

Støjudsendelse fra biler på vejnettet

Bent Andersen og Hans Bendtsen, Atkins Danmark A/S, Pilestræde 58, DK-1112 København K, tlf.: 8233 9000, fax: 8233 9001, e-mail: bent.andersen@atkinsglobal.com

Arbejdet blev udført hos Vejdirektoratet og Danmarks TransportForskning (www.dtf.dk).

1. Baggrund og formål

I perioden fra 1996 til 2001 er der i et fælles nordisk projekt blevet udviklet en ny, generel metode til beregning af støj [Nord2000]. I denne forbindelse har det været forudsat at supplere den øgede præcision af beregningen af lydudbredelsen med mere præcise modeller for støjemissionen. For vejtrafikstøj er der således foreslået både en ny kilde-model og en ny målemetode til bestemmelse af kildestyrken, [Jonasson, 2000].

De nordiske vejdirektorater har derfor i 1998 igangsat koordinerede, nationale støjmålinger. I Danmark er der således i 1999 og 2000 udført støjmålinger på godt 4000 køretøjer på 21 målesteder med fartgrænser fra ca. 30 km/h til motorvejsfart. På 13 af disse målesteder er der desuden foretaget målinger af vejens overfladetekstur.

I det følgende undersøges støjens afhængighed af køretøjstype og fart. Desuden foretages der analyser af betydningen af bilernes alder, motorstørrelse og -type, ligesom støjens sammenhæng med vejens overfladetekstur undersøges.

2. Metode

Støjmålingerne udføres som målinger på enkeltkøretøjer - principielt efter den nye nordiske målemetode, der er foreslået i [Jonasson, 2000]. Metoden bygger på "statistical pass-by"-metoden, der er beskrevet i [DS/ISO 11819-1], men der anvendes to mikrofoner (højde 0,2 m og 4 m). Måleresultaterne normeres til en vandret afstand på 10 m mellem mikrofonernes projektion på terrænet og midten af vognbanen.

Samtidig med målingen af støjen måles køretøjets fart med radar, og dets type, køremåde og registreringsnummer noteres. Ud fra registreringsnumrene er der fra det centrale motorregister indhentet oplysninger om køretøjets type, fabrikat, model, variant, 1. registreringsdato (alder), motortype, egenvægt og i år 2000 også antal aksler. Fra bilimportørerne er der på dette grundlag søgt oplysning om motorernes størrelse (slagvolumen), hvis denne ikke fremgik tydeligt af modelbetegnelsen.

Endelig er der på en del af målestederne udført detaljerede målinger af vejbelægningernes overfladetekstur. Ud fra disse målinger er et simpelt mål for vejoverfladens ujævnhed beregnet for hvert målested.

Analyserne i dette notat bygger alene på de målte totale A-vægtede støjdosisniveauer, L_{AE} . L_{AE} er den totale A-vægtede lydenergi fra en bilpassage normeret til en varighed på 1 sekund. Analyserne er baseret på køretøjer, der kørte med jævn fart ("cruising"), og de laveste og hø-

jeste hastigheder er udeladt for at undgå indflydelse fra utypiske køremåder eller køretøjer. For lette køretøjer (totalvægt mindre end 3500 kg) indgår hastigheder i intervallet 27,5 km/h til 132,5 km/h, mens den højeste hastighed, der indgår for tunge køretøjer, er 102,5 km/h.

Måleresultaterne er grupperet efter køretøjernes kategori og eventuelt underopdelt efter motortype. Hovedresultaterne er støjen som funktion af farten bestemt ved regressionsanalyse for hver køretøjsgruppe. Desuden er sammenhængen mellem støjdosisniveauet og det maksimale A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning "fast" undersøgt. Indflydelsen på L_{AE} fra øvrige parametre er undersøgt statistisk ved multiple regressionsanalyser.

3. Datagrundlag

3.1 Støjmålinger

Støjmålingerne omfattede i alt 4070 bilpassager og blev foretaget i perioden oktober 1999 (2512) til oktober 2000 (1440) af Delta Akustik & Vibration. Data foreligger som et Excel regneark på cd-rom og er kortfattet beskrevet i en teknisk rapport, [Delta, 2001]. For hver bilpassage er følgende registreret:

- køretøjsdata: Type (P - personbil, V - varevogn, M – motorcykel, L - lastbil, F - flerakslet lastbil), fart, køremåde, kommentar (for eksempel bus, løftet bagaksel, trailer (oftest = sættevogn), anhænger samt enkelte bemærkninger om dækstøj) og registreringsnummer
- vejdata: for alle målesteder er vejbelægningen vurderet til type 1a (tæt asfaltbeton, jævn, maksimal stenstørrelse 12 – 16 mm, jævnfør [Jonasson, 2000]), vejoverfladens og luftens temperatur, hastighedsgrænse, målestedets navn og det eksakte tidspunkt for målingen
- maksimale støjniveauer: $L_{pA, \max, \text{fast}, 10m}$ pr. 1/3 oktav på det tidspunkt, hvor den totale værdi af $L_{pA, \max, \text{fast}}$ var størst. Disse 28 værdier (fra 25 Hz til 10 kHz) blev bestemt i laboratoriet ud fra båndoptagelse af støjen og er normeret til en vandret afstand mellem mikrofonerne og vognbanemidten på 10 m.
- støjdosisniveau: $L_{AE, 10m}$ pr. 1/3 oktav fra 25 Hz til 10 kHz og totalt – bestemt ved måling af L_{Aeq} og varigheden for passagen (T) og normeret til en vandret afstand på 10 m.

Støjmålingerne er som nævnt normeret til en vandret afstand på 10 m mellem mikrofonernes projektion på terrænet og midten af vognbanen. Denne normering er baseret på en kildeposition ved det nærmeste hjulpar i højden 0. For person- og varevogne er der regnet med en hjulafstand (bredde) på 1,5 m, mens der er regnet med 2,5 m for tunge køretøjer. Afstanden er normalt baseret på en skønnet, "typisk" afstand til midten af den benyttede del af vognbanen.

Farten blev målt med radar fra vejkanten. Fartmåleren afgav en tone, hvis frekvens var proportional med farten – herudfra er bilernes køremåde bestemt (accelererende biler gav en stigende tonehøjde, decelererende en faldende og ujævnt kørende en varierende tonehøjde).

