



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Støjdæmpende Autoværn

- Kan støjen dæmpes med et autoværn

Miljøprojekt 1625, 2014

Titel:

Støjdæmpende Autoværn

Redaktion:

Ingeniør Thomas Willum Jensen

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93283-37-4

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
Conclusion and summary.....	6
1. Støjdæmpende autoværn – beskrivelse	7
2. Projekt forløb.....	9

Bilag 1: Teknisk notat: Støjdæmpende Autoværn, kan støjen dæmpes med et autoværn

Forord

Støj fra vejtrafik vurderes af mange som det mest betydende støjproblem i det moderne samfund. Derfor forsøges der på flere måder at minimere generne fra vejtrafikstøj.

Ideen til det støjdæpende autoværn er udsprunget af princippet om, at fjerne støjen så tæt på støjilden som muligt. I modsætning til eksisterede støjvægge, der ofte er placeret flere meter fra støjilden.

Med baggrund i dette udviklede og patenterede Willumtech i 2008 et autoværn, der med enkle midler ændrer et standardautoværn til en lav støjskærm, der kan dæmpe en del af den støj, der udsendes fra vej og dæk (rullestøj).

Det Danske patent blev udstedt juni 2009 (Patent nr. PR 176759).

I patentbehandlingstiden blev der foretaget en teoretisk beregning af effekten af det støjdæpende autoværn ved hjælp af software programmet "Nord2000". Programmet er udviklet af firmaet Delta og er ifølge Miljøstyrelsen og Vejdirektoratet, den mest veldokumenterede støjbergningsmetode i branchen.

Denne simulerede beregning viste en støjdæmpning på 3-4 dB i en afstand fra 80-1000 meter fra vejen (hvilket støjdæmpningsmæssigt kan sammenlignes med støjdæpende asfalt). Beregningen er baseret på en 2-sporet motorvej med vigespor (6 vejbaner i alt) og en belastning på 40.000 biler i døgnet.

I forbindelse med godkendelsen af autoværnet har Vejdirektoratet bedt om dokumentation for den støjdæpende virkning, hvorfor Willumtech besluttede at udarbejde et konkret projekt, ved fremstilling af det patenterede støjdæpende autoværn, i en længde på 100 meter, der derefter kunne måles på.

For at kunne udføre og opstille det konkrete autoværn, blev der søgt om økonomisk hjælp fra Miljøstyrelsen via tilskudsordningen: "Tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi".

Formålet med målingerne var at undersøge, om den støjdæpende virkning af autoværnet på korte afstande (0-70 m) er i overensstemmelse med den teoretiske virkning. Hvis dette er tilfældet, vil virkningen også på større afstande svare til den beregnede virkning.

Projektet blev accepteret af Miljøstyrelsen og blev sat i gang i slutningen af 2009.

Konklusion og sammenfatning

DELTA har målt virkningen af Willumtech's støjdæpende autoværn og konkluderet, at det vil kunne dæmpe støjen fra vejtrafik med 1 – 4 dB. En støjreduktion på 3 dB svarer til en halvering af trafikken.

Konklusionen er, at der i projektet og målingerne vises god overensstemmelse mellem det målte og den beregnede støjdæpende effekt af autoværnet. Det betyder, at autoværnet fremover kan være et godt supplement til andre foranstaltninger mod vejtrafikstøj som fx støjsvag asfalt og støjsvage dæk.

Støjen dæmpes med op til 3,5 dB i afstanden ca. 200 m fra vejmidten og at dæmpningen på større afstande er ca. 3 dB. Dæmpningen på 3 dB er også gældende op til 2 km fra vejen.

Da autoværnet har samme dimensioner som et konventionelt autoværn, vil både den visuelle og økonomiske ændring være lille i forbindelse med en udskiftning til det støjdæpende autoværn.

Konklusionen er baseret på en række praktiske målinger, der blev fortaget i sommeren 2011 på Værløse flyvestation.

I dagens priser (2011) vil autoværnene, når de masseproduceres, kunne leveres til 800 – 1000 kr. pr. løbende meter inklusiv montage og ex. vedligeholdelse.

Vejdirektoratet oplyser, at et 4 m højt støjværn i gennemsnit koster 14.000 kr. pr. løbende meter alt inklusive.

Metode, målinger, beregninger og resultater bliver uddybet i bilag 1:

TEK' notat. Støjdæpende autoværn.

Udarbejdet af Claus Backalarz: Senior Consultant, Test & Consultancy, Delta.

Conclusion and summary

The consulting company DELTA has in this report measured and outlined the impact of Willumsen Tech's noise-reducing guardrail. It is concluded in the report, that the noise reducing guardrail can reduce the noise from traffic on roads by 1-4 dB. A reduction of the noise by 3 dB is equal to half the noise from traffic.

The report shows a good relation between the measured and the calculated noise-reducing effect of the guardrail. This means that the guardrail in the future could be a useful solution and be a supplement to other solutions against noise from traffic, such as low noise asphalt and low noise tires.

Noise will be reduced by up to 3.5 dB at a distance for about 200 m from the center of the road and at longer distances approximately 3 dB. The attenuation of 3 dB is also valid for up to 2 km from the road.

While the guardrail has the same dimensions as a conventional guardrail, the visual dimensions will not be affected. Also the economic consequences will be relatively small in relation to a replacement. In today's prices (2011), the guardrails - when they are mass produced - could be delivered to 800-1000 kr. per. linear meters including assembly and ex. maintenance. Conventional guardrail in average cost 14,000 kr. Per. meter total

1. Støjdæmpende autoværn – beskrivelse

Willumtechs støjdæmpende autoværn benytter de såkaldte Sigma-stolper, som er de mest gængse i forbindelse med almindelige autoværn langs motor- og landeveje i hele Europa. Det betyder, at stolperne normalt kan genbruges ved omdannelse af almindelige autoværn til støjdæmpende autoværn. Det samme gælder de vandrette afstandsstykker.

Det støjdæmpende autoværn er et patenteret system, der har to funktioner:

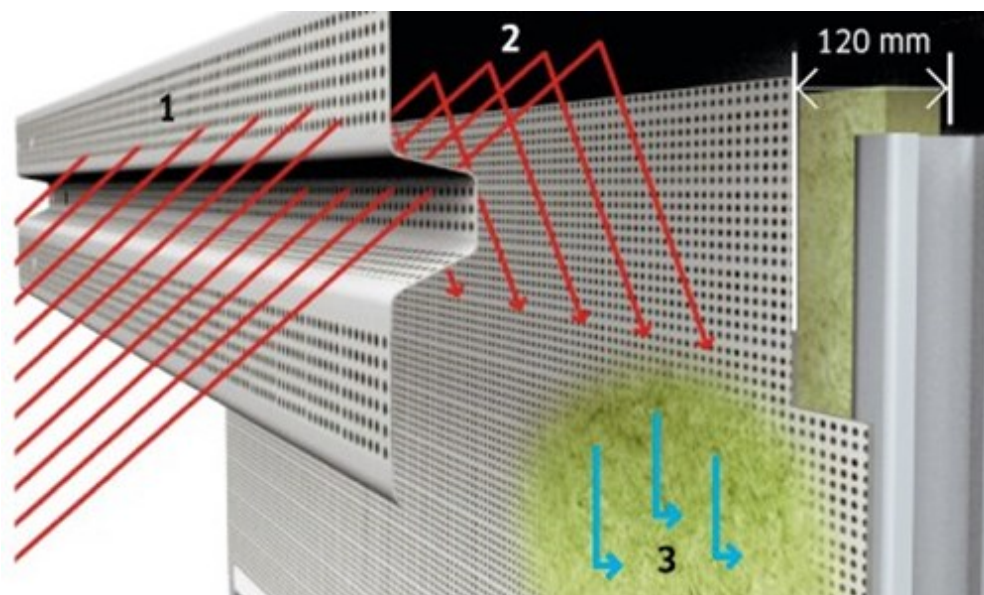
1. Autoværn.
2. Støjdæmpning.

Opbygningen af det støjdæmpende autoværn.

1. Centervæg af støj absorberende plade (Sandwich) h=800mm.
2. En autoværnsbjælke af perforeret plade som støjen kan forcere.
3. En top plade som forbinder autoværnsbjælken med den støj absorberende sandwichplade.

