

# Ny version af den nordiske beregningsmodel for vejtrafikstøj

Seniorforsker Hans Bendtsen  
Afdelingen for trafikikkerhed og miljø  
Vejdirektoratet  
Niels Juels Gade 13  
1020 København K  
Tel: 33 93 33 38, Fax: 33 93 07 12  
E-mail: HBE@VD.DK

## Abstract

Den nordiske beregningsmodel for vejtrafikstøj ligger til grund for alle de vejtrafikstøjberegninger, der foretages i Danmark. Modellen er igen blevet revideret i 1996. Modellens teori og metode præsenteres. Ligeledes gennemgås de væsentlige ændringer, der er foretaget i modellen i forhold til den forrige revision, som er fra 1989.

De væsentlige ændringer er bl.a. følgende:

- Der er ændret på modellens udgangsværdier, med baggrund i effekten af EUs regulering af støjudsendelsen fra biler.
- Modellens definition og metode til beregning af maksimale støjniveauer er totalt ændret.
- Det er nu muligt at foretage korrektioner for støjudsendelsen fra forskellige typer vejbelægninger.
- Det er muligt at foretage separate beregninger af støjen fra henholdsvis lette og tunge køretøjer.
- Modellen kan nu anvendes for hastigheder ned til 30 km/t, hvorimod den tidligere kun gik ned til 50 km/t.

Der foretages vurderinger af, hvad dette betyder for den praktiske anvendelse af beregningsmodellen. Ligeledes perspektiveres modellen i forhold det kommende modeludviklingsarbejde.

## 1. Baggrund

I forbindelse med praktisk trafik og vejplanlægning opstår der ofte behov for at kvantificere støj fra vejtrafik. Det kan fx være i forbindelse med:

- Støjkortlægning.
- Trafik og miljøhandlingsplaner.
- Planlægning af nye boligområder.
- Planlægning og design af nye veje.
- Udarbejdelse af VVM-vurderinger.
- Situationer hvor borgerne klager over støjen.
- Vurdering af eventuel erstatning i forbindelse med nyanlæg af veje.

Der er i princippet 2 forskellige metoder til bestemmelse af støj fra vejtrafik:

1. Målinger
2. Beregninger

Det er ressourcekrævende at gennemføre kvalificerede støjmålinger og måleusikkerheden ligger i samme størrelsesorden som usikkerheden ved beregninger. Derfor er det normale at anvende beregninger, hvor det med de rigtige inddata er muligt relativt hurtigt at bestemme støjen i en given situation. Endeligt anvendes støjberegninger ofte i planlægningssituationer, hvor der ikke er en fysisk virkelighed, hvor der eventuelt ville kunne gennemføres målinger. Kun i specielle situationer, som ikke er omfattet af beregningsmodellens virkeområde, er det nødvendigt at foretage målinger. Målinger skal i så tilfælde altid gennemføres efter forskrifterne i "Måling af vejtrafikstøj" fra Vejdirektoratet og Miljøstyrelsen (5).

Beregninger af vejtrafikstøj skal i Danmark altid gennemføres ved anvendelse af den fælles nordiske beregningsmetode (2). Udviklingen af denne metode styres af Nordisk Støjgruppe under Nordisk Ministerråd. Nordisk Støjgruppe består af nationale repræsentanter fra henholdsvis vej- og miljømyndighederne. Den konkrete modeludvikling gennemføres af en række nordiske støjeksperter.

Den første version af beregningsmodellen stammer fra slutningen af halvfjerdserne. I 1991 udkom den anden version af modellen (2), som har været gældende siden da. I slutningen af 1998 forventes det, at den tredje version af modellen (revision 1996) udgives. Dette paper præsenterer denne nye version af modellen. Miljøstyrelsen vil i forbindelse med udgivelsen af denne tredje version udmelde, at fra en given dato skal den ligge til grund for fremtidige støjberegninger.

## 2. Hvad beregnes ?

Den nordiske beregningsmodel er opbygget til at beregne døgnækvivalente udendørs såkaldte "frit felt" støjniveauer ( $L_{Aeq,24}$ ), som der er opstillet vejledende grænser for i Danmark (6). Modellen kan desuden beregne det maksimale niveau  $L_{Amax}$ . De maksimale støjniveauer anvendes dog sjældent i Danmark, da der ikke findes grænseværdier for den maksimale støj.

