

# Økonomi og oplevet effekt ved støjdemning med drænasfalt

Lars Ellebjerg Larsen og Hans Bendtsen, Atkins Danmark A/S, Pilestræde 58, DK-1112 København K, tlf.: 8233 9000, fax: 8233 9001, e-mail: [lars.ellebjerg.larsen@atkinsglobal.com](mailto:lars.ellebjerg.larsen@atkinsglobal.com), [hans.bendtsen@atkinsglobal.com](mailto:hans.bendtsen@atkinsglobal.com).

Arbejdet blev udført mens forfatterne var ansat hos:

Danmarks TransportForskning, Knuth-Winterfeldts Allé, Bygning 116 Vest, 2800 Kgs. Lyngby, tlf.: 4525 6500, fax: 4593 8628, e-mail: [dtf@dtf.dk](mailto:dtf@dtf.dk).

## Indledning

20 procent af alle danske boliger er udsat for støjniveauer, der overskrider Miljøstyrelsens vejledende grænseværdi på 55 dB; 6 procent er udsat for støj over 65 dB. De fleste støjbelastede boliger ligger i byer, hvor mulighederne for støjbekæmpelse er begrænset.

Selv om det allerede er sket i stort omfang, kan der opnås forbedringer gennem trafikplanlægning, hvor trafikken koncentrerer på enkelte overordnede veje, og i nogle tilfælde kan der opstilles støjskærme langs disse veje. Generelt er skærme dog ikke en realistisk løsning langs veje i byer, da de dels ikke vil skærme de øverste etager i etagebyggeri, og dels hindrer krydsning af vejene. I stedet kan facadeisolering benyttes til at sikre acceptable niveauer indendørs, men så vil der stadig være problemer udendørs, og når folk har åbne vinduer. Det mest realistiske middel til støjbekæmpelse på bygader som alternativ eller i tillæg til facadeisolering er støjreducerende belægninger.

Etlags drænasfalt er i 1990'erne blevet prøvet som middel til støjbekæmpelse på Østerbrogade i København og på hovedlandevej nr. 120 mellem Viskinge og Kalundborg, [Bendtsen, 1996]. På landevejen, hvor hastigheden var 80 km/t, bevarede drænasfalten gennem hele sin levetid en støjdemning på 3 dB sammenlignet med en referencebelægning af tæt asfaltbeton. På Østerbrogade var dempningen derimod helt væk allerede efter to år, fordi porerne i asfalten var stoppet til.

I 1998 indledtes derfor et projekt med afprøvning og videreudvikling af et hollandsk koncept for støjreducerende tolags drænasfalt, som med rensning i form af højtryksspuling og sugning skulle kunne holde sig åben også på bygader. Projektet førte i 1999 til udlægning af tre forsøgsstrækninger med drænasfalt med forskellig stenstørrelse (2/5 og 5/8 mm i øverste lag og 11/16 og 16/22 i nederste) og lagtykkelse samt en referencestrækning med tæt asfaltbeton (AB8t) på Øster Søgade i København.

Et omfattende måleprogram indeholdende støj, overfladekarakteristika og trafikikkerhed er en del af projektet, som også omfatter en før/efter-undersøgelse med spørgeskemaer af beboernes oplevelse af gener fra trafikstøj. I forbindelse med forsøget er der desuden foretaget en økonomisk sammenligning af støjdemning med drænasfalt, støjskærme og facadeisolering. Hele projektet og resultaterne af de første tre års målinger præsenteres i [Bendtsen, Larsen og Greibe, 2002], hvor der også findes kilder til priser og støjdemninger, som benyttes i de økonomiske beregninger.

## Øster Søgade

Forsøgsstrækningen løber mellem Sortedams Sø og bebyggelsen fra Fredens Bro til Østerbrogade. Årsdøgntrafikken er på ca. 7000 køretøjer med 8 procent tung trafik, og hastigheden ligger lige om-

kring 50 km/t. Før ombygningen af gaden lå der en slidt tæt belægning, der på grund af en dårlig vej-kasse havde revner og forsætninger.

Bebyggelsen består af rækkehuse (Kartoffelrækkerne) beliggende langs en række sideveje til Øster Søgade og lejligheder i 5-etages karréer. De tre strækninger med drænasfalt ligger i forlængelse af hinanden ud for rækkehusene, mens referencestrækningen ligger langs lejlighederne ned mod Østerbrogade.

Det blev målt støj på Øster Søgade både før og efter ombygningen. På referencestrækningen faldt støj-niveauet med 2,5 dB efter ombygningen, og på forsøgsstrækningerne faldt den med 6,9 dB på stræk-ningen med 5/8 mm sten i toplaget og med 7,4 og 8,5 dB på de to strækninger med 2/5 mm sten. Da der ikke i geneundersøgelsen skelnes mellem de tre forsøgsstrækninger, regnes der derfor med en gen-nemsnitlig støjreduktion fra før til efter på 7,6 dB.

I år 2 er støjreduktionen relativt til referencebelægningen på 4 dB på alle tre forsøgsstrækninger. Idet det antages, at denne reduktion holder sig i hele belægningens levetid, er det denne reduktion, der an-vendes i de økonomiske sammenligninger af virkemidler.

## Geneundersøgelsen

I marts 1999, før ombygningen af Øster Søgade, og i marts 2000 blev spørgeskemaer omdelt til boli-gerne langs vejen med et følgebrev og en frankeret svarkuvert. Følgebrevet beder om at en person i husstanden over 18 år udfylder skemaet. Skemaerne blev uddelt til alle 118 lejligheder i opgange med gadedør ud mod Øster Søgade og til 122 rækkehuse beliggende op til 5 huse fra Øster Søgade. Svar-procenterne i før- og efterundersøgelserne var henholdsvis 72 og 65 procent, hvilket er særdeles til-fredsstillende. I begge undersøgelser er svarprocenten lidt højere for rækkehusene end for lejligheder-ne, men det er ikke i et omfang, der påvirker analysernes holdbarhed. Der er ikke signifikant forskel på svarprocenten afhængigt af lejlighedernes placering på etager eller rækkehusenes afstand til vejen.

Da undersøgelsespopulationen er forholdsvis lille, var det vigtigt at få så mange besvarelser som mu-ligt. Det blev derfor besluttet at lade besvarelserne være anonyme, så dette ikke holdt folk fra at svare. Da strækningerne med drænasfalt som beskrevet ligger langs rækkehusene og referencestrækningen langs lejlighederne, blev der besluttet at behandle de tre forsøgsstrækninger samlet og skelne mellem drænasfalt og tæt asfaltbeton ved at spørge, om respondenterne bor i lejlighed eller byggeforenings-hus.

Det er ikke optimalt at sammenligne besvarelser fra lejligheder med besvarelser fra rækkehuse, idet forskelle i fysisk struktur mellem de to boligtyper kan påvirke, hvor generet folk føler sig. I en stor undersøgelse i Århus, Odense og Randers er respondenter, der bor i lejlighed, således mere generet end respondenter fra enfamiliehuse og rækkehuse ved det samme støjniveau, [Larsen, Bendtsen og Mikkelsen, 2002]. Samme undersøgelse viser, at genen er større, hvis soveværelset vender mod vejen, end hvis det vender væk fra vejen. I rækkehusene, som ligger vinkelret på Øster Søgade, vender sove-værelserne hverken direkte ud til eller væk fra vejen, mens det – uden at kende indretningen – er sand-synligt, at flertallet af lejlighederne har soveværelserne vendt væk fra vejen. Det er ikke muligt i ana-lyserne af besvarelserne at tage hensyn til disse forskellene mellem de to boligtyper.