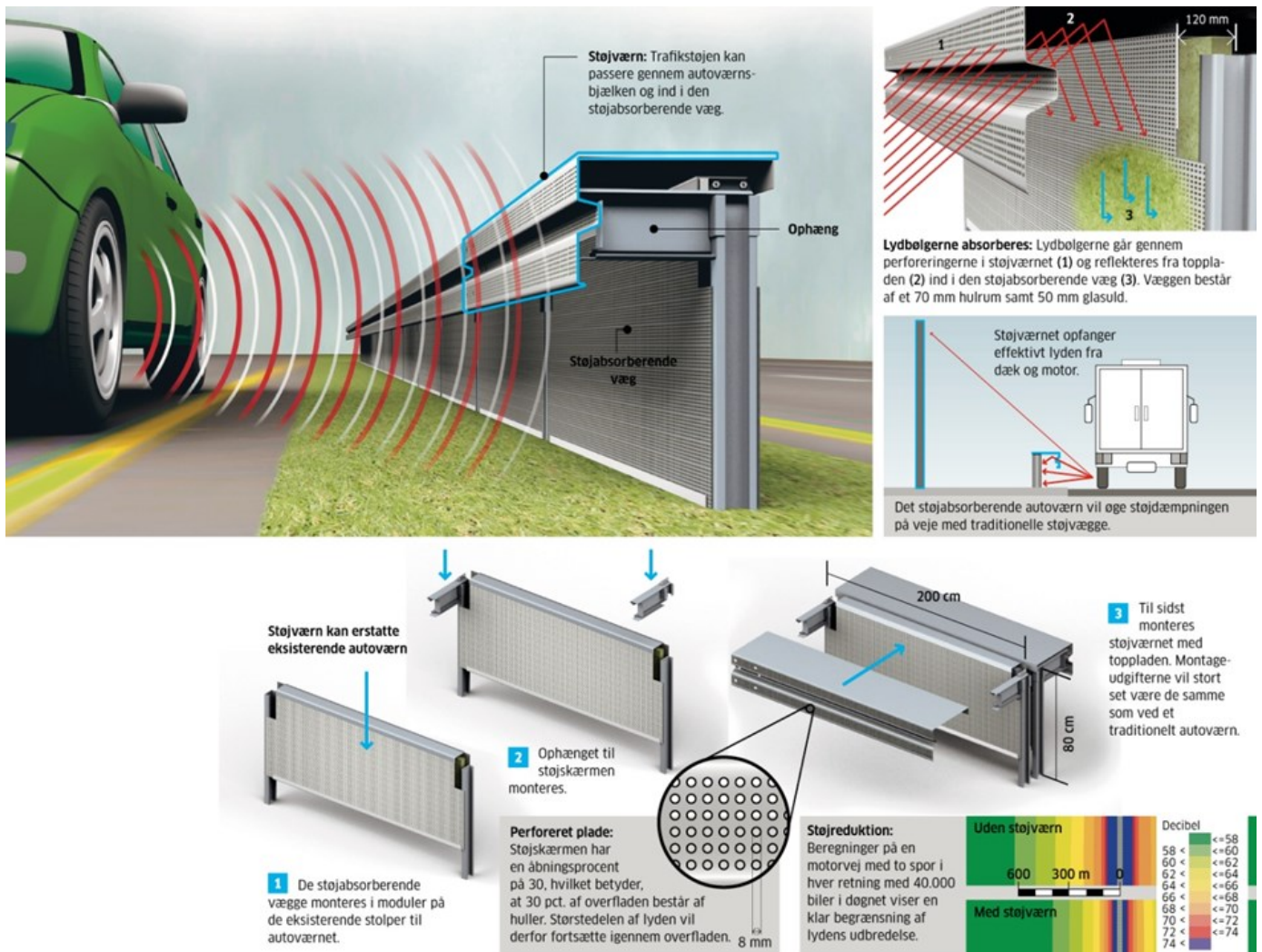
Denne konstruktion kan populært beskrives som et kombineret autoværn og støjfælde. (se figur 1.)

Figur 1. - Illustration fra fagbladet Ingeniøren 3. september 2010



Lydbølgerne absorberes: Lydbølgerne går gennem perforeringerne i støjværet (1) og reflekteres fra toppladen (2) ind i den støjabsorberende væg (3). Væggen består af et 70 mm hulrum samt 50 mm glasuld.

Figur 2. - Illustration fra fagbladet Ingeniøren 3. september 2010



Det støjdempende autoværn kan også designenes som et midter autoværn – dette er dog ikke en del af projektet.

Den væsentligste forskel fra et traditionelt stålautoværn er, at der er monteret en lodret kassette mellem stolperne, som hindrer støjen i at udbredes under værnet. Kassetten er perforeret og er forsynet med et 50 mm tykt lydabsorberende materiale af fabrikat Ecophon, hvilket også kan være af andre fabrikater.

2. Projekt forløb

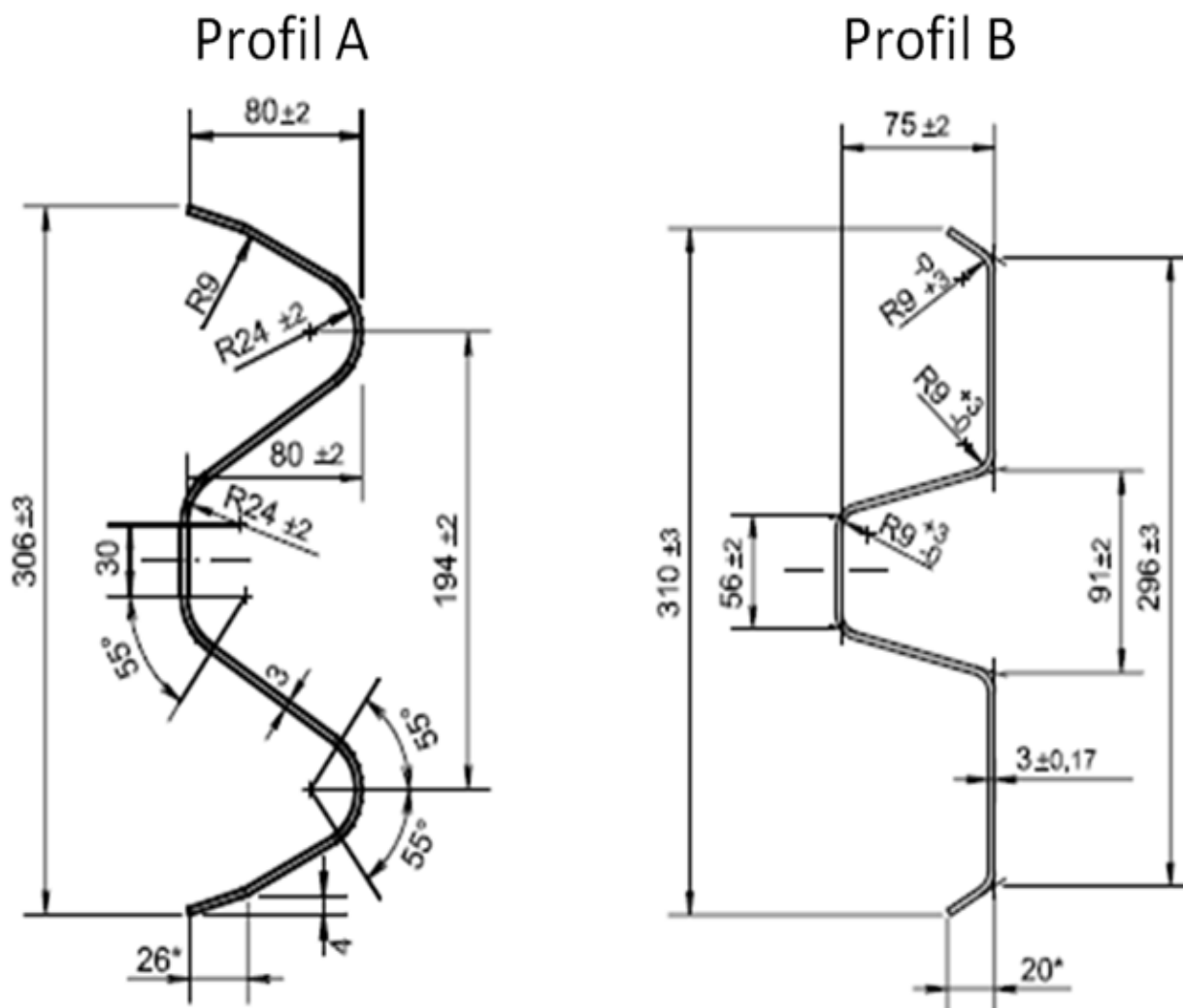
2.1. Konstruktion af autoværnsbjælke

Som udgangspunkt skulle det støjdæpende autoværn komplimentere så mange komponenter i de eksisterende autoværn som muligt.

