværkere.
- Vejdirektoratet skal give en accept af prisen på arbejdet.
- Ejeren bestiller entreprenøren til at udføre arbejdet.
- En akustisk konsulent inspicerer og godkender det udførte arbejde.
- Ejeren betaler entreprenøren.
- Ejeren sender regningen videre til Vejdirektoratet, som refunderer udgifterne.

Det maksimale tilskudsbeløb pr. bolig er pr. 1. januar 2010 fastsat til 114.400 kr. inkl. moms (byggeomkostningsindeks for boliger 120,2). Størrelsen af tilskuddet afhænger af det faktiske udendørs støjniveau, som det fremgår af Tabel 6.1. For støjniveauer over 73 dB refunderes 90 % af udgifterne. Ejerne af boligerne skal ikke betale indkomstskat af de penge, de modtager fra Vejdirektoratet til facade isolering.

Støj zone	Støjniveau	Refusions procent
Zone 1	> 73 dB	90 %
Zone 2	68-73 dB	75 %
Zone 3	63-68 dB	50 %

Tabel 6.1. Oversigt over refusions procenter fra Vejdirektoratet til projekter med facade isolering [28].



Figur 6.2. Facade isolering mod støj udført på etageboliger langs en overordnet vej.



Figur 6.3. Overordnet vej på bro gennem tæt befolket boligområde med ejendomme med 5 til 6 etager i Frederiksberg/København. For at reducere støjen er her anvendt en kombination af transparente støjskærme samt facadeisolerings.

6.2 STØJHANDLINGSPLANER

I december 2009 offentliggjorde Vejdirektoratet en støjhandlingsplan for det eksisterende statsvejnet [1]. Planens formål var at opstille og prioritere initiativer for at reducere støjen på de steder langs statsvejnettet, hvor støjniveauerne vurderes som uacceptable. Et andet formål var at opstille og prioritere en støjindsats i forbindelse med vedligeholdelsen af vejnettet.

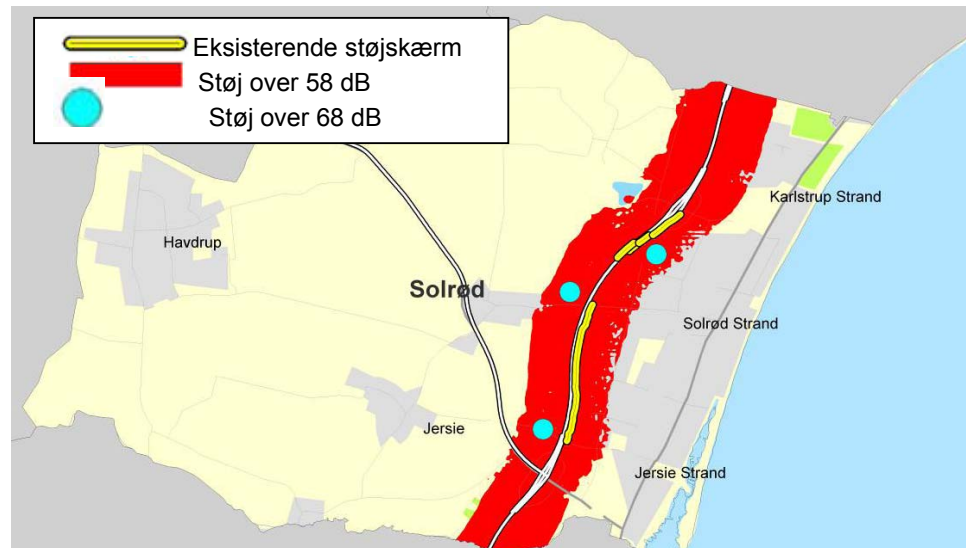
Der er foretaget en ny støjkortlægning for de 950 km af det samlede statsvejnet (total 3.800 km), hvor trafikken er på mere end 16.000 køretøjer i døgnet. Samlet er 58.277 boliger udsat for mere end den vejledende grænseværdi på 58 dB (se Tabel 6.2) og af disse boliger er næsten 4.400 stærkt støjbelastede med niveauer over 68 dB.