Et andet forhold, som der ikke kan tages højde for i analyserne, er, at en del beboere fra lejlighederne har udtrykt utilfredshed med, at der ikke også er udlagt drænasfalt foran deres boliger. Denne utilfredshed kan dels have påvirket viljen til at besvare skemaerne i efterundersøgelsen, dels kan den have påvirket respondenternes besvarelser af spørgsmålene om gene. Der er ikke noget, der tyder på, at utilfredsheden har påvirket svarprocenten for lejlighederne. Det er ikke muligt at afgøre, om det har påvirket svarene på enkeltspørgsmål.

Der er også demografiske forskelle mellem lejlighederne og rækkehusene. Det kommer frem i spørgeskemaets spørgsmål om alder. I lejlighederne er aldersfordelingen ligelig på aldersgrupperne 18-30, 31-40, 41-50, 51-60, 61-70 og >70 år. Det vil sige, at ca. 32 procent af respondenterne fra lejlighederne er mellem 41 og 60 år. I rækkehusene er det ca. 60 procent. Undersøgelsen fra Århus, Odense og Randers fører ikke til konklusioner om, hvorvidt alder har betydning for den oplevede støjgene, men eventuel betydning vil være lille. Alligevel må det betragtes som endnu en faktor, som muligvis kan føre til forskelle i støjgenen i de to boligtyper.

Spørgeskemaet rummer også et spørgsmål om køn. Besvarelserne viser, at der er ca. 10 procent flere kvinder end mænd blandt respondenterne. Der er en tendens til, at der er flere kvinder i lejlighederne i forhold til i byggeforeningshusene, men forskellen er ikke signifikant. Da det samtidig i undersøgelsen fra Århus, Odense og Randers konkluderes, at der ikke er sammenhæng mellem køn og gene fra trafikstøj, antages fordelingen på køn ikke at føre til forskelle af betydning mellem de to boligtyper. Det er sandsynligt, at der også er andre faktorer, for eksempel i indkomst, som kan tænkes at spille ind, men der er ikke spurgt til andre demografiske informationer end alder og køn.

## Støj

Støjniveauerne på facaden af boligerne er beregnet med den nordiske beregningsmodel for vejtrafikstøj. De beregnede førniveauer har fået et tillæg på 1 dB for en meget slidt og ujævn belægning. Efterniveauerne er bestemt ved at trække de tidligere beskrevne forskelle på 2,5 og 7,6 dB for henholdsvis lejligheder og rækkehuse fra førniveauerne. De beregnede før- og efterniveauer fremgår af tabel 1.

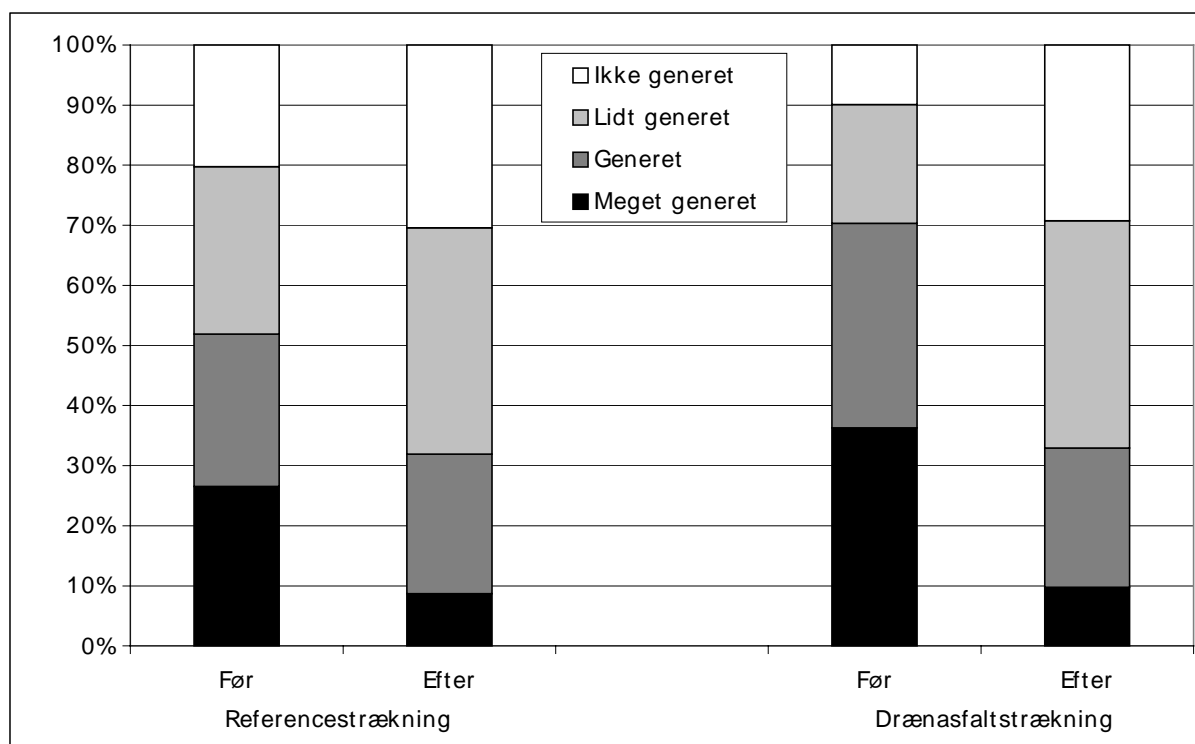
Lejligheder						
Etage	Stue	1	2	3	4	5
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
$L_{Aeq,24}$ – før	65,4	64,9	64,2	63,5	62,8	62,1
$L_{Aeq,24}$ – efter	62,9	62,4	61,7	61,0	60,3	59,6
Byggeforeningshuse						
Antal huse fra Øster Søgade	0	1	2	3	4	5
	dB	dB	dB	dB	dB	dB
$L_{Aeq,24}$ – før	65,4	64,7	62,6	61,3	60,3	59,2
$L_{Aeq,24}$ – efter	57,8	57,1	55,0	53,7	52,7	51,6

Tabel 1. Døgnækvivalente støjniveauer før og efter ombygningen af Øster Søgade.