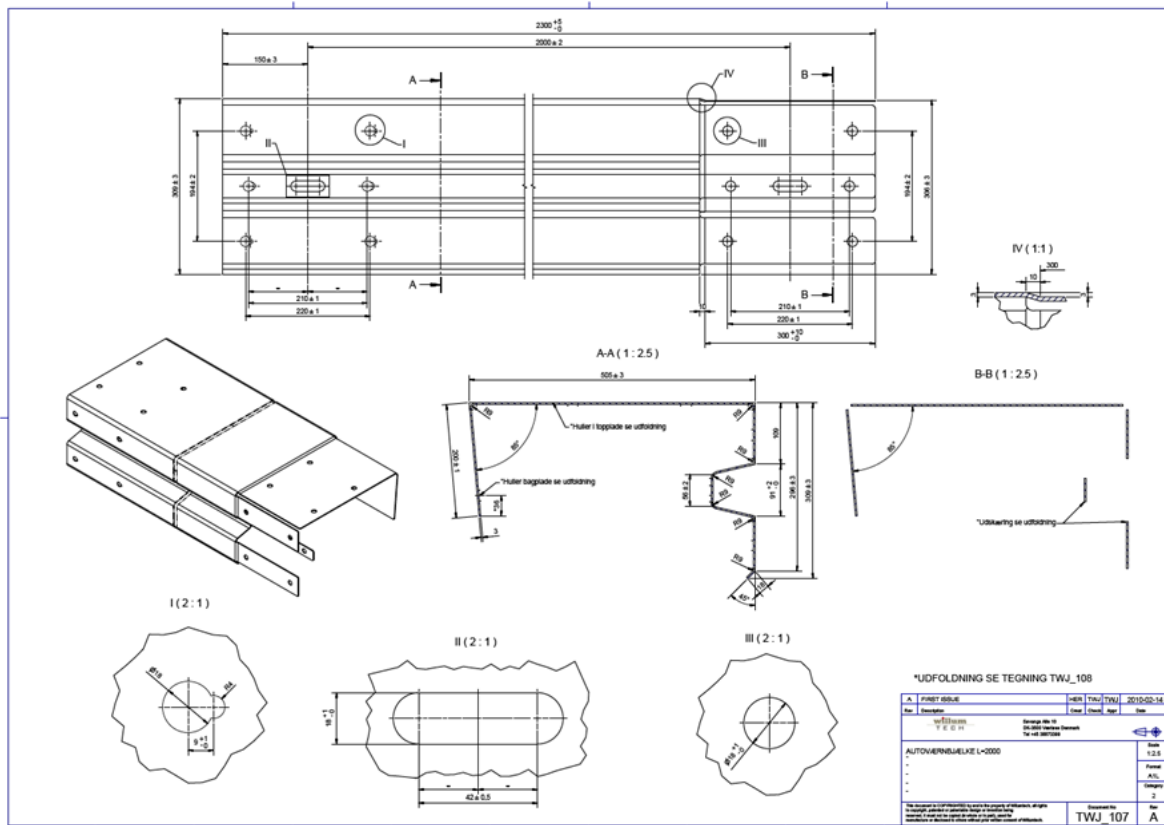
Det støjdæpende autoværn blev derfor opbygget omkring de i dag anvendte Sigma stolper og standard afstandsstykker.

Af de 2 mest anvendte europæiske autoværn profiler – Profil A og Profil B – blev Profil B valgt da det er den foretrukket profil i Danmark, se figur 3.

Figur 3. Autoværn profil A og B



Figur 4. Først blev autoværns bjælken designet



Figur 5. 3 stk. prototyper blev fremstillet og prøvemonteret hos Dansk Autoværn i Bjæverskov



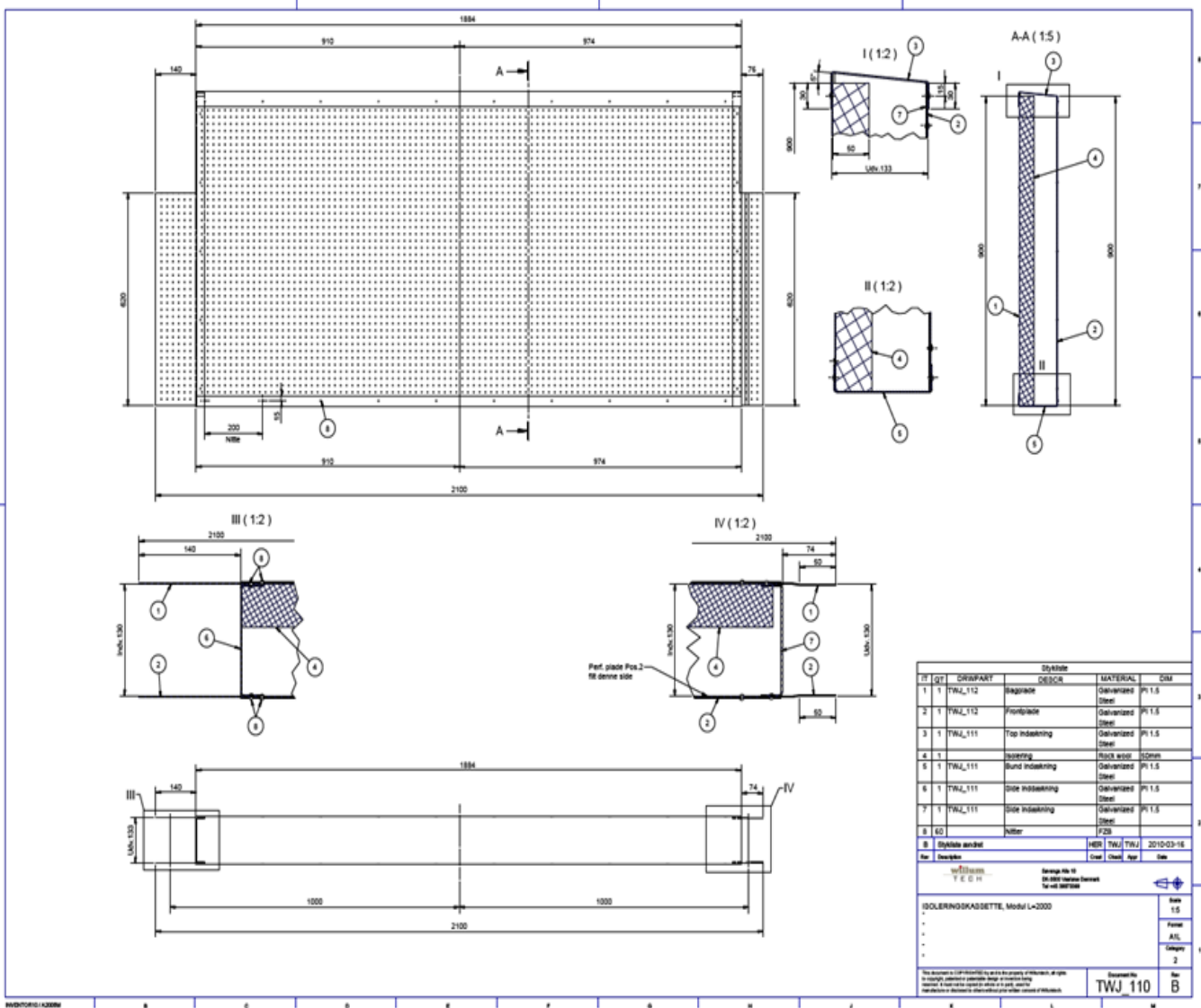
Prøve Montagen resulterede i et par småjusteringer i designet, prima omkring samlingerne af profilerne.

2.2. Konstruktion af støjdæmpende sandwich paneler

De støjdæmpende sandwichpaneler er opbygget som en lukket kassette, (se figur 6) med en perforeret plade, som trafikstøjen kan forcere. På indersiden af den perforerede plade er der limet en speciel filt, hvis formål er at afvise snavs og vand, og derudover skulle filteren – ifølge den tyske leverandør nedbryd støjbølgerne i mindre bølger som nemmere, kan absorberes. Derefter er der en 50 mm støjabsorbere fibermåtte og til slut en bagplade, som fibermåtten er fastgjort til.

Materialerne fremgår af vedhæftet - TEK´ notat Støjdæmpende autoværn (bilag 1).

Figur 6. Støjdæmpende sandwichpaneler



Med baggrund i det endelige tegningsæt, blev der fremstillet 50 stk. autoværnsbjælker af 2 meter samt 50 stk. sandwich-paneler af 2 meter. I alt 100 meter støjdæmpende autoværn.

Autoværnsbjælkerne blev fremstillet af IB ANDRESEN INDUSTRI på Fyn. Sandwich-panelerne blev fremstillet af RMIG i Ballerup.

2.3. Test opstilling på Roskildevejen ved Solrød

I samarbejde med Vejdirektoratet og Delta blev Roskildevejen ved Solrød valgt som teststed. Stedet blev valgt ud fra følgende kriterier:

Deltas specifikation for målestrækning.