3.2 Teksturmålinger

Ved 13 målesteder har Vejteknisk Institut – Vejdirektoratet (VI) foretaget detaljerede målinger af vejbelægningens overfladetekstur. Ved målingerne bestemmes vejbanens lodrette, relative højde med laser i en række punkter i hvert hjulspor med en målevogn. Der måles med en vandret afstand på 0,3 mm, og udstyrets lodrette nøjagtighed er ca. 0,015 mm. Der er ved hvert målested foretaget to gennemkørsler i hver retning. VI har på grundlag af disse data beregnet MPD (mean profile depth) pr. 5 m som funktion af afstanden langs vejen (MPD er defineret i ISO 13473-2 som gennemsnittet af den største højde på 1. og 2. halvdel af en målestrækning på 100 mm minus den samlede gennemsnitshøjde, [Schmidt]. MPD5 er middelværdien af disse MPD tal over strækninger på 5 m).

Resultaterne af teksturmålingerne angivet ved denne middelværdi af MPD5 er vist i *tabel 1* sammen med værdierne for såvel den nærmeste og den fjerneste vognbane.

Nr.	Strækning	fjern	nær	middel
4	Gammellosevej, Gladsaxe	0,47	0,46	0,47
5	Marksvinget, Køge	0,44	0,62	0,53
6	Rybjerg Alle, Husum	0,57	0,54	0,56
9	Mørkhøjvej, Gladsaxe	0,76	0,93	0,85
10	Osted, hv. 14, km 45,0	0,37	0,36	0,37
11	Lossepladsvej	0,53	0,57	0,55
12	Ringsted Ringvej, hv. 14, km 61,9	0,34	0,33	0,34
13	Næstved-Rønnede, hv. 54, km 12,2	0,42	0,46	0,44
14	Roskilde-Frederikssund, hv. 6, km 7,8	0,60	0,66	0,63
15	Roskilde-Osted, hv. 14, km 38,77	0,43	0,39	0,41
16	Isterødvejen, hv. 19, km 35,6	0,62	0,72	0,67
17	Helsingørmotorvejen, km 20,34	0,88	0,78	0,83
21	Sydmotorvejen, E 47, km 53,3	0,80	0,60	0,70

Tabel 1: Middelværdier af MPD5 for en ± 30 m strækning omkring målestedet for hver vognbane og i alt (mm).

3.3 Motorregister

På grundlag af det noterede registreringsnummer er der fremskaffet data fra det centrale motorregister (CMR). Fra CMR foreligger for data for 3576 køretøjer, idet visse nummerplader ikke var noteret, var ugyldige, udenlandske eller af andre grunde ikke fandtes i CMR. For hvert køretøj er følgende oplyst:

- type (personbil, varebil, knallert, motorcykel, lastbil, påhængsvogn, sættevogn, stor personbil (= bus)).
- fabrikat, model og variant

- 1. registreringsdato, brændstof (benzin, diesel, el), egenvægt og for målingerne i år 2000 også akselantal.

3.4 Bilimportører

De fleste større bilimportører har velvilligt suppleret oplysningerne fra CMR med data for motorernes slagvolumen. For biler, hvor motorstørrelsen fremgik af modelbetegnelsen ("1.6 16V" eller "1,6 TDI" eller lignende), er denne benyttet direkte, selvom motoren ofte reelt er lidt mindre.

4. Hovedresultater

4.1 Lette køretøjer

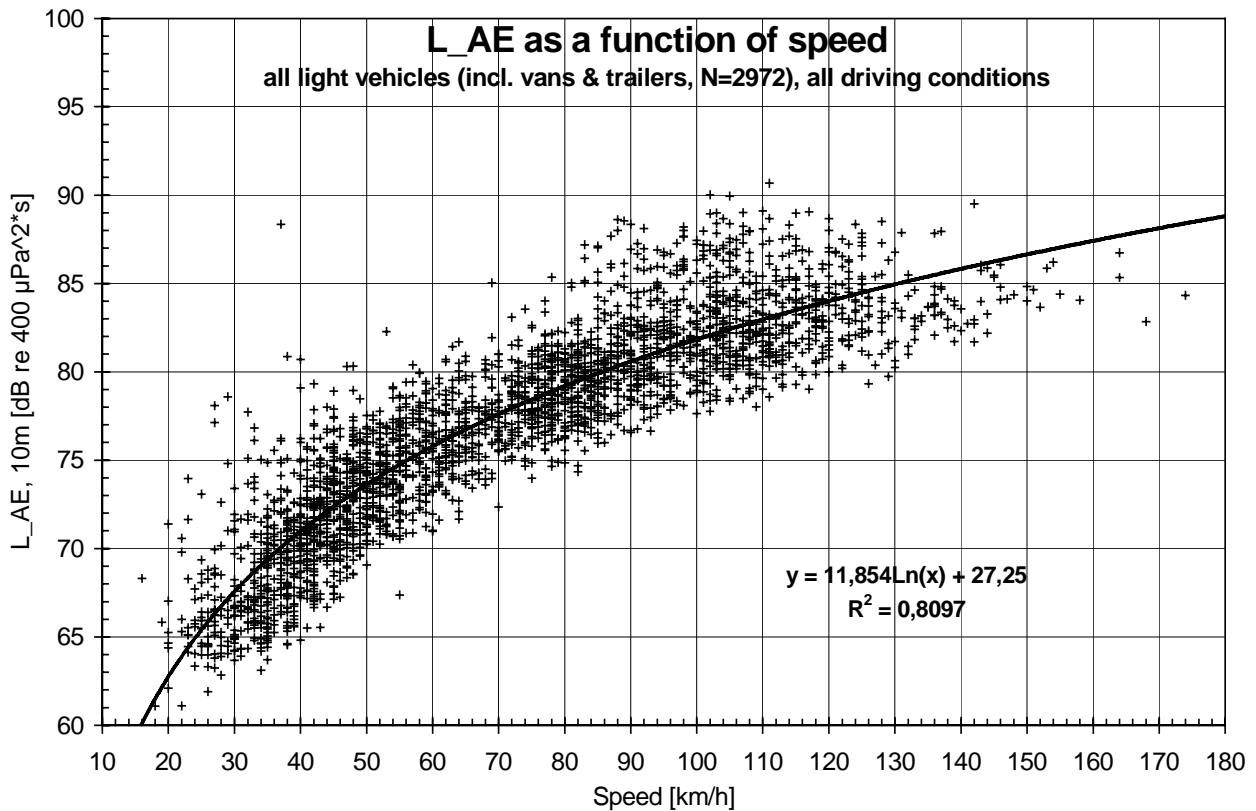
Generelt vides det, at der er en god sammenhæng mellem støjen og logaritmen til farten, se for eksempel [TemaNord]:

$$L_{AE, 10m} = C_I \cdot \ln(v) + B = C \cdot \log(v) + B$$

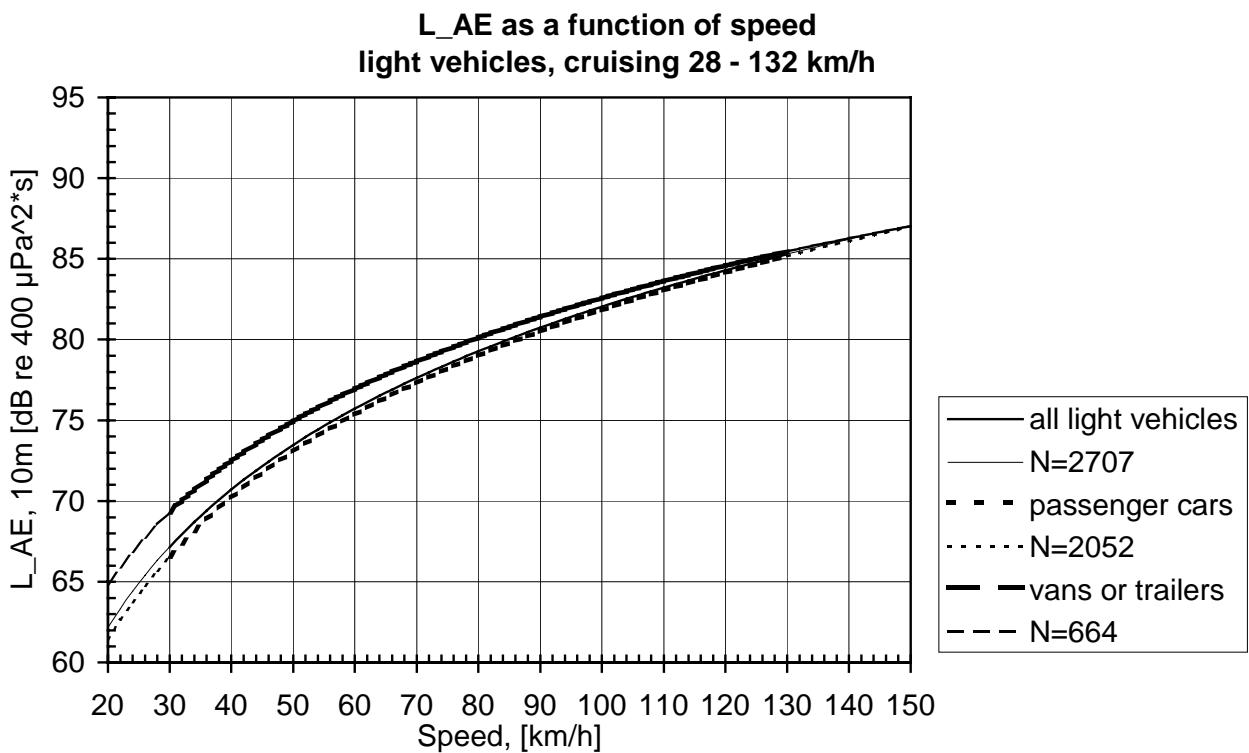
hvor v er køretøjets fart (i km/h) og $C = C_I \cdot \ln(10)$.

Dette kan illustreres som i *figur 1*, der viser de målte værdier af $L_{AE, 10m}$ som funktion af logaritmen til farten for alle de lette køretøjer ($N = 2972$). Farten lå i intervallet 16 – 174 km/h, 102 biler accelererede, 22 decelererede og 5 kørte med ujævn fart.

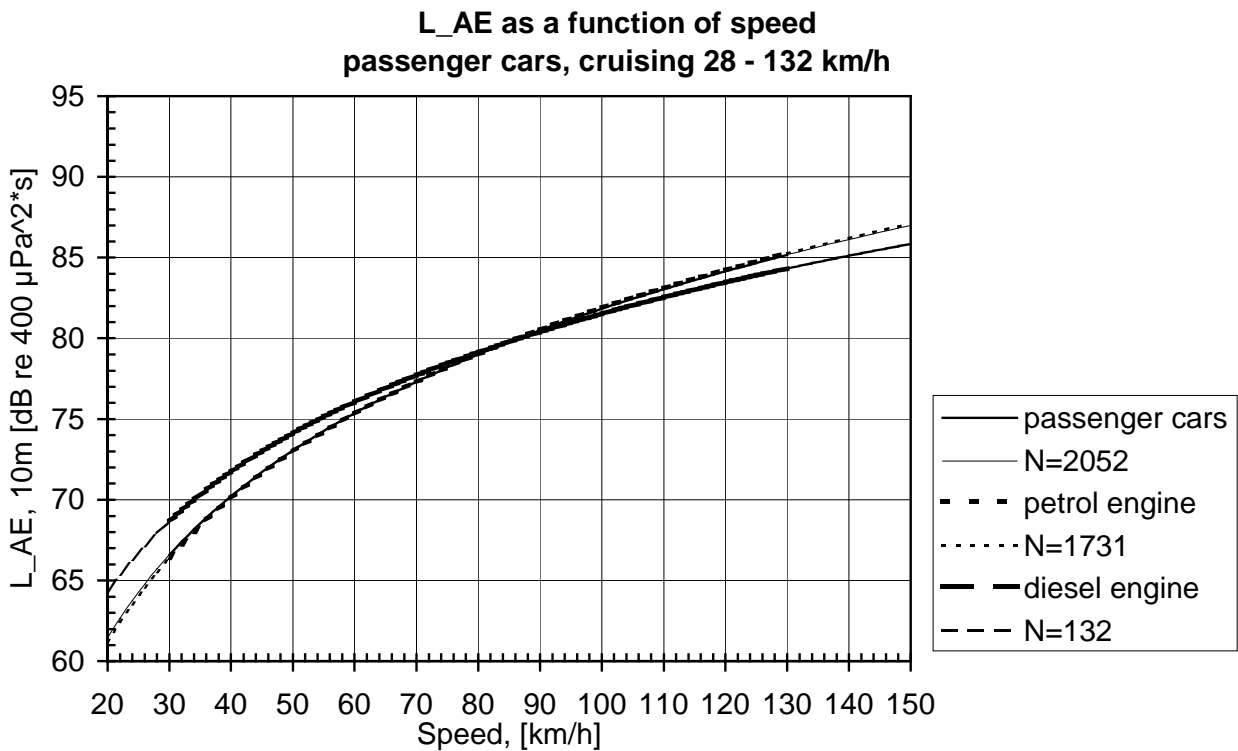
For alle lette køretøjer, som kørte med jævn fart i intervallet 27,5 – 132,5 km/h ($N = 2707$) er regressionskurven for $L_{AE, 10m}$ vist som funktion af farten i *figur 2*. Det ses, at støjen fra varebilerne var 1 – 2 dB kraftigere end fra personbilerne, når farten er mindre end ca. 100 km/h – forskellen aftager med voksende fart. Denne gruppe er opdelt i personbiler (P) henholdsvis varebiler og biler med trailere. Disse to grupper kan (ud fra oplysningerne fra CMR) underopdeles afhængig af om motoren er benzin- eller dieseldrevet – se *figur 3 og 4*.