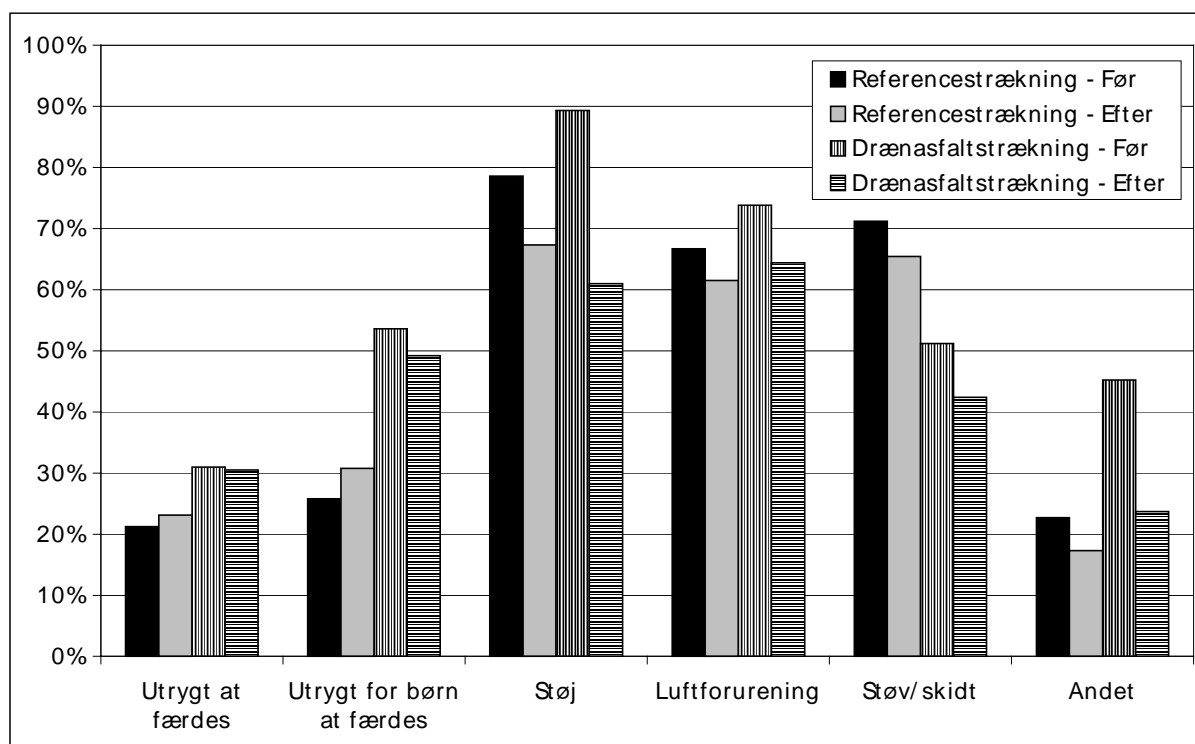
## Gener fra trafikken

Som indledning til spørgsmålene om gene blev der spurgt til gene generelt fra trafikken på Øster Søgade. Svarene, som fremgår af figur 1, viser, at der ved både referencestrækningen og drænasfalten sker markante reduktioner i genen. De respondenter, der angav at være generet af trafikken i et eller

andet omfang, blev bedt om at angive, hvad de er generet af. Svarene er vist i figur 2. For referencestrækningen er der ingen signifikante forskelle på før- og efterundersøgelsen, hvorimod der for strækningen med drænasfalt er sket signifikant (på 5%-niveau) fald i andelen af generede på grund af 'støj', 'luftforurening', 'støv/skidt' og 'andet'.



Figur 1. "Er De generet af biltrafikken på Øster Søgade?"



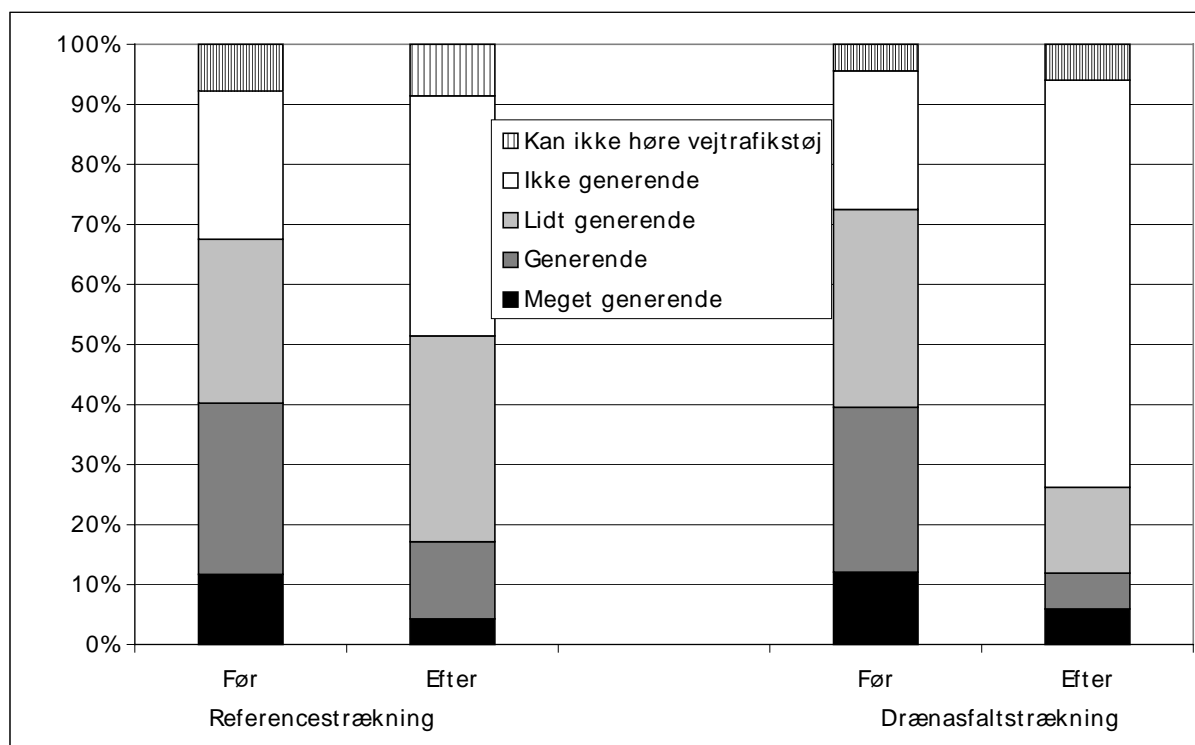
Figur 2. "Hvis De er generet af biltrafik, hvad er De da generet af?"

Umiddelbart kan faldet i gene på grund af luftforurening og støv/skidt ikke forklares med ombygningen af vejen, og da der ikke er sket ændringer i trafikken, kan det heller ikke være forklaringen. I andre undersøgelser [Kolbenstvedt, 1998] er der set samspilseffekter mellem forskellige genekilder, sådan at et fald i støjniveauet medfører, at de øvrige påvirkninger er mindre generende. Det store fald i 'andet' kan forklares med ombygningen af vejen, idet 25 procent af beboerne i byggeforeningshusene før ombygningen angav at være generet af vibrationer fra vejen, som forplantede sig til boligerne. I efterundersøgelsen er det kun 3 procent (3 respondenter), der angiver vibrationer som en kilde til gene.

### Støjgene

Spørgeskemaet rummede spørgsmål om gene inde med lukkede og åbne vinduer. Svarmuligheden var 'Meget generende', 'Generende', 'Lidt generende', 'Ikke generende' og 'Kan ikke høre vejtrafikstøj'. Andelen af generede i hvert tilfælde fremgår af figur 3 og 4. Som det ses falder genen i begge tilfælde ved både referencestrækningen og ved strækningen med drænasfalt, men ikke overraskende ses det markant største fald i genen på strækningen med drænasfalt, hvor reduktionen i støjniveauet er størst.