- Vind på tværs af autoværn.
 - Vindhastighed max 10 meter/sek.
 - Overskyet (ikke høj solskin).
1. Roskildevejen har en syd til nord retning dvs. at der på østsiden af vejen ville være en god mulighed for støjmåling, da vinden i det danske efterår normalt kommer fra vest.
 2. Roskildevejen har en hastighedsbegrænsning på 80 km/h samt en tæt myldretidstrafik morgen og aften.
 3. Marken på østsiden af vejen var flad og velegnet til målingerne.

Se fotos af opstillingen nedenfor.



Foto af Roskildevejen taget fra nord mod syd



Mark på østsiden af Roskildevejen



Roskildevejen ved Solrød måleområde

En prøvestrækning på 100 meter installeret/monteret i august måned 2010.

Efter et atypisk dansk vejr med vind fra øst blev det støjdæmpende autoværn afmonteret uden, at der blev foretaget nogle målinger i december 2010 da sneen kom. (se fotos)



Efter dette opslidende forløb på Roskildevejen, blev det vedtaget at flytte testområdet til Værløse flyvestation, hvor det endnu ikke godkendte autoværn, kunne stå uden yderligere dispensation fra vejdirektorat og politi.



Værlose Flyvestation Juli 2011

I samarbejde med Delta og Vejdirektoratet vedtages det at montere autoværnet ved position D, da forholdene her var bedst, med hensyn til støjmålinger plus det faktum, at asfalten her svarer til type DAC11, som en normal vej. Asfaltens beskaffenhed er dog ikke afgørende, da der er tale om en sammenlignende måling.

100 m støjreducerende autoværn var opsat på den nordlige side af rullebanen 0,5 m fra asfaltbelægningen. En kørevej var markeret på rullebanen med centerlinjen placeret 2,3 m fra den nærmeste del af autoværnet.

Målingerne blev foretaget ved den 100 m lange strækning med autoværn sammen med 100 m referencetrækning uden autoværn.

Bag ved autoværnet var der placeret mikrofoner i afstandene 2,5 m, 25 m og 65,8 m fra midten af ruten. Parallelt med den række, var der placeret endnu en række mikrofoner ud for en vejstrækning uden autoværn til brug for sammenligning af støjbidraget fra strækningen med og uden autoværn.

Målingerne blev gennemført den 23. og 25. juli 2011, i for målingerne, tæt på det perfekte vejrforhold, og af en 8-spors harddiskoptager.

Se fotos.





DELTA har målt virkningen af Willumtech's støjdæmpende autoværn, og konkluderet at det vil kunne dæmpe støjen fra vejtrafik med 1 – 4 dB. En støjreduktion på 3 dB svarer til en halvering af trafikken.

Konklusionen er, at der i projektet og målingerne vises god overensstemmelse mellem det målte og den beregnede støjdæmpende effekt af autoværnet. Det betyder, at autoværnet fremover kan være et godt supplement til andre foranstaltninger mod vejtrafikstøj som fx støjsvag asfalt og støjsvage dæk.

Støjen dæmpes med op til 3,5 dB i afstanden ca. 200 m fra vejmidten og at dæmpningen på større afstande er ca. 3 dB. Dæmpningen på 3 dB er også gældende op til 2 km fra vejen.

Da autoværnet har samme dimensioner som et konventionelt autoværn, vil både den visuelle og økonomiske ændring være lille i forbindelse med en udskiftning til det støjdæmpende autoværn.

Selve testen og konklusion på målingerne er beskrevet i bilaget TEK' notat støjdæmpende autoværn (bilag 1).

Støjdæmpende autoværn

Kan støjen fra vejtrafik dæmpes med et autoværn?

Claus Backalarz



Indhold

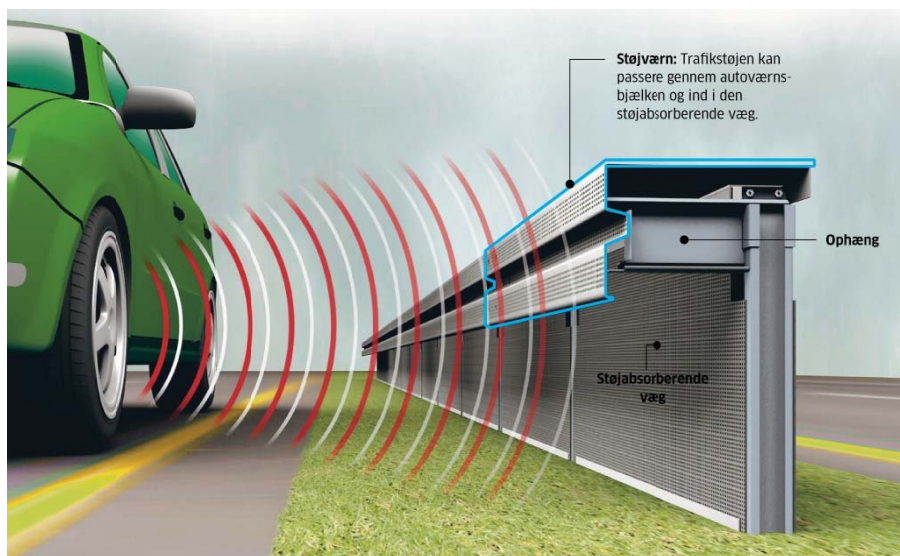
Resume.....	3
Baggrund	4
Metode.....	5
Autoværnet	6
Målingerne på Flyvestation Værløse	8
Beregninger med Nord2000.....	11
Resultater af målingerne.....	12
Konklusion vedrørende målingerne kontra Nord2000	14
Virkning af autoværnene langs veje.....	15



Yderligere eksemplarer af rapporten kan rekvireres
hos DELTA på mail delta@delta.dk

Resume

DELTA har målt virkningen af et nyudviklet støj dæmpende autoværn, der vil kunne dæmpe støjen fra vejtrafik med 1-4 dB.



DELTA har i sommeren 2011 foretaget målinger på et autoværn udviklet af Willumtech. Formålet med målingerne var at undersøge, om den støj dæmpende virkning af autoværnet på korte afstande (0-70 m) er i overensstemmelse med den teoretiske virkning. Hvis dette er tilfældet, vil virkningen også på større afstande svare til den beregnede virkning.

Til brug for sammenligningen er den veldokumenterede støjberegningsmetode Nord2000 benyttet. Målingerne viser god overensstemmelse mellem den målte og beregnede støj dæmpende effekt af autoværnet. Det betyder, at autoværnene fremover kan være et godt supplement til

andre foranstaltninger mod vejtrafikstøj som fx støjsvag asfalt og støjsvage dæk. Da autoværnet har samme dimensioner som et konventionelt autoværn, vil den visuelle ændring være lille i forbindelse med en udskiftning til det støj dæmpende autoværn.



Claus Backalarz,
seniorspecialist
DELTA

Baggrund

Støj fra vejtrafik vurderes af mange som det mest betydende støjproblem i det moderne samfund. Derfor forsøges det på flere måder at minimere generne fra vejtrafikstøjen bl.a. ved udvikling af støjsvag asfalt, støjsvage dæk, opsætning af støjværn langs vejene og udvikling af specielle støjsolerende vinduer, der samtidig tillader ventilation.

Willumtech har udviklet og patenteret et autoværn, der med enkle midler ændrer et standardautoværn til en lav støjskærm, der kan dæmpe en del af den støj, der udsendes fra vej og dæk (rullestøj). I forbindelse med godkendelsen af autoværnet har Vejdirektoratet bedt om dokumentation for den støjdæmpende virkning.

Hundrede meter af autoværnet blev i første omgang opsat ved Hovedvej A6 nær Solrød, men på grund af mange praktiske besværligheder måtte målinger på denne prøvestrækning opgives.

Figur 1
Prøvestrækningen i Værløse.



I samarbejde med Vejdirektoratet og Willumtech blev det derfor besluttet at foretage målingerne på en rullebane på den nedlagte Flyvestation Værløse ca. 20 km vest for København (Figur 1).

Målepositionernes beliggenhed i forhold til autoværnet kunne i store træk overføres fra den oprindelige prøvestrækning.

På grund af den manglende trafik på flyvestationens område blev der i stedet for målinger på en konstant strøm af biler foretaget målinger på enkeltpassager af biler.

Måling af enkeltpassager har den fordel, at hastigheden af bilerne kendes med god nøjagtighed, og at der kan foretages direkte sammenligninger af støjbidraget for de enkelte bilpassager med og uden autoværnet. Desuden kan passagerne analyseres på en måde, så der er sikkerhed for, at bilen har været skærmet af autoværnet i hele analysetidsrummet. Ulempen ved målinger på "flydende" trafik ved en vej er, at der udover bidraget fra den skærmede 100 m-strækning også vil måles et ikke-ubetydeligt bidrag fra vejstrækningerne, der ikke er skærmet af autoværnet. Ulempen ved forbikørselsmålinger er, at analysearbejdet er ganske betydeligt, idet hver enkel bilpassage skal klippes ud af optagelserne, og de deraf følgende 6 klip (én for hver mikrofonposition) skal analyseres.