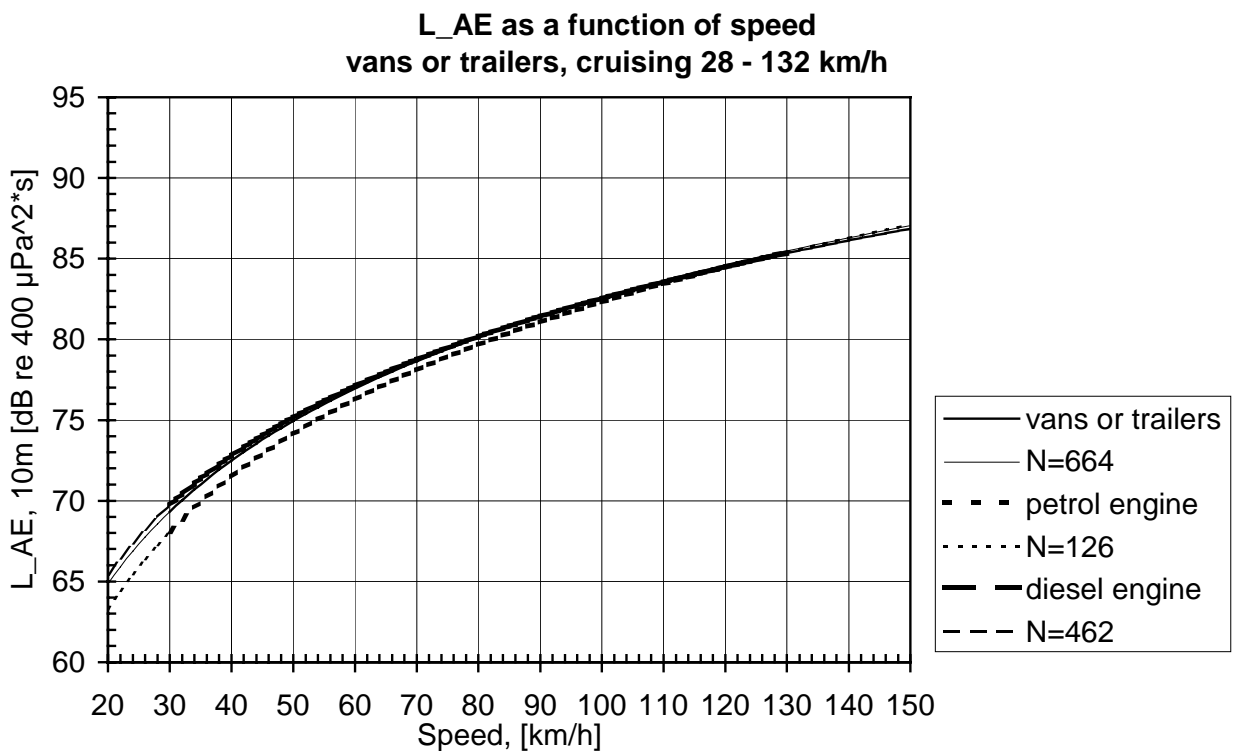
Figur 1: A-vægtet støjdosisniveau $L_{AE, 10m}$ som funktion af farten for alle lette køretøjer samt en logaritmisk regressionslinje.



Figur 2: $L_{AE, 10m}$ som funktion af farten for alle lette køretøjer med jævn fart fra 28 – 132 km/h samt opdelt i personbiler henholdsvis varebiler.



Figur 3: $L_{AE, 10m}$ som funktion af farten for personbiler med jævn fart fra 28 – 132 km/h samt opdelt i benzin- henholdsvis dieseldrevne.



Figur 4: $L_{AE, 10m}$ som funktion af farten for varebiler med jævn fart fra 28 – 132 km/h samt opdelt i benzin- henholdsvis dieseldrevne.

Koefficienterne for de fundne regressionskurver er vist i *tabel 2*.

Køretøjsgruppe	N	C	B	$L_{AE, 10m} (40)$	$L_{AE, 10m} (120)$
alle lette, jævn 28-132 km/h	2707	28,47	25,1	70,7	84,3
personbiler	2052	29,18	23,5	70,2	84,2
varebiler og trailere	664	25,34	31,9	72,5	84,6
personbiler, benzindrevne	1731	29,60	22,7	70,1	84,2
personbiler, dieseldrevne	132	24,58	32,4	71,8	83,5
varebiler og trailere, benzin	126	27,19	27,9	71,5	84,4
varebiler og trailere, diesel	462	24,51	33,5	72,8	84,5

Tabel 2: Oversigt over antal køretøjer og regressionskoefficienter for forskellige grupper af lette køretøjer med en jævn fart på 27,5 – 132,5 km/h. For hver gruppe er værdierne af $L_{AE, 10m}$ desuden angivet ved en fart på 40 km/h og 120 km/h, (dB re $400 \mu Pa^2 s$).