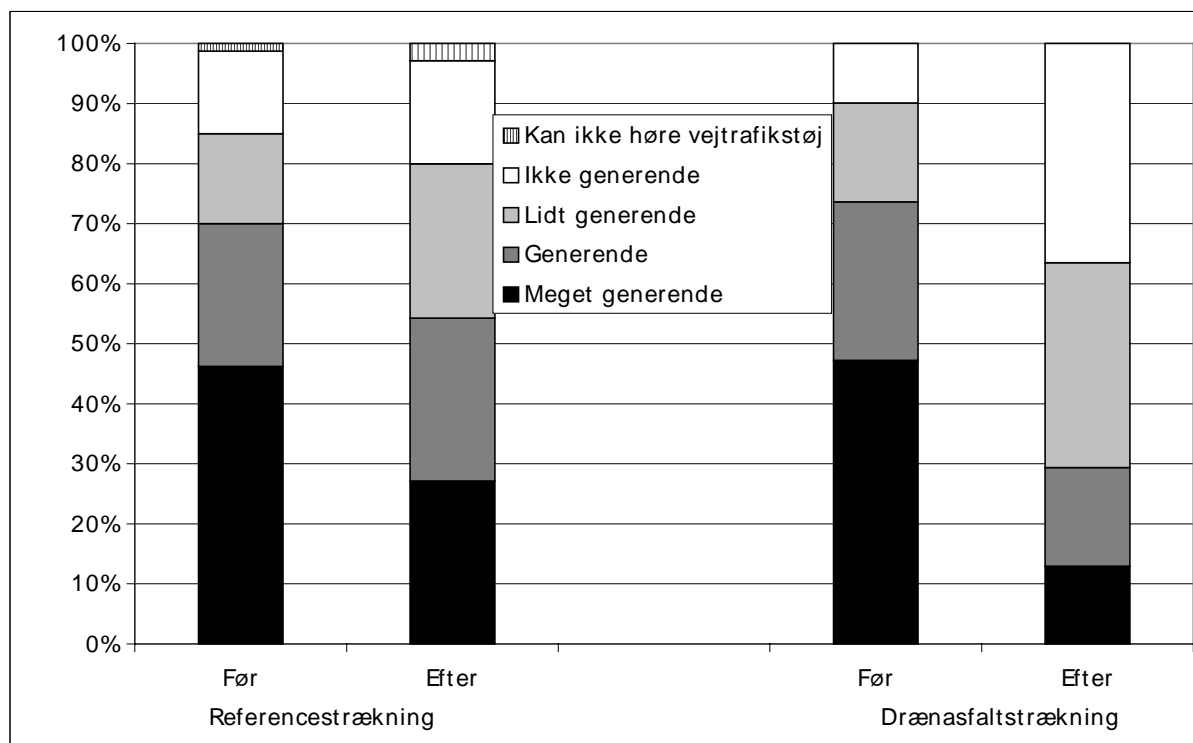
Inde med lukkede vinduer falder andelen af generede ('meget generende', 'generende' eller 'lidt generende') fra 67,6 til 51,5 procent langs referencestrækningen og fra 72,6 til 26,3 procent langs strækningen med drænasfalt. Ved drænasfalten falder alle tre geneniveauer, hvorimod der ved referencestrækningen sker et fald i andelen 'meget generende' og 'generende' men en stigning i andelen 'lidt generede'. Reduktionen i andel generede er signifikant for både drænasfalt og referencestrækning.



Figur 3. "Er vejtrafikstøj til gene for Dem, når De opholder Dem i Deres bolig med lukkede vinduer?"

Inde med åbne vinduer er reduktionerne i den totale andel generede respondenter fra 85,1 til 79,9 procent ved referencestrækningen og fra 90,2 til 63,5 procent ved drænasfalten. For referencebelægningen sker der en reduktion i andelen 'meget generende' men en stigning i de øvrige kategorier; reduktionen

er ikke signifikant. For drænasfalten sker der et fald i andelen 'meget generende' og 'generende' men en stigning i andelen 'lidt generende'; reduktionen er signifikant.



Figur 4. "Er vejtrafikstøj til gene for Dem, når De opholder Dem i Deres bolig med åbne vinduer?"

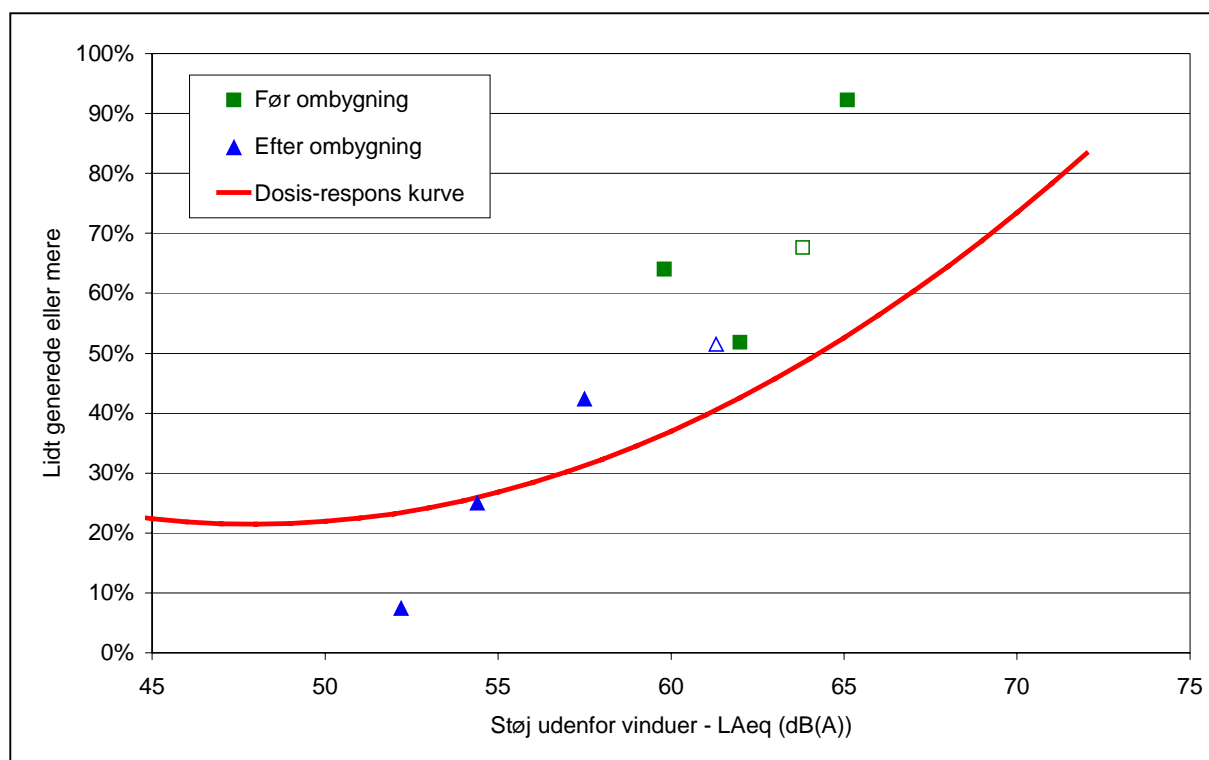
Skrevne kommentarer fra respondenterne peger på en kilde til gene ved brug af støjreducerende belægninger, som ikke forekommer ellers. Enkelte respondenter, som bor i lejligheder lige ved overgangen mellem drænasfalten og referencebelægningen, angiver, at det opleves som stærkt generende, når biler kører fra drænasfalten til referencebelægningen, fordi der opleves en pludseligt opstået støj eller ligefrem "et knald". På tidspunktet for undersøgelsen er dæmpningen på den pågældende drænasfalt ca. 6 dB relativt til referencebelægningen, og det er således ikke underligt, at beboerne nær belægningsskiftet oplever en markant stigning i eller pludselig opståen af støjen fra bilerne. Respondenternes beskrivelser peger i retning af en sammenligning med genen fra impulslyd fra virksomheder. Uden at det er undersøgt nærmere, virker det da også sandsynligt, at stigningen i lydniveau ved belægningsskiftet lever op til definitionen af en impuls, som den er angivet i [Petersen, 2001].