Metode

Formålet med målingerne var at undersøge, om den støjdæmpende virkning af autoværnet svarer til den virkning man kan beregne med Nord2000, som er den metode, der i Danmark benyttes til at beregne støj fra vejtrafik. Rationalet er, at hvis der målt på korte afstande fra autoværnet er god overensstemmelse mellem målte og beregnede støjbidrag vil der også på større afstande være god overensstemmelse mellem målte og beregnede værdier.

I praksis er det meget vanskeligt på større afstande at måle virkningen af de forholdsvis små ændringer i støjbidraget, som opsætning af en lav støjskærm vil medføre, typisk er ubestemtheden på målingerne i samme størrelsesorden, som den forventede reduktion i støjbidraget, dvs. 1-4 dB. Ved at måle tæt på støjkilden reducerer man meteorologiens indflydelse på resultaterne og dermed den største usikkerhedsfaktor. Ved ydermere at foretage næsten samtidige målinger af passager af strækninger med og uden autoværn under næsten identiske støjdbredelsesforhold (bortset fra autoværnet) opnår man en yderligere reduktion af ubestemtheden.

På dette grundlag blev det besluttet at foretage samtidige målinger ved en 100 m lang strækning med det støjdæmpende autoværn samt en 100 m referencetrækning uden autoværn. Kravet til meteorologien var, at det skulle være medvind inden for $\pm 45^\circ$ fra vej til mikrofoner, og at det skulle være overskyet, hvorved optimal støjdbredelse opnås. Ligeledes skulle terrænforholdene mellem vej og målemikrofoner være så godt som identiske på de to strækninger.



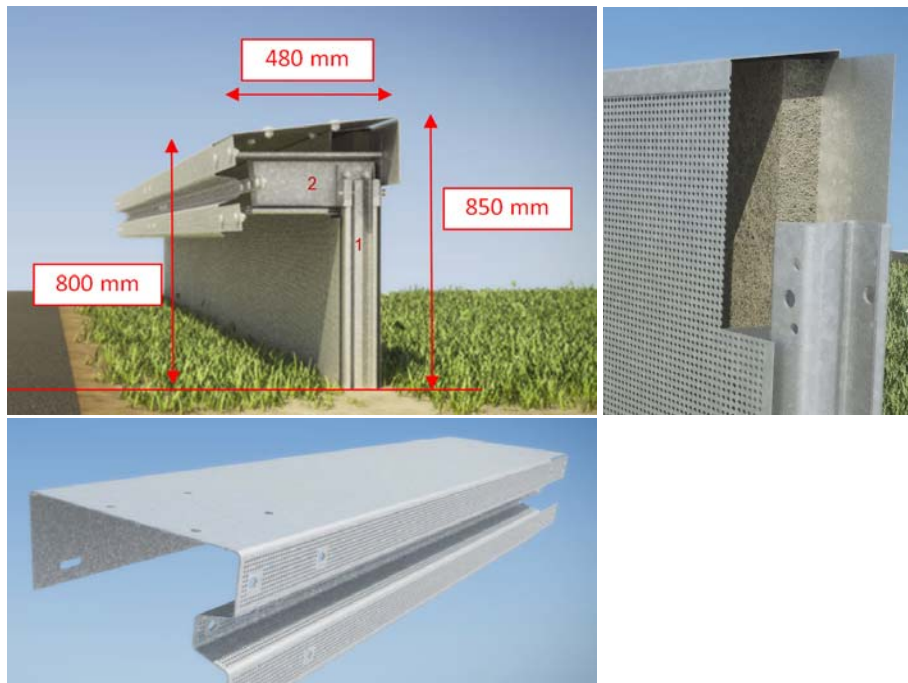
Læs mere om Nord2000 på
madebydelta.com/nord2000

Autoværnet

Opbygning

Willumtechs støjdæmpende autoværn benytter de såkaldte Sigma-stolper, som er de mest gængse i forbindelse med almindelige autoværn langs motor- og landeveje i hele Europa. Det betyder, at stolperne normalt kan genbruges ved omdannelse af almindelige autoværn til støjdæmpende autoværn. Det samme gælder de vandrette afstandsstykker.

Figur 2
Grafik af Willumtechs autoværn.
Til venstre ses alle autoværnets komponenter, herunder stolpen (1) og det vandrette afstandsstykke (2).
Til højre er den lodrette, perforerede kassette vist og nederst er toppladen vist.



I Figur 2 er vist en grafisk fremstilling af autoværnets opbygning. Den væsentligste forskel fra et traditionelt stålautoværn er, at der er monteret en lodret kassette mellem stolperne, som hindrer støjen i at udbredes under værnet. Kassetten er perforeret og er forsynet med et 50 mm tykt lydabsorberende materiale af fabrikat Ecophon. I kassetten, påklæbet den perforerede plade, sidder en filt af typen Evolon fremstillet af virksomheden Freudenberg. Filten beskytter isoleringsmaterialet mod vand, smuds og vejsalt og giver mulighed for, at den perforerede side kan højtrykspules som en del af vedligeholdelsen. Der er ikke foretaget målinger eller optimering af konstruktionens lydabsorberende egenskaber, men konstruktionen er velkendt og benyttet i nogenlunde samme opbygning i støjindkapslinger, støjværn m.m.

Princip

Støjskærme virker ved, at lydets udbredelse gennem luften hindres. Jo lavere støjkilden er placeret, og jo højere støjskærmen er, desto mere dæmpes støjen. En vis del af lydenergien vil slippe over skærmens kant (diffraktion), og meteorologien vil påvirke støjudbredelsen. Generelt udbredes støjen bedst i medvind, og når det er overskyet (inversion). Bor man i en vis afstand fra en større vej, fx 1-2 km, vil man opleve store forskelle i støjbidraget afhængigt af, om der er medvind og inversion eller ej.

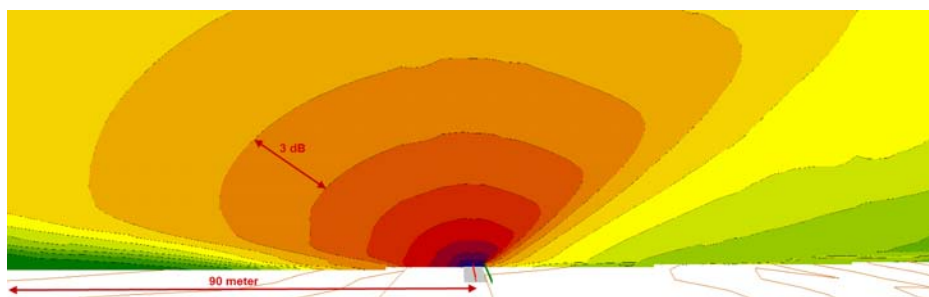
Når biler kører med hastigheder over ca. 25 km/t, er dækstøjen dominerende. Motorstøj og støj genereret af fartvind er her mindre betydende. Det betyder, at på almindelige veje og specielt på

motorveje udsendes hovedparten af støjen ganske lavt over vejoverfladen, hvilket øger effekten af en støjskærm i vejsiden.

Støjskærme langs veje er normalt lange, og opholder man sig i kort afstand fra en sådan skærm, vil støjbidraget, der slipper rundt om de lodrette kanter, være ubetydeligt. I større afstande kan der forekomme betydelige støjbidrag fra støjen, der slipper uden om de lodrette kanter. En støjskærm virker både skærmende og reflekterende. Befinder man sig på samme side af skærmen som støjilden, vil man være udsat for en refleksion og dermed udsættes for mere støj, end hvis skærmen ikke var opsat. Det kan man til en vis grad modvirke ved at forsyne skærmen med absorberende materiale ind mod støjilden. Typisk vil man beskytte materialet, der oftest er et sten- eller glasuldsprodukt, med en perforeret plade.

Man kan visualisere en skærms virkning ved støjkonturkurver. I Figur 3 er vist et lodret snit af den beregnede støjuddbredelse fra en vej, der i højre side er forsynet med en 80 cm høj ikke-reflekterende skærm. Man ser, at i en given afstand fra vejen vil støjbidraget være større i venstre side end i højre side. Det ses også, at støjskærmens virkning aftager med afstanden.

Figur 3
Illustration af støjens udbredelse med og uden en 80 cm høj skærm svarende til et støj dæmpende autoværn. Der er 3 dB mellem støjkonturlinjerne.