4.2 Tunge køretøjer

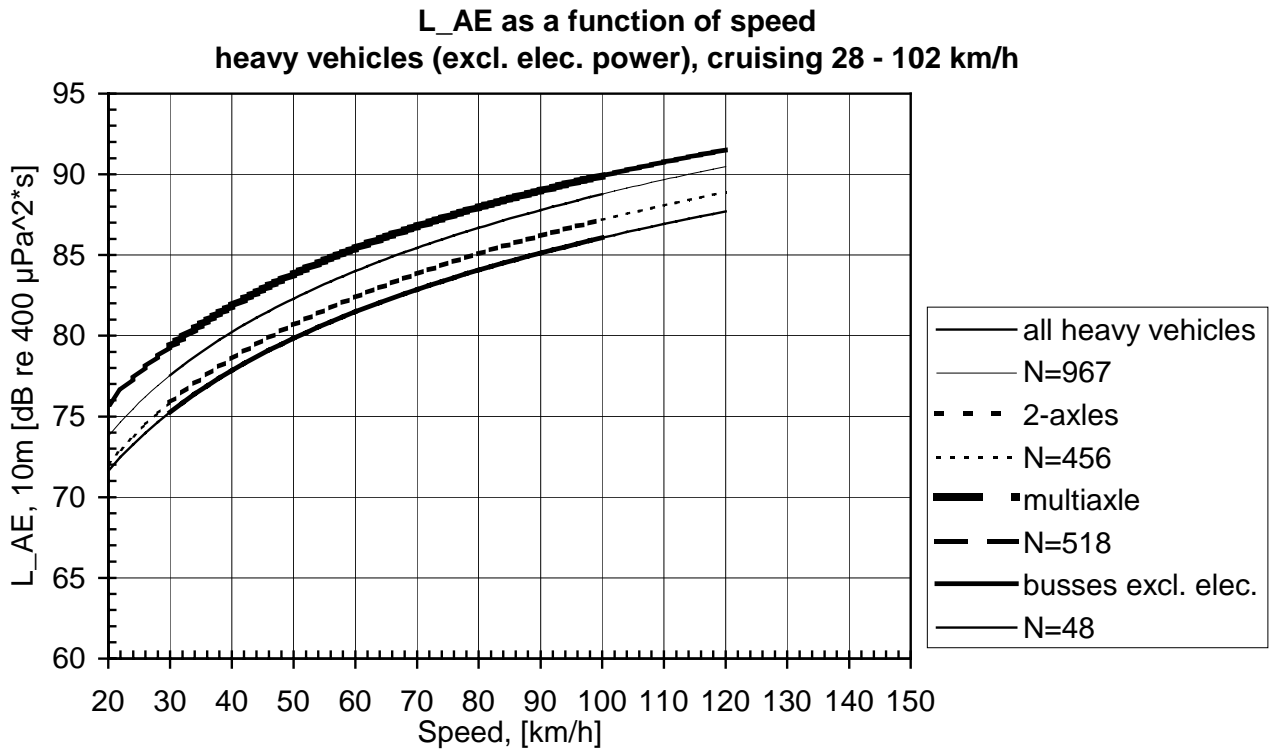
Tunge køretøjer er defineret som køretøjer med en totalvægt på mindst 3500 kg eller store varevogne med dobbelte baghjul. Der er i alt målt på 1074 tunge køretøjer med en fart i intervallet 20 – 130 km/h. Betragtes alene benzin- og dieseldrevne tunge køretøjer, som kørte med jævn fart i intervallet 27,5 – 102,5 km/h fås for 967 køretøjer en sammenhæng mellem $L_{AE, 10m}$ og farten som vist i *figur 5*. I denne figur er de tunge køretøjer opdelt i undergrupper: 2-akslede lastbiler, flerakslede lastbiler og busser.

Det ses, at støjen fra alle de tunge køretøjer under ét var 7 – 10 dB kraftigere end støjen fra de lette køretøjer – forskellen var mindst ved høj fart. Forskellen mellem støjudsendelsen fra 2-akslede og flerakslede lastbiler var ca. 3 dB næsten uafhængigt af farten. Støjen fra busser (ca. 50 styk) var derimod omkring 1 dB svagere end støjen fra de 2-akslede lastbiler. Denne forskel var også stort set uafhængig af farten – dog lidt voksende med farten.

Koefficienterne for de fundne regressionskurver er vist i *tabel 3*.

køretøjsgruppe	N	C	B	$L_{AE, 10m} (40)$	$L_{AE, 10m} (100)$
alle tunge, excl. eldrevne	967	21,46	45,8	80,2	88,7
2-akslede	456	21,63	43,9	78,6	87,2
Flerakslede	518	20,25	49,4	81,8	89,9
busser, excl. eldrevne	48	20,66	44,7	77,8	86,0

Tabel 3: Oversigt over antal køretøjer og regressionskoefficienter for forskellige grupper af tunge køretøjer med en jævn fart på 27,5 - 102,5 km/h. For hver gruppe er værdierne af $L_{AE, 10m}$ desuden angivet ved en fart på 40 km/h og 100 km/h, (dB re $400 \mu Pa^2 s$).



Figur 5: $L_{AE, 10m}$ som funktion af farten for alle tunge køretøjer med jævn fart fra 28 – 102 km/h samt opdelt i 2-akslede lastbiler, flerakslede lastbiler og busser.

4.3 Motorcykler

Målingerne omfattede desværre kun 22 motorcykler, hvoraf 16 kørte med jævn fart i intervallet 27,5 – 132,5 km/h (reelt fra 45 – 112 km/h). Resultaterne for disse er vist i tabel 4.