På figur 5 er andelen af respondenter, der angiver at støjen fra Øster Søgade er 'meget generende', 'generende' eller 'lidt generende' inde med lukkede vinduer vist som funktion af støjen sammen med en dosis-responsekurve fra Århus. [Larsen, Bendtsen og Mikkelsen, 2002] Rækkehusene langs strækningen med drænasfalt er opdelt i grupper efter, om husene ligger 0-1, 2-3 eller 4-5 huse fra Øster Søgade. Lejlighederne behandles som en samlet gruppe, da der ikke er signifikante forskelle i genen mellem grupper af lejligheder, uanset om der dannes to eller tre grupper fordelt på etager.

Som det ses af figuren, er geneniveauerne før og efter ombygningen i de fleste tilfælde noget højere, end det kunne forventes ved de beregnede støjniveauer. En nærliggende forklaring på dette er, at Frendsbrogade og Østerbrogade i hver sin ende af forsøgsstrækningen med henholdsvis 51.000 og 30.000 biler pr. døgn påvirker boligerne i de to ender med trafikstøj, og at beboerne ikke nødvendigvis skelner

mellem kilderne i deres besvarelser. De to store veje kan dels betyde, at en del af boligerne reelt er udsat for højere støjniveauer fra trafik end dem, der er beregnet ud fra Øster Søgade, dels kan de oven i støjen fra Øster Søgade give nogle høje baggrunds niveauer, der virker generende.

Den meget høje andel generede ved strækningen med drænasfalt i førundersøgelsen, som især ses i besvarelserne fra de første to rækker huse (støjniveau på 65 dB) kan også skyldes, at støjen virker mere generende, fordi den forekommer sammen med vibrationer, som en stor del af beboerne har angivet som en kilde til gene.



Figur 5. Gene fra støj fra Øster Søgade inde med lukkede vinduer før og efter ombygningen med støj-reducerende asfalt. De udfyldte signaturer er fra strækningen med drænasfalt og de ikke-udfyldte fra referencetrækningen. Dosis-responsekurven er fra en større undersøgelse i Århus. [Larsen, Bendtsen og Mikkelsen, 2002]

Andre undersøgelser [Baughan m.fl., 2000] finder, at støjreduktion med drænasfalt reducerer genen mere, end det kunne forventes ud fra reduktionen i støjniveauer. Figur 5 indikerer, at dette kan være tilfældet, men det foreliggende datagrundlag er ikke tilstrækkeligt til at drage faste konklusioner, så det konkluderes mere forsigtigt, at faldet i andelen af generede respondenter svarer til reduktionen i støjniveauet.

Det er ikke altid, at reduktioner af trafikstøj fører til tilsvarende reduktioner i den oplevede gene. Det vidner blandt andet en undersøgelse af opfattelsen af støjskærme om, [Bendtsen og Larsen, 2001]. I undersøgelsen er der store forskelle i den oplevede effekt fra område til område. I et enkelt område angiver halvdelen, at støjen er uændret, og der er flere (24%), der angiver, at den er blevet værre, end der er, som angiver, at den er blevet bedre (15%). Skærmens faktiske effekt på støjniveauet er på mellem 5 og 16 dB i første husrække. I det område, hvor der er den største oplevede effekt af skærmen, mener 36 procent, at støjen er uændret og 5 procent, at den er blevet værre, mens 49 procent oplever

en forbedring. Denne skærm har reduceret støjen med mellem 8 og 15 dB ved de nærmeste huse. Da det er et pilotstudie udført uden separate før- og efterundersøgelser og kun omfattende 3 skærme, skal resultaterne ses som indikationer, som der ikke skal drages faste konklusioner på baggrund af.

## Økonomisk sammenligning af virkemidler

Sammenligningen af økonomien i at benytte henholdsvis drænasfalt, støjskærme og facadeisolering til støjbekæmpelse er ikke baseret på Øster Søgade, ud over at der er taget udgangspunkt i forsøgsbelægningen med 5/8 mm sten i øverste lag og en dæmpning på 4 dB. Sammenligningen er i stedet – for at lette beregningerne og gøre resultaterne mere generelle – foretaget gennem tre typetilfælde: en central bygade med 50 km/t, en ringvej med 70 km/t og en motorvej gennem et forstadsområde med 110 km/t. Beregningerne foretages for én kilometer vej uden sideveje og med ensartet bebyggelse langs hele vejen og på begge sider.

Bygaden er en smal men stærkt trafikeret handelsgade i stil med de københavnske brogader. Langs vejen er der karrébebyggelse med butikker i stueetagen og lejligheder i 5 etager. Idet det antages, at en lejlighed har 15 m facade [Miljøstyrelsen og Trafikministeriet, 1998], er der langs de to vejsider tilsammen 665 lejligheder, svarende til 133 lejligheder pr. etage. Med cykelsti, fortov og et spor i hver retning er vejen 15 m bred. Hastigheden er 50 km/t, og årsdøgntrafikken (ÅDT) er 12.000 med 10 procent tunge køretøjer. Med den nordiske beregningsmodel for vejtrafikstøj beregnes facadestøjniveauet ( $L_{Aeq, 24 \text{ timer}}$ , frit felt) uden støjbekæmpelse at være mellem 68 dB på 1. sal og 65 dB på 5. sal. På bygaden er det ikke realistisk at opstille en støjskærm, hvorfor der kun foretages beregninger for drænasfalt og facadeisolering.

Ringvejen er firesporet, hvilket med cykelsti, fortov og rabat/forhave til bebyggelsen giver en bredde på 32 m. Der er lejligheder i 3 etager parallelt med vejen på begge sider, hvilket med 133 lejligheder pr. etage betyder 399 lejligheder langs én kilometer vej. Hastigheden er 70 km/t, og ÅDT er 30.000 med 10 procent tunge køretøjer. Facadestøjniveauerne beregnes til 73-74 dB uden støjbekæmpelse.

For motorvejen antages en smal vejprofil, idet vejen løber gennem et byområde. De tre spor i hver retning er adskilt af 2 m midterrabat, og på hver side er der 3 m nødspor og 5 m rabat før haverne til den første række parcelhuse. Husene i første række ligger yderligere 10 m fra vejen. Idet der antages at være et hus for hver 23 m vejside [Miljøstyrelsen og Trafikministeriet, 1998], er der i en husrække 87 huse i begge vejsider tilsammen. Der regnes med 5 husrækker med afstande mellem rækkerne på 25-30 m. Halvdelen af husene er i ét plan, de øvrige i to. Farten på motorvejen er 110 km/t, ÅDT er 60.000, og der er 10 procent tunge køretøjer. Støjniveauerne på facaden er 77 dB på begge etager i første husrække, 69 og 71 dB på henholdsvis stue og første sal i anden husrække, og henholdsvis 66 og 69 dB i tredje husrække. I femte husrække er der stadig meget høje niveauer (65 dB) på første sal, og også i stueetagen, hvor der er 57 dB, er niveauet højere end den vejledende grænseværdi. I eksemplet regnes der kun for 5 husrækker, selv om der i princippet burde regnes for yderligere husrækker, indtil ingen huse er udsat for støjniveauer over 55 dB.

Drænasfalt, støjskærme og facadeisolering giver forskellig støjreduktion. Hertil kommer, at asfalt og skærme dæmper både inde og ude, mens facadeisolering kun dæmper inde, og kun med lukkede vinduer. Dette gør det vanskeligt at sammenligne såvel effekt som omkostninger for de tre virkemidler. I tillæg til sammenligninger af støjreduktionen sammenlignes virkemidlerne derfor også ud fra redukti-



oner i støjbelastningstallet (SBT) [Vejregeludvalget, 1989], som er en sum af støjbelastede boliger vægtet med hensyn til støj ude og inde, og således at boliger med kraftigt støjniveau vægtes højest.

### Støjreduktion

Som allerede beskrevet, antages støjreduktionen på 4 dB fra drænasfalten på Øster Søgade at holde i hele belægningens levetid. Denne reduktion er opnået på Øster Søgade med en hastighed på ca. 50 km/t. Ved højere hastigheder er det realistisk at forvente større reduktion, idet dæk-vejbanestøjen er dominerende ved hastigheder over 50 km/t. På ringvejen med 70 km/t antages drænasfalten derfor at kunne reducere støjen med 5 dB, og på motorvejen med 110 km/t antages den at reducere støjen med 6 dB.

Støjisolering med 3-lags termoruder med 6 mm glas, 12 mm mellemrum, 4 mm glas, 9 mm mellemrum og 4 mm glas reducerer støjen med 9 dB mere end almindelige 2-lags termoruder med 4 mm glas, 12 mm mellemrum og 4 mm glas. Med almindelige 2-lags ruder er støjniveauet inde 26 dB lavere end facadeniveauet. På ringvejen antages en 2,5 m høj støjskærm at være realistisk. Den reducerer støjen med 11,8 dB i stueetagen men har ingen effekt på første og anden sal. På motorvejen vurderes en 3 m høj skærm at være realistisk. En sådan skærm resulterer i en støjdæmpning på 12,4 dB på stueetagen i første husrække og 6 dB på første sal. I 5. husrække er dæmpningen 6,4 dB på 1. sal og 0,7 dB i stuen.

Støjbelastningstal for alle kombinationer af de tre virkemidler fremgår af tabel 2.

	Bygade	Ringvej	Motorvej
Uden reduktion	202,7	296,9	278,5
Drænasfalt	117,0	143,6	99,0
Støjskærm	–	221,3	83,2
Facadeisolering	103,7	126,9	154,8
Drænasfalt og støjskærm	–	107,5	21,1
Drænasfalt og facadeisolering	29,3	62,2	61,1
Støjskærm og facadeisolering	–	90,4	39,8
Drænasfalt, støjskærm og facadeisolering	–	44,4	9,6

Tabel 2. Støjbelastningstal for alle kombinationer af støjbekæmpelse i de tre typetilfælde.

### Omkostninger

Sammenligningen af omkostninger for de tre virkemidler til støjbekæmpelse er baseret på nutidsværdi af anlægs- og driftsomkostninger for en 30-års periode med en kalkulationsrente på 7 procent p.a. 25-30 år er den forventede levetid for skærme og facadeisolering. Nederste lag af en tolags drænasfalt har en forventet levetid på 15 år, mens toplaget skal fornyes efter 7-8 år.

På veje med kantsten (bygade og ringvej) vil det af hensyn til kantstenshøjden ofte være nødvendigt at bygge vejkassen om, når der skal udlægges drænasfalt, idet drænasfaltbelægningen er betydeligt tykkere end en almindelig belægning med tæt asfaltbeton. Men da mange bygader er gamle og ikke er bygget til dagens trafikbelastning, vil der ofte være behov for en ombygning under alle omstændigheder. Det er derfor i dette eksempel besluttet kun at medtage forskellen i omkostninger mellem en vej belagt med drænasfalt og med almindelig tæt asfaltbeton. De anvendte priser er baseret på en vurdering af markedsprisen, [Bendtsen, Larsen og Greibe, 2002].

25 mm drænasfalt med 5/8-mm sten koster 40,25 kr./m<sup>2</sup>, 45 mm med 11/16-mm koster 72,45 kr./m<sup>2</sup>, og 30 mm AB8t, som er alternativet til drænasfalt, koster 42 kr./m<sup>2</sup>. Bæreevnen for den tykke drænasfaltbelægning er højere end for 30 mm tæt belægning, så bærelaget på vejen med drænasfalt kan være 30 mm tyndere, hvilket sparer 35 kr./m<sup>2</sup>. Når det øverste lag drænasfalt eller hele belægningen skal udskiftes, koster det 25 kr./m<sup>2</sup> at fjerne den gamle belægning.

Når drænasfalt benyttes på bygader, er det nødvendigt at lægge særlige drænrør langs kantstenen for at lede vand fra belægningen til brønde. Drænrør og lægning af disse koster ca. 200 kr./m. Denne omkostning udelades på motorvejen, hvor der ikke er kantsten og derfor ikke er behov for drænrør.

For at holde porerne i belægningen åbne på veje med lav hastighed er det nødvendigt at højtryksrense belægningen regelmæssigt til en anslået omkostning på 0,5 kr./m<sup>2</sup>. På bygaden skal der renses to gange årligt og på ringvejen, hvor farten er højere, én gang årligt. Samtidig bør drænrørene renses, hvilket koster ca. 10 kr./m. Vintervedligeholdelse af drænasfalt er ca. 50 procent dyrere end for tætte belægninger, fordi saltet drænes væk, så der skal saltes oftere. Vejdirektoratet regner med årlige variable udgifter på 24.000 kr./km, hvilket betyder en udgift ved drænasfalt på 36.000 kr./km.

Med ovenstående ekstraomkostninger sammenlignet med veje med tætte belægninger taget i betragtning, er udgifterne ved brug af drænasfalt beregnet som nutidsværdi for en 30-års periode 2,2 mill. kr. på bygaden, 2,7 mill. kr. på ringvejen og 3,6 mill. kr. på motorvejen.

Omkostningerne til støjisolering er gennemsnitligt 30.000 kr. pr. lejlighed og 49.500 kr. pr. hus. Vedligeholdelsesomkostninger tages ikke i betragtning, da de antages at være de samme for støjvinduer og vinduer med almindelige termoruder. Støjisolerende vinduer må også antages at varmeisolere bedre end almindelige termoruder, men dette ses der bort fra i denne sammenhæng. For de 665 lejligheder på bygaden er omkostningerne til støjisolering 20 mill. kr. De 399 lejligheder langs ringvejen koster 12 mill. kr. at isolere, og hver række á 87 huse langs motorvejen koster 4,3 mill. kr. at isolere, hvilket betyder en samlet udgift på 22 mill. kr.

En 2,5 m høj støjskærm af god kvalitet koster 1900 kr./m<sup>2</sup> og en 3 m høj skærm koster 1800 kr./m<sup>2</sup>. Vedligeholdelsesomkostningerne er ca. 16,7 kr./m/år. Bygge- og vedligeholdelsesomkostninger for 30 år beløber sig i nutidsværdi til 9,9 mill. kr. langs ringvejen og 12 mill. kr. langs motorvejen for støjskærme langs begge vejsider.

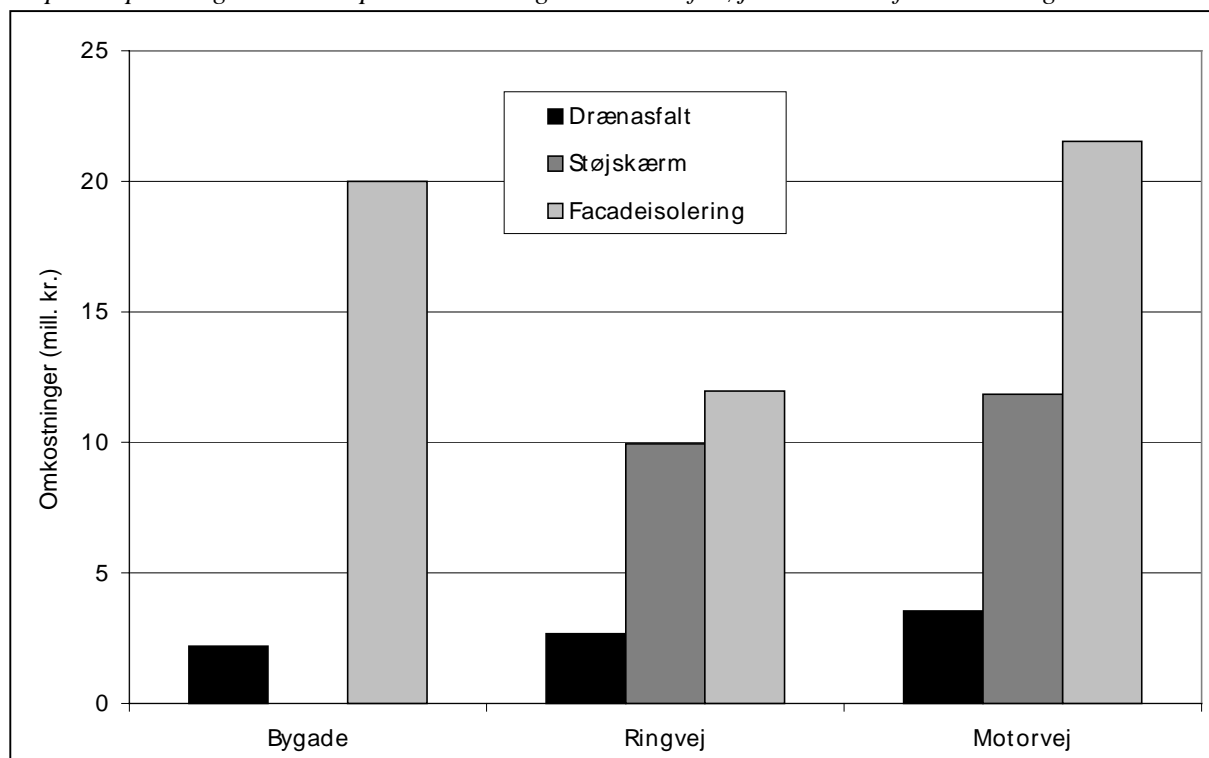
Omkostningerne til de forskellige virkemidler samt omkostningerne pr. dB dæmpning pr. bolig og omkostningerne pr. SBT-reduktion fremgår af tabel 3 og af figur 6 til 8. I alle tre eksempler er drænasfalt klart det mest omkostningseffektive virkemiddel, uanset om det relateres til dB-reduktion pr. bolig eller til reduceret SBT.

Støjreduktionen er ikke så stor med drænasfalt som med skærme eller facadeisolering, men reduktionen sker i udgangsniveauet fra vejen og virker således overalt i vejens omgivelser, mens det med skærme og især facadeisolering er begrænset, hvor de virker. Det fremgår af tabel 2 over støjbelastningstal for forskellige kombinationer af virkemidler, at støjniveauerne i alle tre typetilfælde er så høje, at ingen kombination af virkemidler helt løser problemerne, sådan at forstå at støjen ved boligene bringes under 55 dB, som er det niveau, under hvilket SBT er 0. Selv om de tre typetilfælde efter

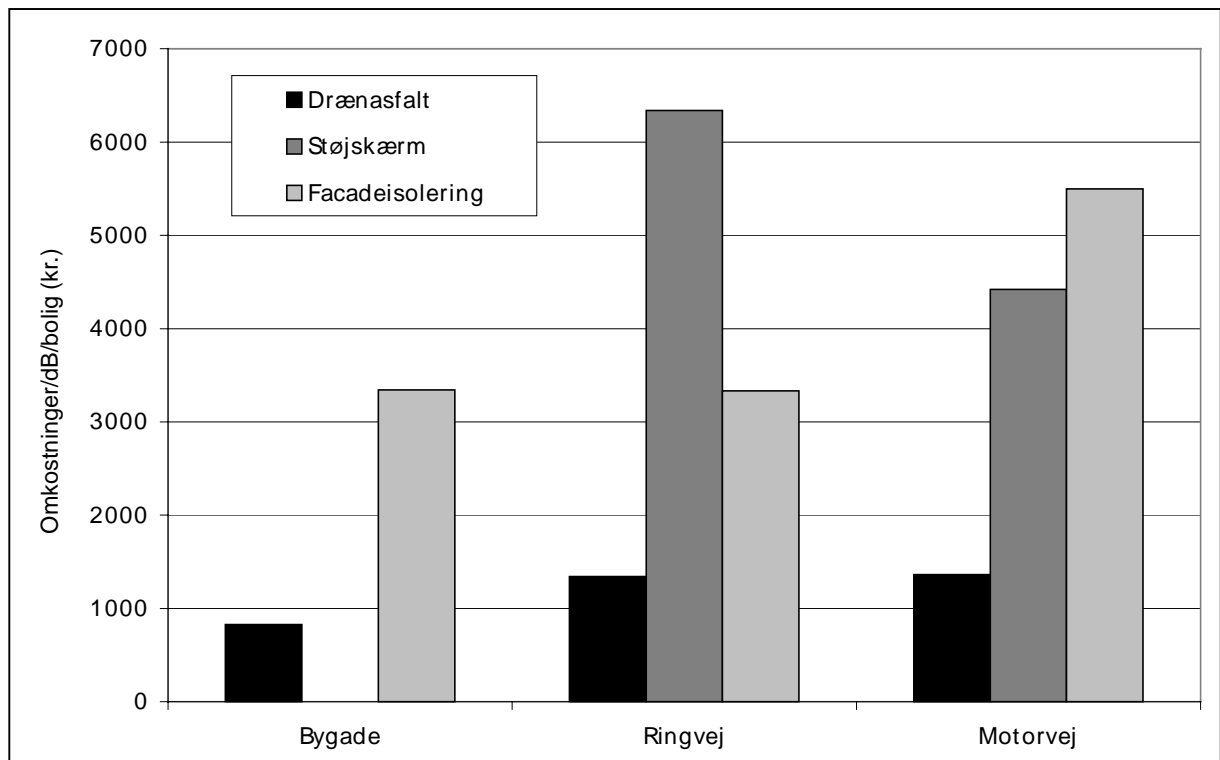
danske forhold er noget ekstreme i deres trafikmængder og dermed i støjbelastning, indikerer det, at spørgsmålet i mange tilfælde ikke er, hvilket virkemiddel man skal bruge, men hvilken kombination af virkemidler der skal til for at sikre acceptable støjniveauer. Som det fremgår af dosis-responskurven i figur 5, er der også ved niveauer under 55 dB en betydelig procentdel, som er generet af støj fra vejtrafik.

		Bygade	Ringvej	Motorvej
Drænasfalt	30-års omkostninger (kr.)	2,2 mill.	2,7 mill.	3,6 mill.
	dB-reduktion	4	5	6
	SBT-reduktion	85,7	153,3	179,5
	Omkostninger/dB/bolig (kr.)	828	1.343	1.362
	Omkostninger/SBT (kr.)	25.716	17.481	19.810
Støjskærm	30-års omkostninger (kr.)	–	9,9 mill.	12 mill.
	dB-reduktion	–	0-12 (middel 3,9)	1-12 (middel 6,2)
	SBT-reduktion	–	75,6	195,3
	Omkostninger/dB/bolig (kr.)	–	6.336	4.419
	Omkostninger/SBT (kr.)	–	131.625	60.646
Facadeisolering	30-års omkostninger (kr.)	20 mill.	12 mill.	22 mill.
	dB-reduktion	9	9	9
	SBT-reduktion	99,0	170,0	123,7
	Omkostninger/dB/bolig (kr.)	3.342	3.333	5.497
	Omkostninger/SBT (kr.)	202.118	70.423	173.964

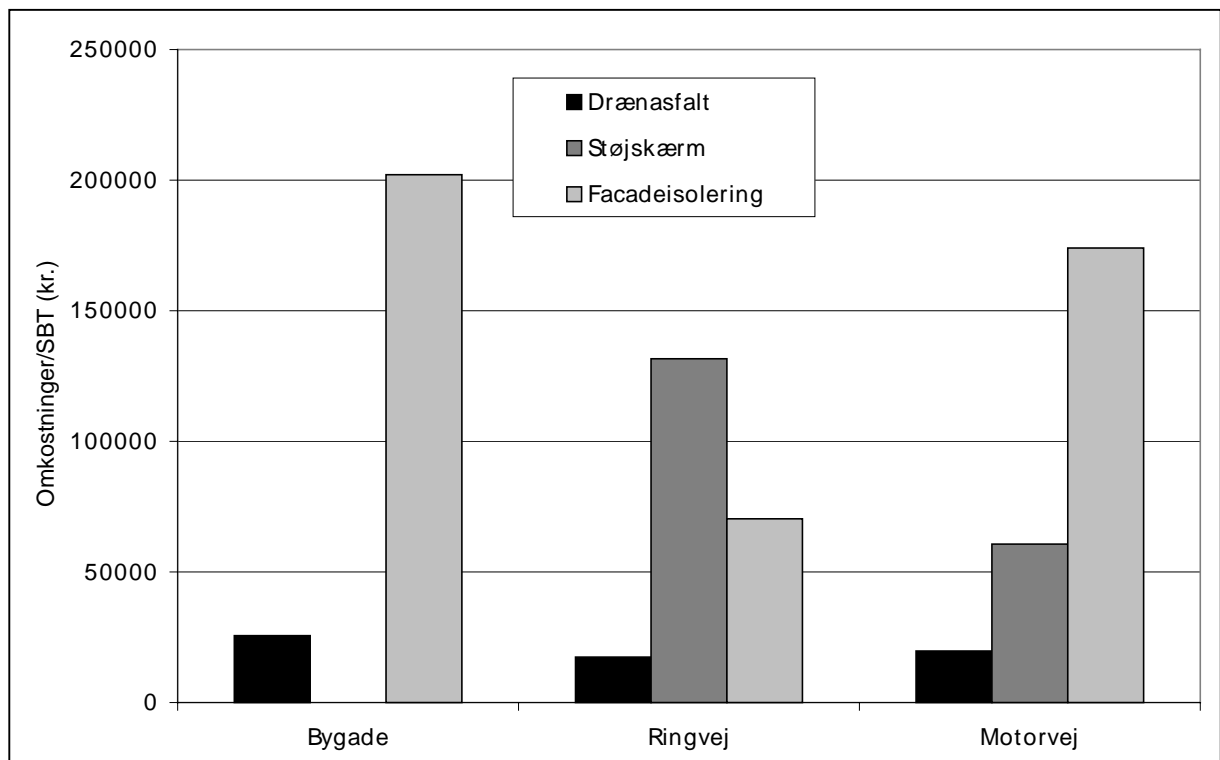
Tabel 3. Omkostninger (nutidsværdi) og effekt af de tre virkemidler til støjbekæmpelse. Omkostningerne pr. dB pr. bolig er baseret på aritmetiske gennemsnit af støjreduktionen for hver bolig.



Figur 6. Omkostninger (nutidsværdi) for en 30-års periode for de tre virkemidler til støjbekæmpelse.



Figur 7. Omkostninger (nutidsværdi) for en 30-års periode pr. reduceret dB pr. bolig for hver af de tre virkemidler til støjbekæmpelse.



Figur 8. Omkostninger (nutidsværdi) for en 30-års periode pr. reduceret SBT for hver af de tre virkemidler til støjbekæmpelse.

## Konklusioner

De økonomiske sammenligninger viser, at drænasfalt giver betydeligt større reduktioner i trafikstøjen – angivet i decibel såvel som i støjbelastningstal – for hver investeret krone, end der opnås ved såvel støjskærme som facadeisolering. Eksemplerne i sammenligningen antyder dog også, at det i mange tilfælde ikke er et spørgsmål om enten-eller men om både og ved valg af virkemiddel. Til fordel for valget af drænasfalt som middel til støjbekæmpelse taler også resultaterne af geneundersøgelsen, hvor den oplevede effekt modsvarede reduktionen i støjen, hvilket ikke altid er tilfældet ved støjskærme.

Det skal understreges, at forsøget med drænasfalt på Øster Søgade ikke er afsluttet. Asfalten har ligget i 3 år og mangler derfor fortsat på længere sigt at vise sin holdbarhed som middel til støjbekæmpelse, før den endeligt kan anbefales som et middel til bekæmpelse af trafikstøj på bygader. Ved højere hastigheder viser såvel resultaterne fra Viskinge som hollandske erfaringer, at der allerede nu er god grund til at tage drænasfalt med i overvejelserne, når der er behov for bekæmpelse af trafikstøj.

## Referencer

- Baughan, C.J., Chinn, L., Harris, G.J. og Stait, R. (2000): "Rural residents' response to reductions in traffic noise caused by resurfacing a section of motorway with porous asphalt", *Internoise 2000 Proceedings*, vol. 5, pp. 3321-3324, Nice.
- Bendtsen, Hans (1996): *Forsøg med støjreducerende vejbelægninger*, Vejdirektoratet, Statusrapport nr. 45, 1996, København.
- Bendtsen og Larsen (2001): *Opfattelse af støjskærme – et pilotstudie*, Danmarks TransportForskning, Notat nr. 2, 2001, Kgs. Lyngby.
- Bendtsen, Hans, Larsen, Lars Ellebjerg og Greibe, Poul (2002): *Udvikling af støjreducerende vejbelægninger til bygader – Statusrapport efter 3 års målinger*, Danmarks TransportForskning, Rapport, 2002, Kgs. Lyngby.
- Kolbenstvedt, Marika (1998): *Miljøkonsekvenser av hovedvegomlegging Oslo Øst*, Transportøkonomisk Institutt, TØI rapport 405/1998, Oslo.
- Larsen, Lars Ellebjerg, Bendtsen, Hans og Mikkelsen, Bo (2002): *Traffic noise annoyance – A survey in Aarhus, Odense and Randers*, Danmarks TransportForskning, Rapport, 2002, Kgs. Lyngby.
- Miljøstyrelsen og Trafikministeriet (1998): *Begrænsning af trafikstøj*, Miljøstyrelsen, Miljønyt nr. 30, 1998, København.
- Petersen, Torben Holm (2001): *Objektiv målemetode for impulsers tydelighed og forslag til bestemmelse af genetillæggets størrelse*, Miljøstyrelsens Referencelaboratorium for Støjmålinger, Orientering nr. 32, Kgs. Lyngby.
- Vejregeludvalget (1989): *Støjensyn ved nye vejanlæg*, Vejdirektoratet – Vejregeludvalget, København.