Forventet virkning

Den samlede højde af det testede autoværn er 80 cm, hvilket er lavt sammenlignet med de gængse støjskærme, der opsættes langs vejnettet. Typiske højder for sådanne er 3-4 m. Virkningen af det støj dæmpende autoværn er derfor betydelig mindre end af egentlige støjskærme (typisk 5-10 dB), men der er en forventet virkning på 1-4 dB afhængig af afstanden fra vejen. Til sammenligning vil man typisk opnå en reduktion på ca. 3 dB af den udsendte støj fra en motorvej ved overgang fra almindelig asfalt til støjreducerende asfalt.

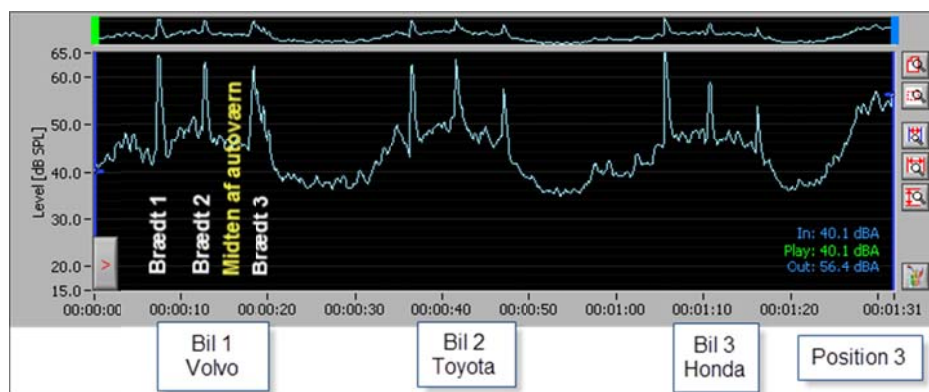
En støjreduktion på 3 dB svarer til en halvering af trafikken. Som håndregel vil de fleste mennesker opfatte en reduktion på 10 dB som en halvering af støjen, og 3 dB vil af de fleste kunne registreres. En ændring på 1 dB vil normalt ikke kunne opfattes.

Økonomi

Willumtech oplyser, at de støj dæmpende autoværn koster 80-100 % ekstra i forhold til almindelige autoværn. I dagens priser (2011) vil autoværnene, når de masseproduceres, kunne leveres til 800-1000 kr. pr. løbende meter eksklusive montage. Der er ikke undersøgt, hvad vedligeholdelse i form af fx en årlig spuling af hulpladerne koster. Vejdirektoratet oplyser, at et 4 m højt støjværn i gennemsnit koster 14.000 kr. pr. løbende meter alt inklusive.

Alle 6 målemikrofoner var placeret på et areal med græs. Arealet var stort set fladt med en mindre stigning mod nordøst i forhold til rullebanen.

For at kunne identificere, hvornår bilerne kørte ind og ud af teststrækningerne, var der på rullebanen fastskruet 3 brædder henholdsvis 10 m før Strækning 1 (uden autoværn), 10 m før Strækning 2 og 10 m efter Strækning 2. Når bilerne passerede brædderne lød der en karakteristisk lyd, som sidenhen blev benyttet i forbindelse med start og stop af analyserne.



Tre biler kørte en efter en forbi prøvestrækningerne under målingerne. Bilerne var af typen en Volvo V50 stationcar, en Toyota RAV4 og en Honda HR-V stationcar. Alle tre biler var velholdte, monteret med sommerdæk og havde ingen hørbare defekter i motor eller udstødningssystem. Belægningen var tør under alle de benyttede målinger.

Mens en bil havde passeret teststrækningerne var de øvrige to parkeret med motoren i tomgang mere end 200 m fra teststrækningerne for at undgå betydende baggrundsstøj fra disse.

Hver måling (svarende til én optagelse) bestod af forbikørsler med bilerne i rækkefølgen Volvo - Toyota - Honda, og en sådan rækkefølge blev benævnt en "runde", se Figur 6. Førerne af bilerne var instrueret i at køre 80 km/t gennem Strækning 1 og Strækning 2. Hastigheden blev i bilerne aflæst på en GPS-enhed.

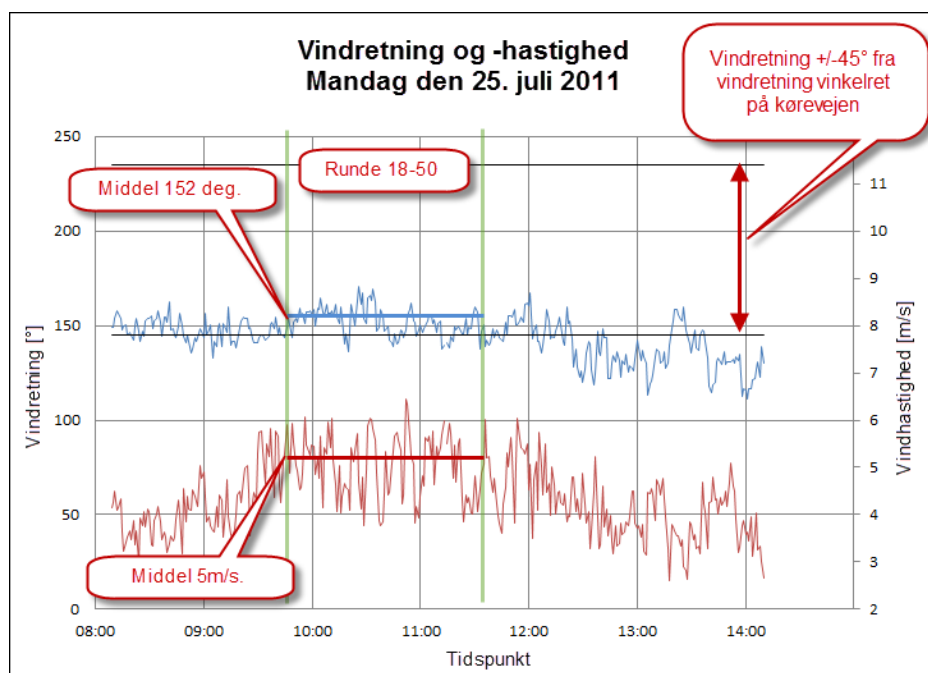
Alle forbikørsler blev optaget på en 8-spors harddiskrecorder. Mikrofon 1 til 6 (placeret i Position 1 til 6) blev optaget på spor 1 til 6, spor 7 optog fra en mikrofon placeret i en parabol (disse målinger er ikke nærmere optalt i dette TEK'notat), og på spor 8 blev der optaget kommentarer om hver passage (bilnavn, baggrundsstøj m.m.). Forbikørslerne blev optaget lineært men blev i forbindelse med analyserne A-vægtet. Alle mikrofonerne var forsynet med vindhætter og forbundet til harddiskrecorderen med 100 m koax-kabler. Før og efter målingerne blev et kalibreringssignal fra mikrofonerne indspillet på alle 6 spor.

Meteorologi under målingerne

Vindhastighed og -retning blev målt 10 m over terræn (vindmålerens placering er vist på Figur 5). Vinddata og temperatur blev logget som 1 minuts middelværdier, og vinddata er vist i Figur 7. Under målingerne var temperaturen 7,5-8,5 °C. Det var 8/8 skyet og tørt (ingen regn). Asfalten var tør under målingerne.

Middelvindhastigheden under de målinger, der ligger til grund for resultaterne omtalt i dette TEK-notat, var 5 m/s, og middelvindretningen var 152°. Vindretningen vinkelret på kørevejen var 190°. Vindretningen var som ønsket inden for $\pm 45^\circ$ i forhold til den ideelle retning, som er fra syd og vinkelret på kørebanen. Vindhastigheden var lige i overkanten og gav periodevis anledning til vindstøj i mikrofonerne.

Figur 7
Vindhastighed og -retning under målingerne.



Analyse af målingerne

Optagelser af bilerne under passage i Runde 18 til 50 (optaget 25. juli 2011 kl. 9:59 til 11:36) blev analyseret med NoiseLAB-version 3.0.17 og NoiseLAB Batch processor-version 3.1.0. Den gennemsnitlige hastighed under hvert gennemløb blev beregnet på grundlag af impulssignalerne, når dækkene ramte brædderne for enden af kørestrækningerne. Forbikørsler, hvor hastigheden overskred 87 km/t, blev kasseret. Ingen forbikørsler under 75 km/t blev registreret; derfor blev ingen forbikørsler kasseret på grund af for lav hastighed.