	58 – 63 dB	63 - 68 dB	68 – 73 dB	> 73 dB	Total
Antal boliger	39.216	14.660	2.984	1.417	58.277

Tabel 6.2. Antal boliger udsat for støj (L_{DEN}) langs den del af statsvejnettet, hvor der kører mere end 16.000 køretøjer i døgnet (støjen er beregnet for punkter 1½ m over terræn) [1].

Der er blevet udarbejdet støjkort for alle de kommuner, hvorigennem der passerer statsveje med mere end 16.000 køretøjer i døgnet. Figur 6.4 viser et eksempel på et sådant støjkort for Solrød kommune.

Data for antallet af støjbelastede boliger langs statsvejnettet i Solrød kan ses i Tabel 6.3. 1.388 boliger er udsat for mere end 58 dB og 7 boliger er udsat for mere end 68 dB. De lyseblå cirkler på kortet repræsenterer stærkt støjbelastede områder med mere end fem boliger hvor mindst én bolig er udsat for mere end 68 dB. I Solrød findes tre af sådanne områder langs statsvejene.



Figur 6.4. Støj kort over statsvejnettet gennem Solrød kommune [1].

	58 – 63 dB	63 - 68 dB	68 – 73 dB	> 73 dB	Total
Antal boliger	898	483	7	0	1.388

Tabl 6.3. Antal boliger udsat for støj langs statsvejnettet gennem Solrød kommune [1].

Støjhandlingsplanens målsætning er over en fem års periode at reducere støjgenen for så mange boliger som muligt, der er udsat for de højeste støjni-veauer.

I aftalen om "En grøn transportpolitik" fra januar 2009 [32] blev der afsat en samlet pulje på 400 mio. kr. frem til 2014 til en målrettet indsats for at reducere støjproblemer fra trafik. Der er en målsætning om at nedbringe generne fra trafikstøj langs de overordnede veje og jernbaner. Støjbekæmpelsesindsatsen afhænger af de årlige bevillinger på finansloven og anvendes på strækninger, hvor flest mulige stærkt støjbelastede boliger (over 68 dB) kan hjælpes pr. investeret krone. Som en første prioritet anvendes støjskærme langs vejstrækninger, hvor de mest omkostningseffektive løsninger kan opnås. Som en anden prioritet anvendes facadeisolering langs strækninger, hvor det ikke er fysisk muligt at anvende støjskærme samt hvor denne løsning er omkostnings-effektiv. I 2009 blev der afsat en særskilt pulje til tilskud til støjisolering af boliger.

I forbindelse med vedligeholdelse af statsvejnettet er det ligeledes en målsætning i støjhandlingsplanen [1], at Vejdirektoratet vil anvende støjreducerende belægninger, der hvor belægningerne trænger til fornyelse. Denne målsætning anvendes for vejstrækninger, hvor støjniveauet overskrider 58 dB og hvor veje passerer gennem større boligområder.

Den betydeligste indsats med hensyn til at reducere støj langs statsvejene sker dog i forbindelse med udbygningen af statsvejene. I løbet af støjhandlingsplanperioden frem til 2013 vil en række udbygningsprojekter på statsvejene få en positiv støjmæssig effekt, da projekterne også omfatter tiltag som støjafskærmninger, udlægning af mindre støjende belægninger samt tilskud til støjisolering. Ved nye vejprojekter vil finansiering af støjreducerende foranstaltninger være indeholdt i anlægsbudgettet.

Fx forventes Motorring 3 i København, når denne er blevet endeligt udbygget, at medføre ca. 3.800 færre støjbelastede boliger, mens udbygningen af Holbækmotorvejen mellem Fløng og Roskilde Vest, som forventes endelig færdig i 2013, vil medføre ca. 600 færre støjbelastede boliger.

6.3 SYSTEM FOR UDBUD AF STØJREDUCERENDE VEJBELÆGNINGER

For at understøtte brugen af støjreducerende vejbelægninger, blev der i 2006 udviklet et system for hvordan støj kan medtages som parameter ved udbud af belægningsarbejder. Det såkaldte SRS system (StøjReducerende Slidlag) blev udviklet i et samarbejde mellem Vejdirektoratet og de daværende amter samt asfaltindustrien og rådgiverbranchen. SRS systemet består af en metode til at specificere og dokumentere støjreducerende vejbelægninger [4, 30]. Systemet er baseret på støjmålinger udført efter "Close Proximity Method" også kaldet CPX metoden [31]. For at sikre at systemet er troværdigt og gennemsigtig muliggøres, at forskellige udbydere af CPX målinger kan udføre støjmålinger i henhold til systemet, når blot disse udbydere deltager i en årlig kalibreringsmåling med deres udstyr.



Figur 6.5. CPX-traileren "deciBella" som anvendes af Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut.

SRS systemet består af følgende elementer:

- En anvisning om hvordan støjreducerende vejbelægninger kan anvendes til at reducere støjen.
- Et system for dokumentation af klassificering af støjreduktionen fra belægninger.
- Tre klasser A, B og C, hvor klasse A er belægninger med meget høj støjreducerende effekt og klasserne B og C har en lavere støjreducerende effekt i forhold til almindelig tæt asfaltbeton (AB11t), som er 8 år gammel.
- Referenceværdier for støjmission bestemt med CPX målemetoden.
- En beskrivelse af CPX metoden inkl. en definering af metodens variabler samt krav til hvordan der skal foretages kalibrering af måleudstyret.
- Et paradigme for udarbejdelse af kontrakter samt udbudsmateriale.

SRS systemet er en første dansk beskrivelse af en proces for hvordan støj kan medtages ved udbud af asfaltarbejder. Der arbejdes på at opsamle erfaringer med brug af systemet samt på videreudvikling og forbedring af metoden. Formålet med klassifikationssystemet er at certificere de støjreducerende egenskaber ved vejbelægninger inklusive nyudviklede produkter, således at det forbedrer de lokale vejmyndigheders muligheder for at kunne bestille testede støjreducerende vejbelægninger, som er klar til brug på vejene.

En entreprenør, som ønsker at SRS-deklare en specifik belægningstype må selv udarbejde en deklaraionsformular. I denne formular deklarerer entreprenøren den aktuelle støjklasse og præsenterer den nødvendige dokumentation i form af resultater fra en CPX støjmåling på en forsøgsstrækning. Entreprenøren skal udlægge en mindst 100 m lang forsøgsstrækning med den pågældende belægning. CPX-traileren skal køre på forsøgsbelægningen med den

rette referencehastighed (50 og/eller 80 km/t), mens støjen måles med trailerens to standard-referencedæk.

Systemet med deklaration af de støjreducerende egenskaber gør det muligt for en entreprenør at udarbejde dokumentation for de støjreducerende egenskaber ved en specifik SRS belægning ved at sammenligne de målte støjniveauer med et nationalt referenceniveau. Reduktionen i støjemission (sammenlignet med referencen) anvendes af entreprenøren ved udarbejdelsen af SRS deklarationen i en specifik støjklasse. Den første generation af systemet indeholder som nævnt de tre støjklasser – A, B og C.

Reference-støjniveauet er bestemt på baggrund af støjniveauer målt i vejsiden (den såkaldte SPB målemetode) [33] beregnet for nogle referencebetingelser på baggrund af de danske støjemissionsdata i den nordiske metode til beregning af støj fra vejtrafik, Nord2000 [26]. Nord2000 støjniveauerne målt i vejsiden er blevet transformeret til tilhørende CPX_{DK} værdier, som anvendes i den første generation af SRS systemet, ved brug af en række samhörende data for henholdsvis SPB og CPX målinger.

Støjklasse	Beskrivelse	Støjreduktion i dB
A	Meget god støjreduktion	$x \geq 7.0$
B	God støjreduktion	$5.0 \leq x < 7.0$
C	Støjreduktion	$3.0 \leq x < 5.0$

Tabel 6.4. Støjklasser i SRS systemet for støjklassificering af støjreducerende vejbelægninger [30].

De 3 støjklasser fremgår af Tabel 6.4. Da der anvendes en 8 år gammel referencebelægning vil denne have et omkring 3 dB højere støjniveau end en nyudlagt tilsvarende referencebelægning [8]. Derfor skal der trækkes omkring 3 dB fra støjreduktionerne i Tabel 6.4 for at få den faktisk forekommende støjreduktion, når en ny SRS belægning sammenlignes med en referencebelægning.

Det danske SRS system kan betragtes som en frivillig vejregel for udbud af støjreducerende belægninger. I kontrakten for et specifikt asfaltarbejde bliver den frivillige ordning bindende. Sådan som denne første generation af systemet er udformet, indeholder den ikke en efterkontrol af det udførte asfaltarbejde.



Figur 6.6. Når belægningen på en eksisterende vej skal fornyes, kan vejmyndigheden beslutte at anvende en støjreducerende vejbelægning. På dette billede udlægges to-lag støjreducerende drænasfalt på Lyngbyvej i København.

6.4 ANDRE VIRKEMIDLER TIL STØJREDUKTION

I det følgende præsenteres forskellige typer af virkemidler, som kan anvendes til at reducere støjen fra eksisterende veje.



Figur 6.7. Jordvolde her med en sti på toppen og designet til at passe ind i landskabet omkring en motorvej. Jordvolde kan etableres ved brug af overskudsjord fra bygge- og vejprojekter i en region. Der kan evt. udarbejdes en plan for en jordvold, hvor der over en årrække køres overskudsmaterialer til jordvolden således at den etableres over en længere periode. Det kan være vigtigt med en god planlægning af jordvoldens udformning og placering, således at den får en god visuel fremtoning i området.



Figur 6.8. Glas er her monteret som støjsolering foran soveværelser og stuer på en etageejendom. Dette tiltag er en del af en byfornyelse af de pågældende ejendomme på Fredensborgvej i København



Figur 6.9. Forsøg med en "lydskodde". Lydskodden er et støjsolerende vindue, der er monteret på skinner uden på de eksisterende vinduer. Med lydskodden er det muligt at åbne det eksisterende vindue og samtidig få frisk luft ind uden at blive væsentligt generet af støj. Hensigten er, at skodden dæmper støjen med ca. 15 dB, når vinduet er åbent, og skodden er skudt for. Skodden virker som et udvendigt fortsatsvindue. I siderne på skodden er der en ca. 3 cm bred sprække, som gør, at udeluften kan trænge ind, samtidig med at støjen dæmpes. Ønsker man en større udluftning, kan skodden skydes fra vinduet. Opsat ved soveværelser og opholdsstuer i en almen boligforening, Folehaven, København(foto Allan Jensen, Rambøll).



Figur 6.10. Nærbillede af en "lydskodde". (foto Allan Jensen, Rambøll).



Figur 6.11. Hastighedskontrol anvendes normalt til at forbedre trafikikkerheden. Hvis det har en effekt ved at reducere hastigheden, vil det også have en støjreducerende virkning [10].



Figur 6.12. Reduktion af hastigheden på en del af en vejstrækning, der passerer et støjfølsomt område kunne være en løsning. Denne løsning har dog kun en betydning for støjen hvis den gennemsnitlige hastighed rent faktisk bliver reduceret. En løsning kunne evt. være at anvende hastighedsbegrænsning i aften og natperioderne for at reducere støjgenen, når beboerne sover.

En anden innovativ ide, som har været overvejet i Schweiz [29] er at bygge et betondæk over en motorvej på en strækning, hvor vejen passerer gennem et særligt støjfølsomt byområde. Det areal, som derved fremkommer oven på den overdækkede motorvej, kunne sælges som byggegrunde til boliger og kontorer mv. Indtægten fra salget ville evt. helt eller delvist kunne finansiere et sådant støjreduktionsprojekt.

7. NYE BOLIGER LANGS EKSISTERENDE VEJE

Midt i 1980'erne blev forebyggelse af støj integreret som en del af den kommunale arealplanlægning i Danmark. I forbindelse med planlægningen af nye boligområder skulle støjensynet tilgodeses, når der blev udarbejdet en arealanvendelsesplan i form af en lokalplan af kommunen. Ifølge en vejledning fra Miljøstyrelsen skal der tages hensyn til støj i forbindelse med bolig- og lokalplanlægningen og en grænseværdi for boliger på 55 dB ($L_{Aeq,24h}$) skulle overholdes [23]. Med introduktionen af L_{den} er denne grænseværdi nu fastsat til 58 dB. Siden da har al byudvikling og boligbyggeri fulgt disse retningslinier. Det er således kommunen der har pligt til at kræve at der skal tages hensyn til støjen, og det er normalt bygherren og dermed i sidste ende beboerne der har betalt for de nødvendige støjreducerende tiltag fx i form af støjskærme eller lignende.



Figur 7.1. Jordvolde opført samtidig med et nyt boligområde for at reducere støjen fra en eksisterende vej ved Kvistgård i Nordsjælland.

Det er typisk følgende virkemidler som anvendes ved opførelse af nyt boligbyggeri til at sikre overholdelse af grænseværdierne for vejstøj:

- Stor afstand mellem veje og nye bygninger.
- Opførelse af støjskærme i nogle tilfælde, som en integreret del af bygningernes design (se Figur 7.3 og 7.5).
- Jordvolde som evt. kan opføres af overskudsmaterialer for byggeriet (se Figur 7.1).
- Anvendelse af bygninger så som garager, carporte, cykelskure, vaskehuse etc. som dele af støjskærme ud mod vejen (se Figur 7.2).

- I mere udbyggede tætte byområder anvendes nye bygninger som støjafskærmning på en sådan måde af den nye bygning får både en støjbelastet og en stille side. I sådanne tilfælde anvendes der facadeisolering, således at det sikres at støjniveauet inde ikke overskrider 30 dB. I boligernes planløsning vendes vinduerne fra soverum og stuer normalt mod den stille side og kun "sekundære" rum vender ud til den støjbelastede side (se Figur 7.4).



Figur 7.2. Et nyt boligområde med rækkehuse opført langs en motorvej. En fælles carport er opført som en to etager høj støjafskærmning.



Figur 7.3. Nye lejligheder til ældre hvor en transparent støjskærm er integreret i bygningernes design.



Figur 7.4. Ny 3 og 4 etagers boligbyggeri opført nær en motorvej med høje støjniveauer. På den facade, der vender ud mod støjen, er der anvendt små meget støjsolerende vinduer. Lejlighederne er planlagt således, at det primært er sekundære badeværelser, gange mv. som vender mod den støjende side. Soverum og stuer vender ud mod den stille side.



Figur 7.5. Støjskærm i mursten opført som en integreret del af en ny boligbebyggelse.



8. REFERENCER

- [1] Støjhandlingsplan 2008-2013. Handlingsplan for store statslige veje. Sauer, Christian; Fryd, Jakob; Nøhr Michelsen, Lene. Vejdirektoratet. December 2009. Se: vejdirektoratet.dk
- [2] Noise Barrier Design. Danish and some European examples. Bendtsen, Hans. Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut. Rapport 174, 2009. Se: vejdirektoratet.dk.
- [3] Knowledge Sharing on Noise Management and Abatement. Bendtsen, Hans et. al. Report from CEDR, 2009. Se: www.cedr.fr/.
- [4] Use of Noise Reducing Pavements - European Experience. Bendtsen, Hans; Kragh, Jørgen; Nielsen Erik. Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut. Notat 69, 2008. Se: vejdirektoratet.dk.
- [5] Conference of European Directors of Roads (CEDR). Se: www.cedr.fr/.
- [6] Forslag til strategi for begrænsning af vejtrafikstøj. Vejstøjgruppen: Miljøstyrelsen, Finansministeriet, Transportministeriet, Indenrigs og sundhedsministeriet, Justitsministeriet, Erhvervsministeriet, november 2003. Se: www.mst.dk.
- [7] Bendtsen, Hans; Michelsen, Lene Nøhr; Kristensen, Brian. New ideas for organising and financing urban noise abatement. Proceedings Forum Acusticum, Budapest 2005.
- [8] Acoustic aging of asphalt pavements - A Californian / Danish comparison. Rapport 171, 2009. Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut. Se: <http://www.vejdirektoratet.dk/pdf/rap171vi.pdf>
- [9] Nyt støjbelastningstal til vurdering af vejstøj. Miljøstyrelsen, Notat, 2010. Se: www.mst.dk
- [10] Nye veje til støjbekæmpelse i byer - et idékatalog. Bendtsen, Hans; Ellebjerg, Lars; Andersen, Bent. Vejdirektoratet, Rapport 295, 2004. Se: vejdirektoratet.dk.
- [11] Cost-benefit analysis on noise-reducing pavements. Ellebjerg, Lars. Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut. Rapport 146, 2005. Se: vejdirektoratet.dk.
- [12] Vejledning i udarbejdelse af samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger, Danish, Finansministeriet, 1999. Se: www.fm.dk.
- [13] Manual for samfundsøkonomisk analyse – anvendt metode og praksis på transportområdet, Transportministeriet, juni 2003. Se: www.trm.dk.
- [14] Støjhensyn ved nye vejanlæg , Vejdirektoratet, 1989. Se: www.vejregler.dk.
- [15] Nøgletalskatalog – til brug for samfundsøkonomiske analyser på transportområdet, anden udgave, Transportministeriet, 2004. Se: www.trm.dk.

- [16] Hvad koster støj? – værdisætning af vejstøj ved brug af husprismetoden, Miljøprojekt nr. 795, Miljøstyrelsen, 2003. Se: www.mst.dk.
- [17] Strategi for begrænsning af vejtrafikstøj – Delrapport 2. Støjgener og sundhed, Arbejdsrapport nr. 53, Miljøstyrelsen, 2003. Se: www.mst.dk.
- [18] Støjdæmpende vejbelægninger på Motorring 3. Teknisk og samfundsøkonomisk analyse. Notat 19, Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut, 2004. Se: vejdirektoratet.dk.
- [19] Udbygning af Motorring 3. VVM-redegørelse – Miljøvurdering. Vejdirektoratet. Rapport 266, 2002. Se: vejdirektoratet.dk.
- [20] Udbygning af Motorring 3. VVM-redegørelse – Støj og vibrationer. Vejdirektoratet. Rapport 264, 2002. Se: vejdirektoratet.dk.
- [21] Rute 18: Motorvej Riis-Ølholm-Vejle. VVM-redegørelse - Miljøvurdering. Vejdirektoratet. Rapport 297, 2005. Se: vejdirektoratet.dk.
- [22] 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.
- [23] Støj fra veje. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 4, 2007. Se: www.mst.dk.
- [24] Motorring 3 – en moderne bymotorvej. Vejdirektoratet. Rapport, 2007. Se: vejdirektoratet.dk.
- [25] Nord2000 for predicting road traffic Noise. Kragh, Jørgen. Proceedings Euronoise 2006, Tampere, Finland.
- [26] User's Guide Nord2000 Road. Kragh, Jørgen et. al. Delta, SINTEF, SP and VTT.
- [27] Nord2000 PC version kan downloades fra: www.sintef.no/Projectweb/N2KR/.
- [28] Tilskud til støjisolering af boligfacader. Støjbekæmpelse langs statsvejene. Vejledning for boligejere. Vejdirektoratet, rapport 366, 2010. Se: vejdirektoratet.dk.
- [29] Støjbekæmpelse i Tyskland og Schweiz - Rapport fra en studietur. Bendtsen, Hans; Ellebjerg, Lars. Notat 73, 2000, Vejdirektoratet. Se: vejdirektoratet.dk.
- [30] Noise classification- asphalt pavement, Kragh, Jørgen. Vejdirektoratet/Vejteknisk Institut, Notat 61, 2007. Se: vejdirektoratet.dk.
- [31] ISO/CD 11819-2. (Acoustics) – Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise – Part 2: "The close proximity method", 2000-12-03.
- [32] Aftale mellem regeringen (Venstre og De Konservative), Socialdemokraterne, Dansk Folkeparti, Socialistisk Folkeparti, Det Radikale Venstre og Liberal Alliance om: En grøn transportpolitik. 29. januar 2009, Se: http://www.trafikministeriet.dk/da/publikationer/2009/en+grøn+transportpolitik/~media/Files/Publication/2009/En_groen_%20transportpolitik.ashx

- [33] ISO 11819-1: 1997. "Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-by method." 1997.
- [34] Transportøkonomiske Enhedspriser til brug for samfundsøkonomiske analyser. Kan downloades som et Excel regneark fra DTU Transports hjemmeside: <http://www.dtu.dk/upload/institutter/dtu%20transport/modelcenter/transportoekono-miske%20enhedspriser/transportoekonomiske%20enhedspriser%20vers%201.3%20jul10.xls>

Rapport / Report

Nr. No.	Titel/Title	Forfatter/Author
171	Acoustic aging of asphalt pavements A Californian / Danish comparison	Hans Bendtsen Qing Lu Erwin Kohler
172	Vejteknisk Instituts ringprøvning - Asfalt Undersøgelse af udvikling i spredning i perioden 1994-2008/2009	Erik Nielsen
173	Highway noise abatement Planning tools and Danish examples	Hans Bendtsen
174	Noise Barrier Design Danish and some European Examples	Hans Bendtsen
175	Paper Temperature influence on noise measurements EURONOISE 2009 - Edinburgh	Hans Bendtsen Qing Lu Erwin Kohler Bruce Rymer
176	Bituminous binders - Results of Danish Round Robins for CEN test methods from 2000-2009	Erik Nielsen
177	Ageing of bituminous binders	Erik Nielsen
178	DVS-DRI. Super Quiet Traffic International search for pavement providing 10 dB noise reduction	Jørgen Kragh
179	Støjreduktion med tolags drænasfalt Øster Søgade – de første otte år	Lars Ellebjerg Hans Bendtsen
180	Traffic Flow and noise – A method study	Gilles Pigasse
181	The Blue Spot Concept Methods to predict and handle flooding on highways	Klas Hansson, VTI, Sweden Fredrik Hellman, VTI, Sweden Marianne Grauert, DRI Michael Larsen, DRI
182	Background Report Literature, questionnaire and data collection for blue spot identification	Marianne Grauert, DRI Klas Hansson, VTI, Sweden Fredrik Hellman, VTI, Sweden
183	The Blue Spot Model Development of a screening method to assess flood risk on highways	Michael Larsen, DRI
184	Inspection and Maintenance Guide for reducing vulnerability due to flooding of roads	Fredrik Hellman, VTI, Sweden Knud A. Pihl, DRI Klas Hansson VTI, Sweden
185	Blue Spot Konceptet Metode til udpegning og håndtering af oversvømmelser på motorveje	Klas Hansson, VTI, Sweden Fredrik Hellman, VTI, Sweden Marianne Grauert, DRI Michael Larsen, DRI
186	Surface dressings optimized for low tyre/road noise. Paper for Inter-Noise 2010 in Lisbon, Portugal	Bent Andersen Hans Bendtsen
187	Beboernes opfattelse af støjen ved Motorring 3. Undersøgelse før og efter udvidelsen af M3 Sammenfatningsrapport	Hans Bendtsen Emine Celik Christensen
188	Road surface texture - low noise and low rolling resistance CPX trailer comparison - Copenhagen 2009	Jørgen Kragh Bent Andersen Jens Oddershede
189	Støjreduktion langs veje - planlægningsværktøjer og eksempler	Hans Bendtsen



Vejdirektoratet har lokalkontorer i Aalborg, Fløng, Herlev, Herning, Middelfart, Næstved og Skanderborg samt hovedkontor i København.

Find mere information på vejdirektoratet.dk.

VEJDIREKTORATET
Guldalderen 12, Fløng
2640 Hedehusene
Telefon 7244 7000

vd@vd.dk
vejdirektoratet.dk