Støjen beregnes under nogle standardforudsætninger. Modellen gælder for neutrale meteorologiske forhold, som i praksis svarer til en let medvind fra vejen til støjmodtageren. Vejbelægningerne skal være tørre og der må hverken være sne eller is på det omgivende terræn. Vejbelægningernes type og overfladestruktur har betydning for støjen (4). Støjen beregnes for en jævn tæt belægning svarende til en tæt asfaltbeton (fx af typen AB12t), som er mindst et par år gammel og ikke er nedslidt med huller, revner og sætninger. Den såkaldte "frit felt" støj beregnes, det er støjniveauet foran facaden af en given bygning, uden refleksionen fra denne facade. Grænseværdierne for støj er ligeledes opstillet som "frit felt" værdier.

Med 1996 revisionen præciseres det, at modellen kan anvendes til beregninger i afstande på op til 300 m fra en given vej.

Modellen er primært udviklet til at beregne udendørs støjniveauer. Den indeholder dog en mulighed for overslagsmæssigt at beregne indendørs støj.

## 3. Modellens udvikling

Modellens er udviklet på baggrund af en lang række konkrete samhørende målinger af støj, trafikmængde og hastighed. Dette har dannet grundlaget for opstillingen af modellens udgangsværdier, der angiver støjen 10 m fra vejmidten som funktion af trafikmængden, andel eller antal

tunge køretøjer samt hastigheden. Ved hjælp af en kombination af målinger og akustisk teori er der ligeledes opstillet en metode til at beregne støjen i forskellige afstande fra en vej. De målinger, der lå til grund for både første og anden udgave af modellen, er alle gennemført i 1970'erne.

#### 4. Forbedring i den nye version

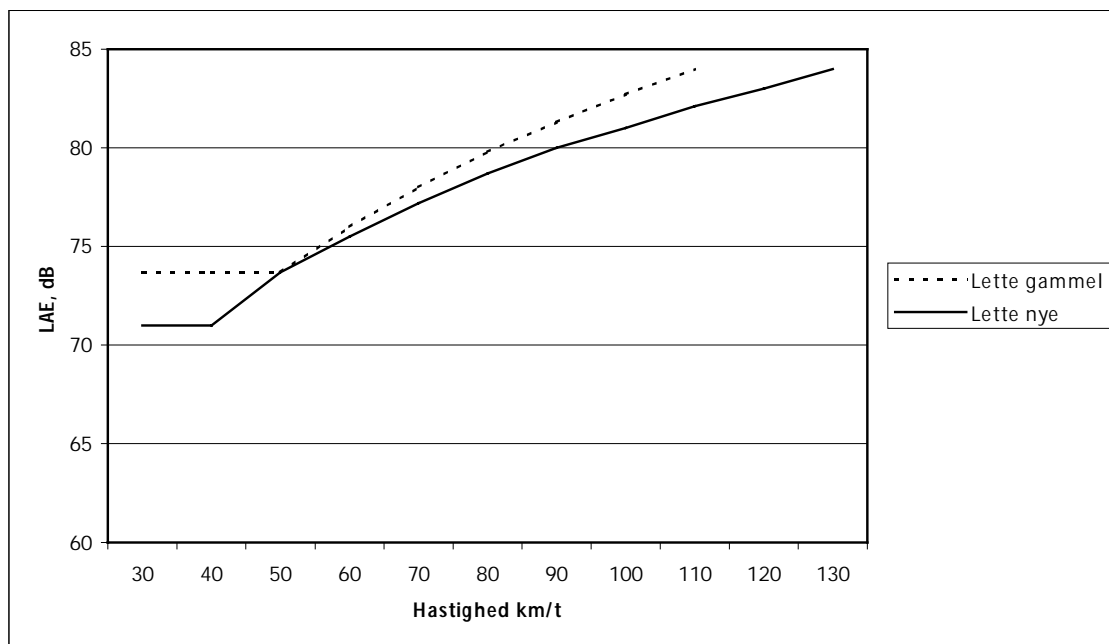
Den nye revision af modellen fra 1996 (1) indeholder følgende væsentlige ændringer i forhold til forrige udgave (2), der stammer fra revisionen i 1989:

- Udgangsværdierne for de enkelte køretøjer er reduceret, efter at omfattende nye støjmålinger er gennemført i 1990'erne. Udgangsværdierne i modellen fra 1989 er baseret på målinger i 1970'erne (se næste afsnit).
- Indgangsværdierne for trafikken er ændret, således at antal lette (under 3½ tons) og tunge køretøjer (over 3½ tons) opgøres separat med hver sit hastighedsniveau. Tidligere benyttedes samme hastighedsniveau for begge typer køretøjer. Hastigheden for tunge køretøjer går op til 90 km/t, hvorimod hastigheden for lette køretøjer nu går op til 130 km/t.
- Modellen kan beregne støj for hastigheder ned til 30 km/t mod tidligere 50 km/t. Dette muliggør detaljerede støjberegninger i byområder, hvor der er gennemført trafiksaneringer for at opnå lave hastigheder.
- Det anbefales nu at anvende reel (målt) gennemsnitshastighed. Før blev det anbefalet at anvende skiltet hastighed ved støjberegning. Dette vil i mange tilfælde få en betydning for de beregnede støjniveauer. På veje uden kapacitetsproblemer er der en tendens til, at den faktiske hastighed er højere end den skilte. Det omvendte forhold gør sig gældende, hvis der er tale om kapacitetsproblemer på en vejstrækning.
- Det maksimale støjniveau  $L_{Amax}$  er defineret på en ny måde.  $L_{Amax}$  defineres nu som det niveau, som kun overskrides af 5 % af de køretøjer, der passerer en given vejstrækning. Beregning af  $L_{Amax}$  er således grundlæggende ændret, og udgangsværdierne er revideret med basis i omfattende nye målinger.
- Beregning af det indendørs støjniveau er forbedret.
- Der er indført mulighed for at foretage korrektioner af støjniveauet afhængigt af typen af vejbelægning (omtales i det følgende). Dette er dog ikke en obligatorisk del af modellen.
- Endeligt findes der et orienterende bilag om den mulige støjdæmpende effekt af beplantningsbælter, som dog ikke er en del af modellen.

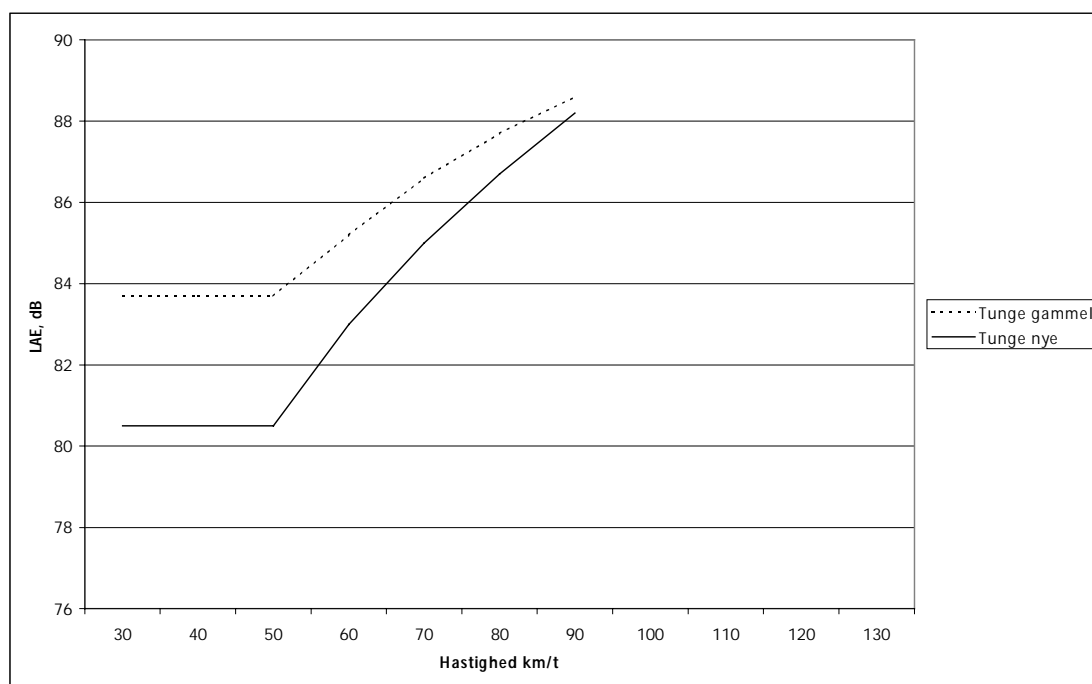
Den nye 1996-udgave af modellen vil på grund af ovenstående ændringer give nogle forskelle i beregningsresultater i forhold til den gamle version fra 1989. Som det fremgår af det efterfølgende er det især reduktionerne i støjemissioner der har betydning.

#### 5. Udvikling af støjemissioner

Den første version af beregningsmodellen var baseret på omfattende målinger gennemført i 1970'erne af støjen langs vejene. Ved revisionen i 1989 blev det på baggrund af en række nye målinger vurderet, at der ikke var basis for at ændre på udgangsværdierne fra 1970'erne. Efterfølgende er der i 1990'erne blevet gennemført nye omfattende målinger af vejtrafikstøj i de nordiske lande. Med baggrund i disse målinger er udgangsværdierne blevet revideret. De nye og de gamle udgangsværdier fremgår af figur 1 og 2. I de tidligere versioner af beregningsmodellen gik hastigheden kun ned til 50 km/t. Af modellen fremgik det dog, at man for lavere hastigheder evt. kunne anvende støjen beregnet ved 50 km/t. Dette er indtegnet i de 2 figurer.



Figur 1. Udvikling i støjmissioner for lette køretøjer (under 3½ tons) målt 10 m fra vejmidten og udtrykt som  $L_{AE}$  værdier (1). Den "gamle" kurve repræsenterer målinger i 1970'erne og den "nye" kurve målinger fra 1990'erne.



Figur 2. Udvikling i støjmissioner for tunge køretøjer (over 3½ tons) målt 10 m fra vejmidten og udtrykt som  $L_{AE}$  værdier (1). Den "gamle" kurve repræsenterer målinger i 1970'erne og den "nye" kurve målinger fra 1990'erne.

Som det fremgår af figur 1, er der for personbiler ikke sket nogen ændring af støjniveauet ved 50 km/t. Ved højere hastigheder er støjen blevet reduceret med op til ca. 2 dB ved 110 km/t. For de helt lave hastigheder er der sket en reduktion af støjen på op til 3 dB. Dette kan forklares ved, at EU i sammen periode har strammet kravene til nye køretøjers støjudsendelse. Det er især kra-

vene til motorstøj, som er blevet strammet (7), og netop motorstøjen er den dominerende støj-kilde ved lave hastigheder under 50 km/t.

Som det fremgår af figur 2 er støjen fra tunge køretøjer generelt faldet. Ved de lave hastigheder under 50 km/t er faldet på godt 3 dB. Det aftager med stigende hastigheder og er kun ca. 1 dB ved 90 km/t.

Hastighed km/t	Støjreduktion i dB
30	2,8
40	2,8
50	1,4
60	1,3
80	1,0
110	1,5

*Tabel 1 Ændring i støjniveauer beregnet for en trafik med 10 % tunge køretøjer, pga. reduktionerne i støjmission i 20 års perioden fra 1970'erne til 1990'erne (3).*

Tabel 1 viser nogle støjberegningseksempler med den gamle og den nye model. Det ses, at den nye model under de givne forudsætninger for hastigheder over 50 km/t giver støjniveauer, der ligger 1,0 til 1,5 dB under den gamle models resultater. For 30 og 40 km/t muliggør den gamle model ikke detaljerede beregninger. Støjen er her beregnet for 50 km/t, hvilket medfører et 2,8 dB lavere støjniveau med den nye model.

Tabel 1 kan tages som et udtryk for at den nye model (for hastigheder over 50 km/t) generelt giver støjniveauer, der er godt 1 dB lavere end den gamle model. Dette er dog under forudsætning af, at der anvendes de samme hastigheder som indgangsparameter. Og netop forudsætningerne for valg af hastighed er blevet ændret. I den gamle model blev det generelt anbefalet at anvende den skilte hastighed som indgangsparameter. Den nye model anbefaler derimod at den målte gennemsnitshastighed anvendes. Som det fremgår af tabel 2 og 3 er der dog ofte forskel mellem disse 2 hastigheder. For veje uden kapacitetsproblemer ligger den målte hastighed ofte over den skilte.

Skiltet hastighed i km/t	Målt gennemsnitshastighed i km/t
30	38,4
50	52,8
60	62,1
70	68,3

*Tabel 2. Eksempler på sammenhæng mellem målt og skiltet hastighed på bygader (8).*

For hastigheder mellem 40 og 90 km/t gælder der for almindelig trafik med 10 % tunge køretøjer, at ved en forøgelse af farten med 5 km/t stiger støjen med ca. 1 dB (3). Dette betyder, at i nogle tilfælde, hvor den reelle hastighed er højere end den skilte, vil den nye models lavere emissioner blive helt eller delvist modsvaret af, at der nu skal anvendes en højere hastighed ved støjberegninger.

Skiltet hastighed i km/t	Målt gennemsnitshastighed i km/t
80	88,2
90	94,4
110	117,0

Tabel 3. Eksempler på sammenhæng mellem målt og skiltet hastighed på hovedlandeveje (8).

## 6. Vejbelægninger

Ved revisionen i 1996 af støjberegningsmodellen blev der udarbejdet et bilag, som i tabelform angiver nogle standardiserede fælles nordiske støjkorrektioner for forskellige belægningstyper (1,7). Korrektionerne er afhængige af belægningernes alder, andelen af tung trafik samt hastigheden.

Da vejrforhold og vejslid er forskellige i de nordiske lande, idet der for eksempel kun i begrænset omfang anvendes pigdæk i Danmark, er disse værdier kun retningsgivende for danske forhold. Med baggrund i danske forskningsresultater er et bearbejdet udsnit af korrektionerne vist i tabel 4.

Vejbelægning	Hastighed		
	0-60 km/t	61-80 km/t	81-130 km/t
Tæt asfaltbeton AB12 t	Reference	Reference	Reference
Skærvemastix 12-16 mm	0 dB	0 dB	0 dB
Overfladebehandling OB 16- 20 mm	0 dB	+1 dB	+1 dB
Overfladebehandling OB 10- 12 mm	0 dB	0 dB	0 dB
Overfladebehandling OB 6-9 mm	0 dB	0 dB	0 dB
Åben asfaltbeton ABå 12 mm	0 dB	+1 dB	+1 dB
Asfaltbeton med nedtromlede skærver ABS	0 dB	+2 dB	+2 dB
Drænasfalt DA 8 mm	0 dB	-3 dB	-3 dB
Cementbeton tæt og jævn	+1 dB	+2 dB	+2 dB

Tabel 4. Bearbejdet uddrag af støjkorrektionstabel for forskellige vejbelægninger for trafik med omkring 10 % tunge køretøjer (3,4). Korrektionerne gælder for belægninger der er mere end 2-3 år gamle og som ikke er nedslidt med revner, sætninger o.lign. Støjmæssig reference er tæt asfaltbeton med maksimal stenstørrelse på 12 mm (AB12t).

## 7. Model struktur og inddata

Til praktisk brug indeholder modellen 22 gennemregnede typetilfælde. De kan, hvis de konkrete beregningsforudsætninger passer nogenlunde, anvendes til hurtigt at foretage en beregning af støjen. Med få inddata som trafik, hastighed, afstand samt højde af beregningspunkt kan man ved opslag i 2 nomogrammer beregne støjen.

I mere komplicerede tilfælde er det nødvendigt at foretage detaljerede beregninger. Også i denne situation foretages beregningerne ved opslag i nomogrammer. Modellen er opdelt i 5 beregningstrin:

1. Udgangsniveauet 10 m fra vejmidten.
2. Korrektion for afstand.
3. Korrektion for terræntype og eventuelle støjskærme.
4. Andre korrektioner, bl.a. refleksioner fra bygninger o.lign.
5. Støjreduktion af bygningsfacader.

De nødvendige inddata kan opdeles i følgende 3 hovedgrupper:

1. Udgangsniveauet (støjemissionen)
  - 1.1. Lette køretøjer under 3½ tons
  - 1.2. Tunge køretøjer over 3½ tons
  - 1.3. Målt gennemsnitshastighed
  - 1.4. Vejgradient
  - 1.5. Vejens højde over terræn
  - 1.6. Vejbelægning (ikke obligatorisk)
2. Spredning
  - 2.1. Terræn type
  - 2.2. Afstand til beregningspunkt
  - 2.3. Eventuel støjskærm eller vold
  - 2.4. Terrænets geometri
  - 2.5. Refleksioner fra bygninger o.lign.
3. Modtager
  - 3.1. Beregningspunktets højde over terræn
  - 3.2. Eventuel lokal støjskærm
  - 3.3. Data om bygningsfacader

Det danske referencelaboratorium for støj, DELTA Akustik og Vibration, markedsfører en PC baseret version af beregningsmodellen.

## **8. Beregningsusikkerhed**

Der er foretaget en nordisk evaluering af beregningsmodellen (10), hvor der er foretaget sammenhørende beregninger og målinger af støjen i 178 tilfælde. For den gamle 1989 version af modellen var der generelt 1,2 dB lavere støjniveauer ved målinger end ved beregninger. Spredningen på forskellen mellem målinger og beregninger var 3 dB. For den nye 1996 version af modellen var forskellen mellem målinger og beregninger kun 0,2 dB, hvilket umiddelbart fører til den konklusion, at modellen regner meget præcist. Men også her var spredningen på forskellen mellem målinger og beregninger 3 dB, hvilket indikerer, at der stadig er et behov for at forbedre modellen.

Allerede i 1997 igangsatte Nordisk Støjgruppe et nyt arbejde med det formål at udvikle en endnu bedre beregningsmodel. Dette arbejde, som gennemføres af en række nordiske støjeksperter, forventes afsluttet omkring år 2003. Arbejdet finansieres delvist af Nordisk Ministerråd og del-

vist af de nationale vej- og miljømyndigheder. Følgende temaer indgår i dette nye udviklingsarbejde:

- Nye detaljerede frekvensopdelte emissionsstudier, der bl.a. kan resultere i, at trafikken opdeles i 4 eller 6 kategorier i stedet for de nuværende 2, samt vil betyde en forbedring af beregningerne af effekten af både støjskærme og facadeisolering.
- Undersøgelser af køremønstrets betydning for støjudsendelsen. Køremønster er ikke en selvstændig parameter i den nuværende model.
- Total fornyelse af modellens spredningsberegninger på baggrund af den nyeste akustiske spredningsteori.
- Anvendelse af GIS-baserede kort, der giver let adgang til mange geografiske informationer.
- Udvikling af en fælles støjberegningsmodel der omfatter kilder som vejtrafik, jernbaner, lufthavne, industri mv.

## 9. Konklusion

Med baggrund i det forgående kan der opstilles følgende konklusioner:

- Der er behov for en pålidelig beregningsmodel for vejtrafikstøj, som der er tiltro til blandt modelbrugerne. Den nordiske beregningsmodel opfylder dette krav og er den eneste officielle beregningsmodel i Danmark og resten af Norden.
- Modellen er nu med revisionen i 1996 blevet væsentligt forbedret. Undersøgelser viser at beregningssikkerheden er relativt stor.
- Støjemissionen målt på virkelig trafik på vejnettet er i perioden fra halvfjerdsere til halvfemserne blevet reduceret med godt 1 dB. I samme periode har EU reduceret kravene til typegodkendelse af nye køretøjer væsentlig mere (5-9 dB afhængigt af køretøjstype).
- Der er igangsat et nyt revisionsarbejde, som kan forventes at resultere i en ny version af beregningsmodellen omkring år 2003.

## 10. Acknowledgements

Dette papir er bl.a. skrevet på baggrund af det modeludviklingsarbejde, som er gennemført af medlemmerne i den tekniske komite under Nordisk Støjgruppe. Disse eksperter er:

- Hans Jonasson, Swedish National Testing and Research Institute, Sverige.
- Jørgen Kragh, DELTA Akustik & Vibration, Danmark.
- Juhani Parmanen, VTT Technical Research Center of Finland.
- Ulf Sandberg, Swedish National Transport Research Center.
- Svein Storeheier, SINTEF, DELAB, Acoustics Research Center, Norge.

## 11. Litteratur

1. Road Traffic Noise - Nordic Prediction Method. TemaNord, ENVIRONMENT, 1996:525. Nordic Council of Ministers.
2. Beregningsmodel for vejtrafikstøj. Revideret 1989. Vejdirektoratet, Miljøministeriet. Rapport 93, 1991.
3. Vejtrafik og støj - en grundbog. Vejdirektoratet. Rapport 146, 1998.
4. Forsøg med støjreducerende vejbelægninger. Rapport 45, 1996. Vejdirektoratet.
5. Måling af vejtrafikstøj. Vejdirektoratet, Miljøstyrelsen. 1982.
6. Trafikstøj i boligområder. Vejledning nr. 3/1984. Miljøstyrelsen.



7. Fremtidens støj fra vejtrafik - belægnings- og køretøjer. Bendtsen, Hans. Trafikdage på AUC 1995. Konferencerapport 2.
8. Hastigheder i byområder - resultater fra 1994 og 1995. Rådet for Trafiksikkerhedsforskning. Arbejdsrapport 3/1997.
9. Hastighedsindeks for hovedlandevejsnettet 1997. Informationsblad fra Vejdirektoratet, 1997.
10. Vägtrafikbuller - Bestämning av Beräkningsosäkerhet. Nordtest projekt 1273-96. SP rapport 1997:24. Swedish National Testing and Research Institute. (Endnu ikke publiceret).