Hver runde (3 passager) blev optaget og gemt i en 8-spors wave fil. Disse filer blev importeret i NoiseLAB, og et 6-spors lydclip (ét for hver af de 6 målemikrofoner) blev fremstillet. For at sikre, at bilerne var helt inden for autoværnets område på Strækning 2, blev analyserne af optagelserne i Position 1 til 3 startet, når bilerne var ca. 5-10 m inden for autoværnet og stoppet, når bilen var ca. 5-10 m fra slutningen af autoværnet (se Figur 4 og Figur 5). Hvert klip varer 3-4 sekunder. En lignende analyseprocedure blev benyttet, når bilerne passerede Strækning 1 (Position 4 til 6).

Signaler blev A-vægtet, og output fra analyserne var tredjedelsoktavbåndspektre fra 20 til 16000 Hz. Spektrene blev eksporteret til et regneark, hvor yderligere analyser blev foretaget. Alle analyseresultaterne blev konverteret til A-vægtede SEL-værdier (støjeksponeringsniveau) via formlen

$$SEL = L_{Aeq} + 10\log(t)$$

hvor L_{Aeq} er den energiækvivalente lydniveau under analysetiden t . SEL svarer til lydtrykniveauet, man ville måle, hvis lydenergien blev udløst over 1 sekund. SEL er en normering af de målte lydtrykniveauer, der letter arbejdet og øger overskueligheden, når resultaterne skal sammenlignes med de beregnede Nord2000-resultater.

I et regneark blev alle passager, hvor hastigheden ikke lå i området 75-87 km/t kasseret, hvilket efterlod 42 analyser til videre behandling (dvs. $42 \times 6 = 252$ tredjedelsoktavbåndsanalyser). Da analyserne for den enkelte mikrofondeposition kun viste mindre forskelle mellem hver passage, blev alle 42 passager energimidlet for hver af de 6 positioner. Resultatet af analyserne er derfor 6 tredjedelsoktavspektre i frekvensområdet 20-16000 Hz.

Baggrundsstøj

Et par klip af baggrundsstøjen målt uden bilpassager er analyseret. Resultaterne viser, at vindgenereret støj i mikrofonen og i vegetationen kun er betydende i frekvensområdet 50-500 Hz i Position 2 og 3 ud for Strækning 2 (ud for autoværnet).

Beregninger med Nord2000

Nord2000 metoden er implementeret i programmet SPL2000 ver. 2.3.3 udviklet af DELTA. Med SPL2000 er måleforholdene i hvert målepunkt (Position 1-6) blevet modelleret herunder parametre som vindretning og -hastighed, afstande mellem målepositioner og kørestrækninger, autoværnshøjde, terrænhøjder, strømningsmodstand, mikrofondehøjder og bilernes hastighed.

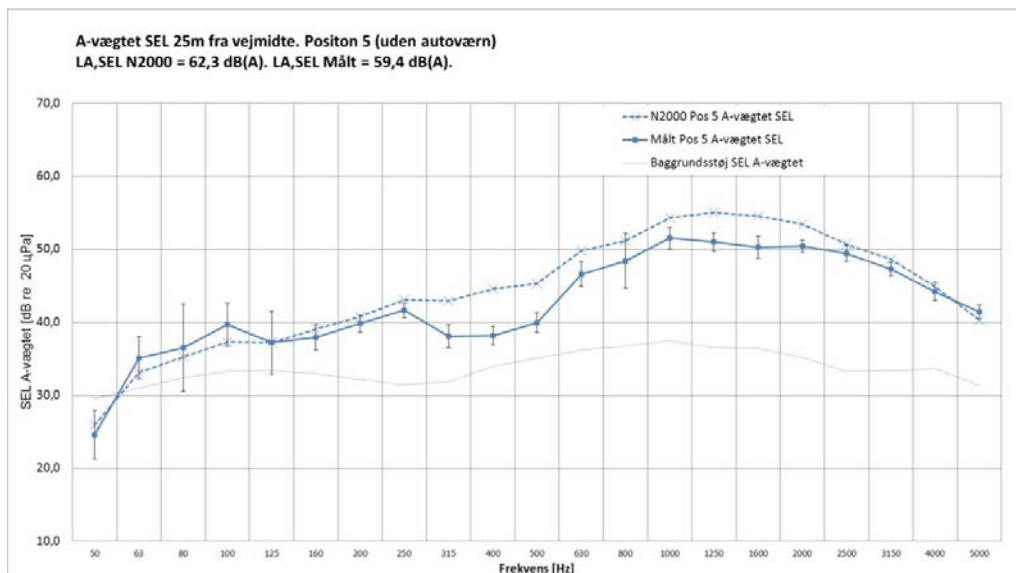
Resultatet for hver position (svarende til målemikrofonernes placeringer) er den beregnede lineære tredjedelsoktavbåndspektrum (25-10000 Hz) som SEL-værdier. Resultaterne blev eksporteret til et regneark for yderligere beregninger samt præsentation.

Først blev tredjedelsoktavbåndspektrene A-vægtet. Så blev spektrene i Position 2 og 3 (begge skærmet af autoværnet) i Række 1 korrigeret med forskellen mellem den beregnede og det målte gennemsnitlige spektrum i Position 1, som var referencepositionen i Række 1, se Figur 5. Denne korrektion sikrer, at forskellene mellem lydeffektniveauet forudsat i Nord2000 og lydeffekten af de målte objekter (Volvo-Toyota-Honda) ikke får indflydelse på sammenligningen af beregnede og målte resultater. En tilsvarende korrektion blev foretaget for Position 5 og 6 ud for strækning 1 (ikke afskærmet af barrieren).

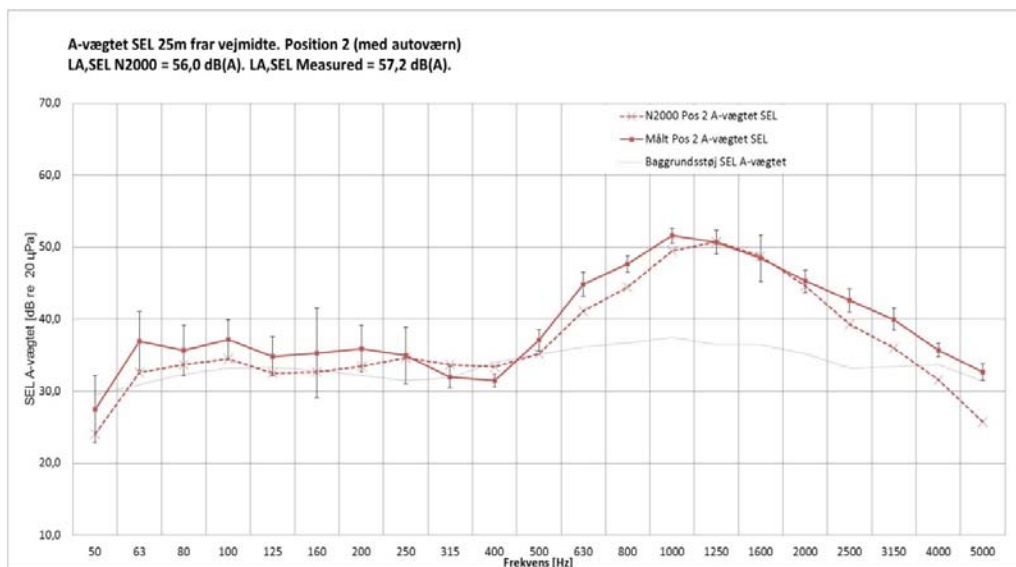
Resultater af målingerne

Resultaterne præsenteres som tredjedelsoktavbåndskurver, der viser det beregnede og målte støjbidrag som A-vægtede SEL værdier i Position 2 og 3 (skærmet af autoværnet) og i Position 5 og 6 (ikke skærmet). Kurverne for de målte værdier er forsynet med lodrette linjer, der viser standardafvigelsen i hvert tredjedelsoktavbånd. Endvidere er der vist en kurve, der viser gennemsnittet af nogle få målinger af baggrundsstøjen.