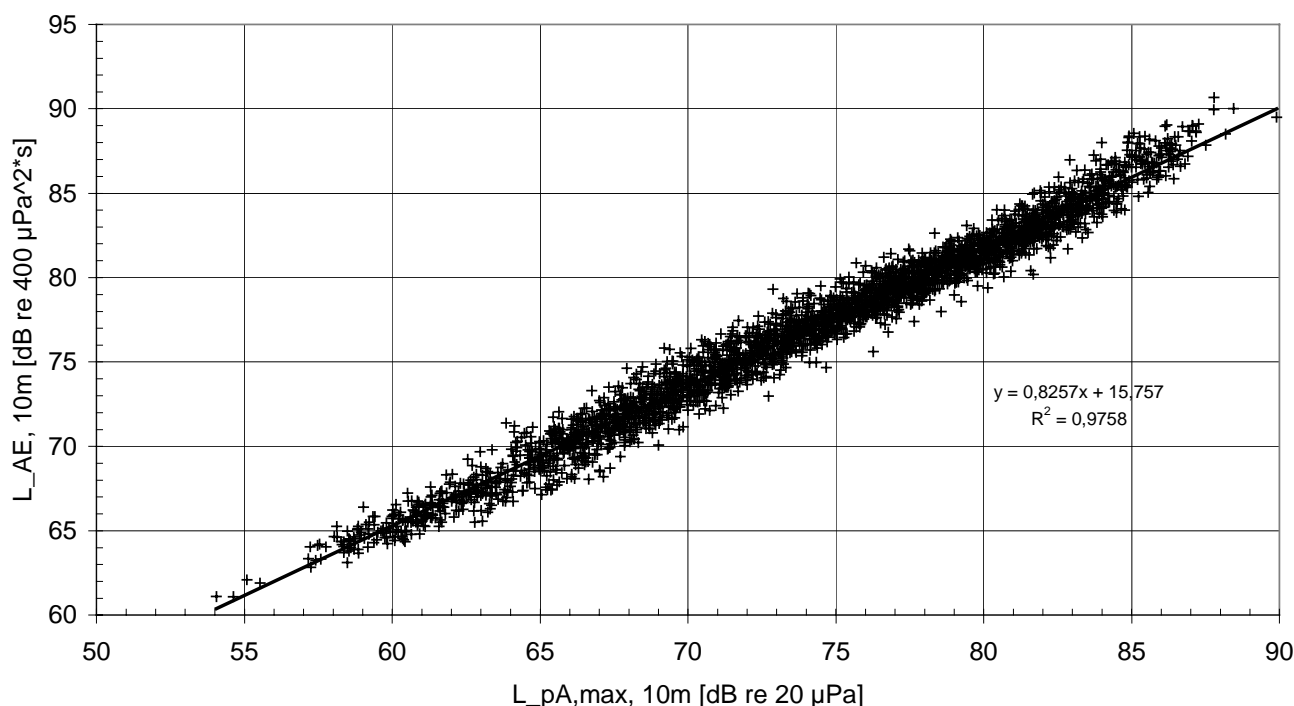
Køretøjsgruppe	N	C	B	$L_{AE, 10m} (40)$	$L_{AE, 10m} (120)$
motorcykler, 45-112 km/h	16	13,73	53,8	75,8	82,3

Tabel 4: Oversigt over antal og regressionskoefficienter for motorcykler med en jævn fart på 45 - 112 km/h. Desuden er værdierne af $L_{AE, 10m}$ angivet ved en fart på 40 km/h og 120 km/h, (dB re $400 \mu Pa^2 \cdot s$).

4.4 Maksimalt støjniveau

Det maksimale, A-vægtede lydtrykniveau med tidsvægtning "fast" og normeret til en vandret afstand på 10 m ($L_{pA, \max, \text{fast}, 10m}$) viser sig at have en næsten lineær sammenhæng med $L_{AE, 10m}$. Figur 6 viser således alle resultater for de ca. 3000 lette køretøjer. Yderligere opdeling af disse grupper giver ingen væsentlige forskelle (se også tabel 5).

**L_{AE} as function of L_{pAmax} for all light vehicles
N=2973**



Figur 6: Sammenhæng mellem $L_{AE, 10m}$ og $L_{pA, max, fast, 10m}$ for alle lette køretøjer.

I tabel 5 er $L_{pA, max, fast, 10m}$ angivet som funktion af $L_{AE, 10m}$ for forskellige grupper af køretøjer:

$$L_{pA, max, fast, 10m} = D \cdot L_{AE, 10m} + E$$

Værdierne af $L_{pA, max, fast, 10m}$ svarende til $L_{AE, 10m} = 70$ og 90 dB re $400 \mu Pa^2 s$ er ligeledes beregnet og angivet i tabellen. Det ses, at forskellene mellem person- og varebiler er forsvindende, mens $L_{pA, max, fast, 10m}$ ved en given $L_{AE, 10m}$ -værdi er 1 – 2 dB kraftigere for lette køretøjer end for tunge.

Køretøjsgruppe	N	D	E	$L_{pA, max, fast, 10m}(70)$	$L_{pA, max, fast, 10m}(90)$
alle lette køretøjer	2973	1,211	-19,1	65,7	89,9
lette, jævn fart 28-132 km/h	2707	1,202	-18,4	65,7	89,8
personbiler, 28-132 km/h	2052	1,196	-17,8	65,9	89,8
varebiler, 28-132 km/h	664	1,246	-22,1	65,1	90,0
alle tunge køretøjer	1074	1,248	-23,7	63,7	88,6
alle tunge, excl. eldrevne	967	1,239	-23,0	63,7	88,5

Tabel 5: Oversigt over antal køretøjer og konstanter for linjen, der beskriver $L_{pA, max, fast, 10m}$ som funktion af $L_{AE, 10m}$ for forskellige grupper af køretøjer. Desuden er $L_{pA, max, fast, 10m}$ angivet for $L_{AE, 10m} = 70$ og 90 dB re $400 \mu Pa^2 s$, (dB re $20 \mu Pa$).

5. Øvrige resultater

For en stor del af måleresultaterne foreligger der som nævnt også oplysninger om vejens tekstur på hvert målested og om de enkelte køretøjer. Indflydelsen på $L_{AE, 10m}$ af slagvolumen for motoren (S_l i liter), bilens alder på måletidspunktet (A_y i år) og af MPD5 på målestedet (mm) undersøges ved multiple regressionsanalyser for forskellige grupper køretøjer.

Den virkning, der tilskrives MPD5, kan rumme eventuelle systematiske fejl mellem resultater fra forskellige målesteder, idet der kun er benyttet én middelværdi af MPD5 for hvert målested.

5.1 Lette køretøjer

For alle lette køretøjer, der kørte med en jævn fart i intervallet 27,5 – 132,5 km/h er følgende lineære model undersøgt:

$$L_{AE, 10m} = B + C \cdot \log(v) + D \cdot S_l + E \cdot A_y$$

hvor v er køretøjets fart (km/h), S_l motorens slagvolumen (l) og A_y bilens alder (år).

Af de oprindelige 2707 måleresultater forelå oplysninger om slagvolumen og alder for i alt 2106 biler. Alle tre variable var højst signifikante (signifikansniveau mindre end 0,01 %) og følgende model blev bestemt:

$$L_{AE, 10m} = 22,4 + 28,53 \cdot \log(v) + 1,21 \cdot S_l + 0,04 \cdot A_y$$

Den residuale standardafvigelse ved denne model var 2,32 dB.

Det ses, at parametrene ikke afviger meget fra værdierne i *tabel 2*, og at en forøgelse af slagvolumen med 1 liter giver 1,2 dB forøgelse af støjen. Forøges bilens alder derimod med 10 år giver det kun en forøgelse af støjen på 0,4 dB – altså en ubetydelig forøgelse, om end den er signifikant.

Betragtes alene personbilerne ($N = 2052$) findes data for alle tre variable kun for 1606 af disse. En model med tre variable var også her højst signifikant (idet signifikansniveauet selv for A_y var mindre end 0,03 %). Følgende model:

$$L_{AE, 10m} = 21,1 + 29,49 \cdot \log(v) + 0,93 \cdot S_l + 0,04 \cdot A_y$$

gav en residual standardafvigelse på 2,30 dB.

Indføres vejbelægningens tekstur beskrevet ved MPD5 i denne model falder yderligere 477 poster væk, idet MPD5 ikke blev målt ved alle målesteder. For de resterende 1129 biler er en lineær model signifikant og giver en residual standardafvigelse på 2,08 dB. En undersøgelse af residualerne fra den simple én variabel model som funktion af hver af de påtænkte variable viste dog, at afhængigheden af MPD5 beskrives bedre ved et andengradspolynomium.

Ved en sådan model var indflydelsen af bilernes alder endnu mindre og kun signifikant på et niveau under 4 % (residual standardafvigelse: 1,89 dB). Variablen A_y elimineres derfor af modellen, som så bliver:

$$L_{AE, 10m} = 34,7 + 27,52 \cdot \log(v) + 1,03 \cdot S_l - 39,6 \cdot MPD5 + 38,0 \cdot MPD5^2$$

Den residuale standardafvigelse ved denne model var 1,89 dB. En forøgelse af MPD5 fra 0,3 til 0,6 mm vil da medføre en reduktion af $L_{AE, 10m}$ med 1,6 dB, mens en tilsvarende forøgelse af MPD5 fra 0,6 til 0,9 mm vil medføre en forøgelse af $L_{AE, 10m}$ med 5,2 dB! Denne meget stærke afhængighed virker umiddelbart meget stor og kan som nævnt dække over andre systematiske faktorer. Der må derfor tages et vist forbehold over for dette resultat.

5.2 Tunge køretøjer

For de 2-akslede, tunge køretøjer med jævn fart i intervallet 27,5 – 102,5 km/h undersøges først den fulde model svarende til ovenstående. Af de 456 oprindelige dataposter findes alle variable kun for 136 biler. Analysen viser, at bilernes alder ikke har signifikant betydning (signifikansniveau 8 %, residual standardafvigelse for denne model: 2,74 dB).

En model baseret på fart, slagvolumen og MPD5 giver for de 136 biler:

$$L_{AE, 10m} = 55,3 + 20,26 \cdot \log(v) + 0,27 \cdot S_l - 42,7 \cdot MPD5 + 37,6 \cdot MPD5^2$$

Den residuale standardafvigelse ved denne model var 2,76 dB. Alle variable var højst signifikante (niveauer mindre end 0,1 %). Sammenligning med værdierne i *tabel 3* viser næsten samme afhængighed af farten, mens den konstante værdi her er en funktion af slagvolumen og MPD5.

Betragtes i stedet fart, slagvolumen og alder fås 219 dataposter og følgende model:

$$L_{AE, 10m} = 40,3 + 21,64 \cdot \log(v) + 0,40 \cdot S_l + 0,11 \cdot A_y$$

Den residuale standardafvigelse ved denne model var 2,59 dB. Alle variable var signifikante (signifikansniveauer mindre end 2 %).

Den simple én variabel model for alle 456 2-akslede lastbiler gav en residual standardafvigelse på 2,77 dB.

For de 518 flerakslede lastbiler gav den simple én variabel model en residual standardafvigelse på 2,27 dB. En model, hvor kun slagvolumen tilføjes giver for de resterende 105 biler:

$$L_{AE, 10m} = 50,0 + 18,12 \cdot \log(v) + 0,22 \cdot S_l$$

Den residuale standardafvigelse ved denne model var 1,82 dB. Alle variable var højst signifikante (signifikansniveauer mindre end 0,12 %).

Tilføjelse af bilernes alder forbedrer ikke modellen, ligesom modeller med hensyntagen til MPD5 også giver større residuale standardafvigelser.

6. Bemærkninger

I forbindelse med målingerne og analyserne er der for enkelte målesteder set bemærkelsesværdige, systematiske forskelle. Især har resultaterne fra Helsingørmotorvejen vakt opmærk-

somhed, idet støjen her tilsyneladende var 4 – 5 dB kraftigere end ved de øvrige motorveje – tilsvarende gav målingerne ved Saxkøbing 2 – 3 dB svagere støjniveauer end ellers.

Specielt har data fra Helsingørmotorvejen været gransket nøje, ligesom Delta har reanalyseret målingerne herfra og endda foretaget nye kontrolmålinger. Af tidsmæssige grunde har det ikke været muligt at undersøge disse forskelle nøjere, og de kan ikke forklares på det foreliggende grundlag. Forskellen på vejbanernes temperatur under målingerne var ca. 18 °C (højest temperatur ved Saxkøbing) – dette kan dog kun forklare ca. 1 dB af forskellen, idet støjen aftager ca. 0,05 dB pr. °C, [ISO 13325].

Da MPD-tallet for Helsingørmotorvejen lå relativt højt (jævnfør *tabel 1*) vil de høje resultater herfra bevirke at MPD-tallets virkning på støjen vurderes som væsentlig. Teksturens indflydelse på støjen kan derfor blive overvurderet, hvis der faktisk er andre årsager til systematiske forskelle mellem resultater fra forskellige målesteder.

7. Sammenfatning

I perioden fra oktober 1999 til oktober 2000 er der foretaget detaljerede målinger på støjen og farten fra godt 4000 enkeltkøretøjer. Målingerne omfatter 21 veje og et hastighedsinterval fra under 30 km/h til over 130 km/h. Alle målestederne var jævne, uden stigning og med jævn trafik. Vejbelægningerne var tæt asfaltbeton med en maksimal stenstørrelse på 12 mm, som alle var i pæn stand og mere end to år gamle.

Støjmålingerne omfattede både 1/3 oktavniveauer fra 25 Hz til 10 kHz og totalværdier for støjdosise-niveauet ($L_{AE, 10m}$) og for det A-vægtede maksimale lydtrykniveau med tidsvægtning ”fast” ($L_{pA, max, fast, 10m}$). Analyserne er baseret på $L_{AE, 10m}$, der er bestemt som funktion af farten for flere kategorier af køretøjer, som alle kørte med jævn fart. Desuden er der vist en næsten entydig sammenhæng mellem $L_{pA, max, fast, 10m}$ og $L_{AE, 10m}$. For lette køretøjer indgår køretøjer med en jævn fart i intervallet 27,5 – 132,5 km/h i analyserne, mens kun tunge køretøjer i intervallet 27,5 – 102,5 km/h tages i betragtning.

Opdeling af de knap 3000 lette køretøjer i undergrupper (person- eller varebiler, benzin- eller dieselmotorer) gav ingen betydende forskelle ved høje hastigheder. Ved 120 km/h var forskellene mindre end 0,4 dB – kun støjen fra dieseldrevne personbiler var ca. 1 dB svagere end gennemsnittet (dette kan hænge sammen med, at det fortrinsvis er store luksusbiler, der kører hurtigt og har dieselmotor). Ved lav fart var der dog større forskelle mellem grupperne. Ved 40 km/h var støjen fra varevogne således godt 2 dB kraftigere end støjen fra personbiler. Tilsvarende var støjen fra dieseldrevne biler ca. 1,5 dB kraftigere end fra benzindrevne – dette gjaldt både for person- og varebilerne.

Målingerne omfattede godt 1000 tunge køretøjer – næsten ligeligt fordelt mellem 2-akslede og flerakslede lastbiler. Støjen fra alle de tunge køretøjer under ét var 7 – 10 dB kraftigere end fra de lette køretøjer – forskellen var mindst ved høj fart. Forskellen mellem støjudsendelsen fra 2-akslede og flerakslede lastbiler var ca. 3 dB næsten uafhængigt af farten. En tredje grup-

pe er busser (ca. 50 styk), som gav omkring 1 dB svagere støj end 2-akslede lastbiler. Denne forskel var også stort set uafhængig af farten – dog lidt voksende med farten.

Der blev også målt på nogle få motorcykler (kun 16 med jævn fart). For disse var der en tendens til meget lavere afhængighed af farten, idet de støjede mere end personbiler ved lav fart, men mindre ved høj fart. Dette passer kvalitativt godt med, at motorstøjen for disse er mere væsentlig end dækstøjen – op til meget store hastigheder – og at dækstøjen er mindre (kun to hjul og smallere dæk).

Endelig er støjudsensens afhængighed af motorenes størrelse (slagvolumen), bilernes alder på måletidspunktet og vejbelægningens overfladetekstur undersøgt ved multiple regressionsanalyser. For de lette køretøjer fandtes en afhængighed af slagvolumen på ca. 1 dB pr. liter, mens bilernes alder kun havde meget lille indflydelse (ca. 0,4 dB pr. 10 år). For de tunge køretøjer fandtes generelt en mindre afhængighed af motorenes slagvolumen (0,2 – 0,4 dB pr. liter), mens alderen for de 2-akslede lastbiler havde lidt større betydning: ca. 1 dB pr. 10 år.

Vejbelægningens tekstur udtrykt ved MPD-tallet viste sig at have en meget væsentlig indflydelse på støjudsensens for både lette og tunge køretøjer. Indflydelsen blev bedst beskrevet ved en andengradsmodel, som havde et minimum for MPD5 lig ca. 0,5 mm. Støjen steg 3 – 5 dB ved en reduktion af MPD5 til 0,2 mm eller ved en forøgelse af MPD5 til 0,9 mm. Denne stærke afhængighed forekommer umiddelbart at være meget stor og er desuden temmelig usikker – dels på grund af store usikkerheder ved MPD-målingerne, og dels da den kan dække over andre, ukendte, systematiske forskelle mellem målestederne.

Den residuale standardafvigelse for de simple én variabel modeller ($L_{AE, 10m}$ som funktion af logaritmen til farten) var ca. 2,3 – 2,8 dB for henholdsvis lette og tunge køretøjer. De bedste modeller med supplerende parametre for slagvolumen, MPD5 og eventuelt alder bevirkede en reduktion af de residuale standardafvigelser til ca. 1,9 dB.

8. Referencer

- Nord2000: Hoved- og baggrundsrapporter findes på følgende hjemmeside:
<http://www.delta.dk/services/consulting/acoustics/nord2000/default.htm>
- Jonasson, 2000: "Measurement and modelling of noise emission of road vehicles for use in prediction models", SP-rapport 1999:35, Borås, 2000.
- DS/ISO 11819-1: "Acoustics. Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise. Part 1: Statistical pass-by method", 1997, udgivet som Dansk Standard i 1998-04-01.
- Delta, 2001: "Støjemissionsdata for køretøjer med konstant fart i vejtrafik målt 1999 – 2000 af Delta", rapport AV 1018/01, Kgs. Lyngby, 2001-02-12.
- Schmidt, Bjarne: "Måling af asfaltbelægnings tekstur i relation til friktionen", Vejteknisk Institut - Vejdirektoratet.
- ISO/DIS 13473-2: "Characterisation of pavement texture by use of surface profiles – Part 2: Terminology and basic requirements related to pavement texture profile analysis", under publikation 2002.
- TemaNord: "Road Traffic Noise – Nordic Prediction Method", TemaNord 1996:525, Nordisk Ministerråd 1996, Svensk-Norsk Bogimport.
- ISO/DIS 13325: "Tyres – Coast-by-method for measurement of tyre/road sound emission", 2001.