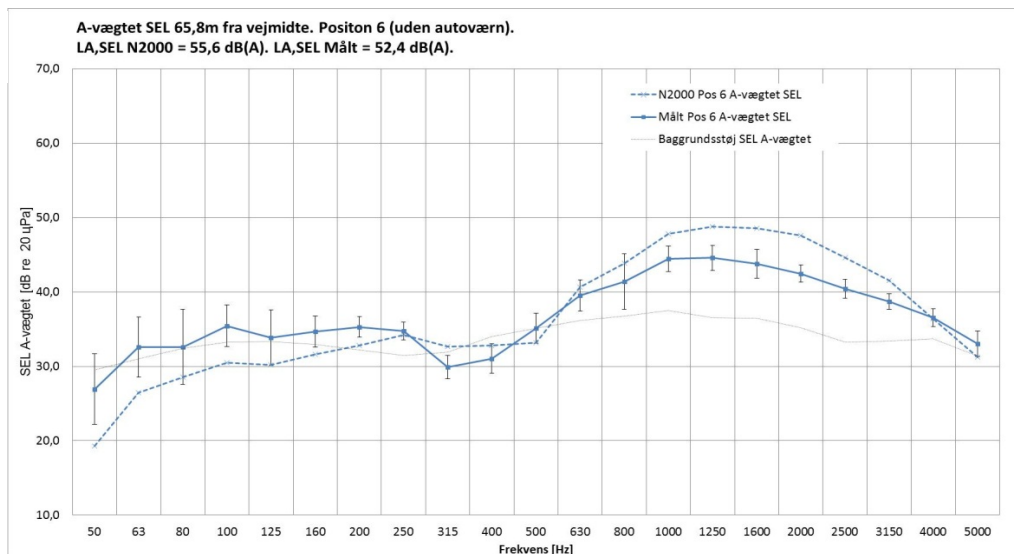
Position 5, 25 m fra kørebanen, uden autoværn.



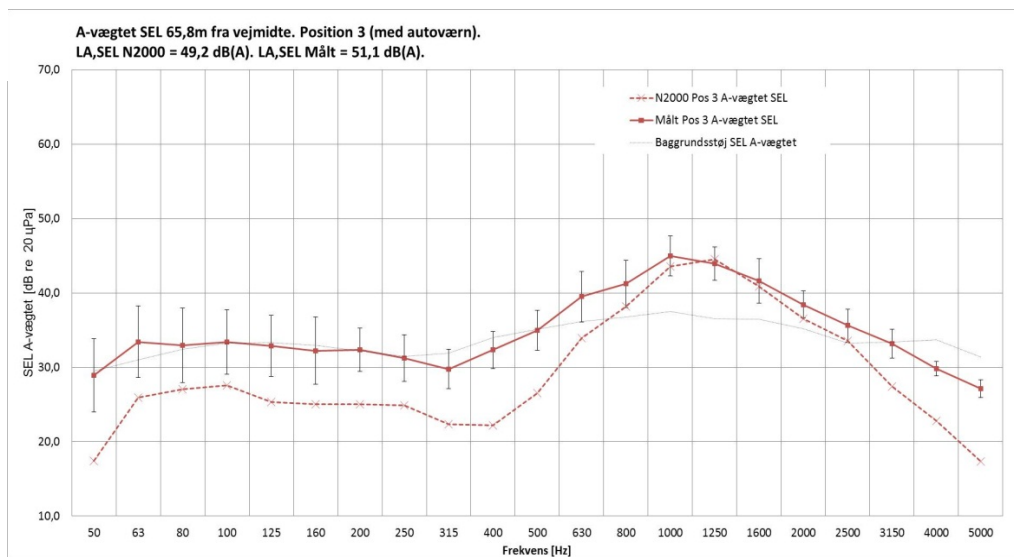
Position 2, 25 m fra kørebanen, med autoværn.



Position 6, 65,8 m fra kørebanen,
uden autoværn.



Position 3, 65,8 m fra kørebanen,
med autoværn.



Konklusion vedrørende målingerne kontra Nord2000

Overensstemmelsen mellem målte og beregnede A-vægtede støjniveauer er generelt god, når målepunkterne er skjærmet af autoværnet (Position 2 og 3). Den spektrale overensstemmelse er også god i Position 2, der er 25 m fra vejmidten; men i Position 3, 65,8 m fra vejmidten afviger de meget lave lydtrykniveauer (under 30 dB) forudsagt af Nord2000 fra de målte værdier i de fleste oktavniveauer under 1000 Hz. Dette synes at være forklaret ved baggrundsstøjniveauet i de afvigende oktavniveauer.

Overensstemmelsen er mindre god for de A-vægtede totalniveauer, når målepunktet ikke er afskærmet af autoværnet, men den spektrale overensstemmelse er generelt acceptabel. Den lille overestimering af Nord2000 i begge de fjerne positioner (5 og 6) kan muligvis være et resultat af den større afstand kombineret med usikkerhed i de meteorologiske forhold, da resultatet i større afstand er meget følsomt over for vindhastigheden (resultatet kan i henhold til Nord2000 variere med ca. 1 dB for hver 1 m/s ændring i vindhastighed).

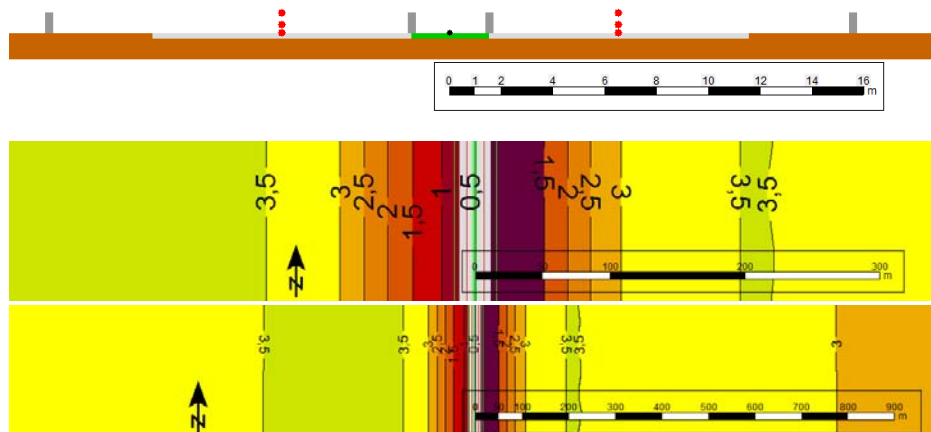
Erfaringerne fra andre målinger af lydudbredelsen udendørs viser, at afvigelser normalt kan være i størrelsesordenen 1-3 dB mellem målte og beregnede lydtryk selv under veldefinerede udbredelsesforhold. På dette grundlag er overensstemmelsen mellem lydtrykniveauerne beregnet med Nord2000 og de målte lydtryk niveauer tilfredsstillende.

Virkning af autoværnene langs veje

Målingerne viser god overensstemmelse med beregninger med Nord2000-metoden på korte afstande, hvilket sandsynliggør, at også beregninger af virkningen på større afstande er valide.

Nedenstående støjkonturkurver viser forskellen mellem det beregnede støjbidrag L_{den} 1,5 m over terrænet fra en motorvej med og uden støjdæmpende autoværn.

Figur 8
 Øverst: Profil af en motorvej med 2 vejbaner á 10 m, en midterrabat på 3 m, og 4 m brede nødspor. De støjdæmpende autoværn er vist med gråt. De røde prikker er linjekilderne, der repræsenterer støjemissionen fra vej/dæk, motor og strømningsstøj.
 Midt: Reduktion af støjbidraget L_{den} fra motorvejen med støjdæmpende autoværn fra 0-350 m.
 Nederst: Som ovenfor, men i afstanden 0-1000 m fra autoværnet. Talangivelserne er dæmpningen i dB.



Det ses, at støjen dæmpes op til 3,5 dB i afstanden ca. 200 m fra vejmidte, og at dæmpningen på større afstande er ca. 3 dB. Beregninger, der ikke er gengivet her, viser, at dæmpningen på 3 dB også er gældende op til 2 km fra vejen. Som det ses, er konturplottene ikke helt symmetriske om motorvejen. Det skyldes, at beregningerne af L_{den} gælder årsmiddelværdien, hvori der tages hensyn til meteorologien i Danmark. Således vil der i gennemsnit være et større støjbidrag øst for en nord-sydgående vej, fordi vi oftere har vestenvind end østenvind.

Om TEK'notat.

DELTA udgiver regelmæssigt rapporter i TEK'notat-serien for at kommunikere den nyeste internationale viden indenfor vores fagområder. Formålet er at understøtte en fremrykning af tidspunktet, hvor nye teknologiske landvindinger giver et forretningsmæssigt afkast til danske virksomheder.

Om DELTA

DELTA hjælper sine kunder med effektiv anvendelse af avancerede teknologier, der skal opnå kommerciel succes i en kompleks verden. Vi varetager design, udvikling, test, certificering og rådgivning inden for elektronik, mikroelektronik, softwareteknologi, lys, optik, akustik, vibration og sensorsystemer.

DELTA er ét af Europas førende udviklingshuse samt ét af de ni Godkendte Teknologiske Serviceinstitutter (GTS) i Danmark. Vores 270 medarbejdere i Danmark, Sverige og Storbritannien samarbejder med kunder i over 50 lande.

Støjdæmpende Autoværn

Virksomheden Willumtech har udviklet autoværn, der med enkle midler ændrer et standardautoværn til en lav støjskærm, der kan dæmpe en del af den støj, der udsendes fra vej og dæk med op til 3,5 dB.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk