

Tystare parker och friluftsområden

Om metoder att dämpa vägtrafikbuller vid källan

Pontus Thorsson
Akustikverkstan

Per Kågeson
Nature Associates

och

Johanna Hallberg
Teknisk akustik, Chalmers

GRÖNA BILISTER VÄGVERKET

MILJÖFÖRVALTNINGEN I STOCKHOLM

MILJÖFÖRVALTNINGEN I GÖTEBORG

FÖRORD

Bullersanering i Sverige har till övervägande del skett genom avskärmning med vallar, skärmar och plank eller genom tilläggsisolering av berörda fastigheters fasader och fönster. Mycket litet har gjorts i syfte att reducera ljudet vid källan. Det betyder att en stor del av bullret finns kvar och det kan spridas diffust över stora områden. I storstäderna finns därför få någorlunda tysta parker och friluftsområden. Syftet med den nu föreliggande rapporten är att öka kunskaperna, främst bland planerare, väghållare och beslutsfattare, om möjligheterna att reducera buller vid källan så att bland annat bullret minskar i städernas grönområden.

Projektet tillkom på Gröna Bilisters initiativ och finansieras med medel från Vägverket och Stockholms stad (miljömiljarden).

Per Kågeson, Gröna Bilister, har varit projektledare och i projektets referensgrupp har ingått Kjell Strömmer, Vägverket, Magnus Lindqvist, Miljöförvaltningen i Stockholm, Thomas Hammarlund, Miljöförvaltningen i Stockholm, Wolfgang Kropp och Johanna Hallberg, Institutionen för teknisk akustik vid Chalmers Tekniska högskola samt Pontus Thorsson, Akustikverkstan.

Manus till rapporten har författats av Pontus Thorsson, Per Kågeson och Johanna Hallberg. Den senare har också inom projektets ram redovisat en litteraturstudie om möjligheterna att reducera buller vid källan.

Rapporten utges av Gröna Bilister, Vägverket samt Miljöförvaltningarna i Stockholm och Göteborg

Stockholm i november 2006
Per Kågeson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Metod.....	1
1.4	Avgränsningar.....	1
2.	Uppkomst av vägbuller.....	2
2.1	Däck/vägbanebuller.....	2
2.2	Hälsoaspekter av trafikbuller.....	2
2.3	Upplevt buller och upplevda störningar.....	3
3.	Riktvärden för buller i parker och friluftsområden.....	4
4.	Faktorer som påverkar bullerspridning i stads-miljöer.....	5
4.1	Trafikbuller nära gator och vägar.....	5
4.2	Trafikbuller i starkt skärmade lägen.....	5
4.3	Inverkan av meteorologi.....	5
5.	Åtgärder för att redu-cera buller vid källan.....	7
5.1	Lågbullrande fordon.....	7
5.2	Däck och dubbar.....	10
5.3	Vägbeläggning och underhåll.....	12
5.4	Hastighet, trafikövervakning och körstil.....	16
5.5	Samhälls- och trafikplanering.....	18
6.	Åtgärder för att reducera buller nära källan.....	19
6.1	Bullerskärmar och bullervallar.....	19
6.2	Ljudabsorption som bullerdämpande åtgärd.....	20
7.	Fem fallstudier.....	22
7.1	Skanstullsområdet, Stockholm.....	22
7.2	Trekanten, Stockholm.....	25
7.3	Nackareservatet, Stockholm.....	27
7.4	Trädgårdsföreningen, Göteborg.....	29
7.5	Vasaparken, Göteborg.....	32
8.	Kostnader och kostnads-effektivitet.....	35
8.1	Samhällsekonomisk effektivitet.....	35
8.2	Kostnader för olika åtgärder.....	35
8.3	Kostnadseffektiva åtgärder.....	37
8.4	Additivitet av olika åtgärder.....	37
9.	Sammanfattning och rekommendationer.....	39
	Referenser.....	43

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Saneringen av väg- och järnvägsbuller vid bostadshus har genomförts i betydande omfattning i Sverige även om ganska mycket återstår. Bullersaneringen har till helt övervägande del skett genom avskärmning med vallar, skärmar och plank eller genom tilläggsisolering av berörda fastigheters fasader och då främst fönster. Mycket litet har gjorts i syfte att reducera ljudet vid källan. Det betyder att en stor del av bullret finns kvar och detta buller kan spridas diffust över stora områden. I storstäderna finns därför få någorlunda tysta parker och friluftsområden. Infrastrukturförhållanden har med något undantag inte heller utnyttjat de tekniska möjligheterna att dämpa bullret från väg-, tunnelbane- och järnvägsbroar, vilka i många fall påverkar strandpromenader och andra friluftsområden.

Ett skäl till varför Sverige i långt mindre grad än många andra EU-länder använder sig av drän-asfalt, som kan reducera vägbanebullret med 4-6 decibel, är att flertalet personbilar har dubbförsedda vinterdäck som sliter så mycket på asfalten att väghållarna bedömt det vara för kostsamt att använda den mindre hållbara dränasfalten. Dubbdäcken ökar däck/vägbanebullret och slitaget leder till en omfattande dammbildning som påtagligt bidrar till överskridande av EU:s miljökvalitetsnorm för partiklar. Genom att införa styrmedel som minskar dubbdäcksanvändningen skulle man således kunna reducera både bullret och partikelbildningen samt göra det ekonomiskt framkomligt att använda bullerdämpande vägbeläggningar, t ex dränasfalt, som ytterligare reducerar bullret utomhus.

1.2 Syfte

Planerare, väghållare och lokala beslutsfattare behöver få bättre kunskap om hur buller kan minskas. Projektets syfte är att visa vad forskningen vet om bullrets spridning och om möjligheterna att reducera vägbuller vid källan samt få till stånd en konstruktiv diskussion om det diffusa storstadsbullret. Det kan t ex röra sig om nya beläggningsmaterial, upphandlingskrav på fordon, försäljningsskatt på bullrande däck, sänkta hastigheter, trafikomläggningar och utnyttjande av absorbenter (snarare än skärmar som styr men inte reducerar bullret).

Tanken är att redovisa vilka tekniska åtgärder som väghållaren kan utnyttja i syfte att reducera buller från broar och vägar. Avsikten är också att visa hur konkreta åtgärder kan reducera bullret i några utvalda rekreativområden.

Förhoppningsvis leder ökad medvetenhet om problemet och möjligheterna till att man inom de närmaste åren genomför pilotprojekt i syfte att se hur långt man med olika åtgärder kan komma för att

reducera bullernivåerna i parker och friluftsområden. Förslag på sådana projekt formuleras inom ramen för denna studie.

1.3 Metod

Projektet omfattar en internationell litteraturstudie, en redovisning av de tekniska möjligheterna att reducera trafikbuller vid källan samt konkreta exempel på de troliga effekterna av sådana åtgärder i fem utvalda park- eller naturområden, tre i Stockholm och två i Göteborg. Denna rapport sammanfattar resultaten.

1.4 Avgränsningar

Studien är helt inriktad på utomhusbuller. Åtgärder mot buller i bostäder diskuteras inte, men många åtgärder mot utomhusbuller får en positiv bieffekt på bostäderna, t ex genom att göra det möjligt att sova med öppet fönster.

Vidare behandlar rapporten bara buller från vägfordon. Storstädernas parker och strövområden påverkas i olika utsträckning av buller från flygplan, tåg, spårvagnar och fritidsbåtar. Buller som genereras av dessa trafikslag tas inte upp i rapporten.

2. UPPKOMST AV VÄGBULLER

Vägrafikbuller består främst av bullerbidrag från motor, transmission, avgassystem och däck. För tunga fordon (totalvikt > 3,5 ton) kan även bromsarna ge ett betydande bidrag. Däcksbullret dominerar vanligtvis bullret för alla fordon vid jämna hastigheter över 50 km/h medan buller från drivlinan, d v s motor, transmission och avgassystem, dominerar vid lägre hastigheter (Cowan, 1999). Detta gäller en blandad trafiksituation med både lätta och tunga fordon. För lätta fordon och för nyare tunga fordon (efter 1996) sker övergången vid en lägre hastighet, ca 30 km/h (Sandberg och Ejsmont, 2002). Vid acceleration höjs övergångshastigheten med omkring 15-20 km/h för alla fordon. Vid kraftig acceleration, t ex i kraftiga motlut, kan dock motor och avgassystem ge ett betydande bidrag även vid högre hastigheter, framför allt vid låga frekvenser (< 200 Hz).

2.1 Däck/vägbanebuller

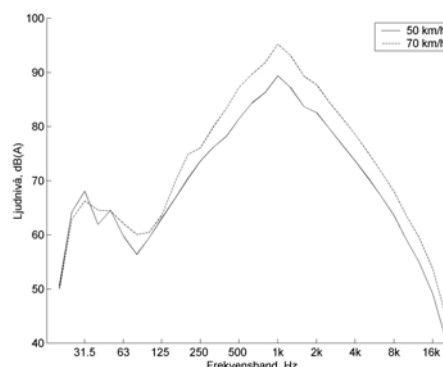
Däck/vägbanebuller uppstår i en komplex process där bullret genereras genom kombinationer av flera olika fysikaliska mekanismer. Dessa kan delas upp i fyra olika huvudgrupper av mekanismer (van Keulen och Duskov, 2005):

- Mekaniska: Kontaktkrafter som kommer från kontakten mellan däck och vägytan. Dessa krafter leder till vibrationer i däck.
- Aerodynamiska: Fysikaliska mekanismer inne i samt mellan däcksmönstret och vägytans textur.
- Friktionsrelaterade: Vidhäftning och mikrorörelser relaterade till kontakten mellan däck och vägyta. Dessa ger också upphov till vibrationer i däck.
- Utstrålningsrelaterade: Mekanismer som beskriver hur vibrationerna i däck medför utstrålat buller.

En mer ingående beskrivning av dessa mekanismer ligger utanför fokus för denna rapport. Den intresserade hänvisas till van Keulen och Duskov (2005) och Sandberg (2002) och de där ingående referenserna. Den följande texten beskriver dock viktiga egenskaper för det utstrålade bullret.

Däck/vägbanebuller ökar med stigande hastighet. Ökningen är relativt jämn men bullret ökar mer och mer med ökande hastighet, d v s förhållandet är icke-linjärt (Sandberg och Ejsmont, 2002). Figur 2.1 visar en jämförelse mellan bullren från ett standarddäck för lätta fordon vid två olika hastigheter på en vägbeläggning bestående av ABS16 (stenrik beläggning med innehåll av bitumen med 0-16 mm stenstorlek), en vägbeläggning som är vanlig på landsvägar i Sverige. Bullernivån från denna beläggning är mycket lik den från ABT16 (tät beläggning med 0-16 mm stenstorlek). Typiskt för däck/vägbanebuller (framför allt på

ABS16 eller ABT16) är den tydliga toppen vid 1 kHz. Det har visat sig i andra studier att förändringen i utstrålat buller vid olika hastigheter är liknande för olika vägbeläggningar, även om olika vägbeläggningar ger upphov till olika mycket buller, d v s förändringarna i frekvensspektrat mellan olika hastigheter är relativt lika för olika vägbeläggningar (de Graaff m fl, 2005).



Figur 2.1. Jämförelse mellan 50 km/h och 70 km/h för ett standarddäck för lätt trafik på vägbeläggningen ABS16.

En våt vägbanan ökar bullret, se tabell 2.1. Ökningen är störst för högre frekvenser; över 1 kHz (Sandberg och Ejsmont, 2002).

Tabell 2.1. Uppskattning av effekten av våt vägbanan på A-vägd bullernivåer. Värdena är i dB(A) relativt torr vägbanan (Sandberg och Ejsmont, 2002).

Väthetsgrad	0-60 km/h	61-80 km/h	81-130 km/h
Fuktig	+2	+1	0
Våt	+4	+3	+2
Mycket våt	+6	+4	+3

2.2 Hälsoaspekter av trafikbuller

WHO uppskattar i en rapport om samhällsbuller att fler än 30 procent av alla medborgare i EU är utsatta för en ekvivalent bullernivå under natten som är högre än 55 dB(A). Så höga bullernivåer tvingar personer att sova med stängda fönster, eftersom även ett delvis öppet fönster i denna situation skulle skapa så höga bullernivåer inne i sovrummet att sömnen påverkas (WHO, 2005). År 2000 uppskattades två miljoner svenskar vara utsatta för en ekvivalent bullernivå utomhus på över 55 dB(A) (Sveriges riksdag, 2005). Inne i en stad där husen står nära trafiken, som t ex i Göteborg eller Stockholm, räcker 1 000-2 000 bilpassager om dygnet i 50 km/h för att ge en ekvivalentnivå om ungefär 55 dB(A) på fasaden (Göteborgs stad, 2005). Ett trafikflöde på 1000-2000 passager per

dygn motsvarar en till två passager varje minut under dagtid (kl 6-18) för en vanlig trafikfördelning över dygnet.

Vägverket arbetar efter en plan för att minska antalet personer som störs i sina bostäder av buller från vägtrafiken. Även Stockholm och Göteborg arbetar aktivt med att minska störningarna av trafikbuller genom sina bullerskyddsprogram som också främst är inriktade på buller i bostäder.

Bullerexponering kan leda till hälsoproblem och försämrad upplevd livskvalitet. Både exponering under kort och lång tid kan leda till många olika sorters problem såsom (Berglund m fl, 2004):

- Stördhet och irritation
- Mindre möjlighet att föra avslappnat samtal eller lyssna på radio/TV
- Stress
- Störd vila under dagtid
- Försämrad sömnkvalitet
- Ökad risk för hjärt-kärlsjukdomar

Kopplingen mellan den mätbara bullerexponeringen och de ovan beskrivna hälsoaspekterna är komplex och innefattar många olika faktorer. Till exempel är fler personer störda av samtidig exponering av vägtrafik och spårtrafik, även om den mätbara bullerexponeringen är samma. Detta måste man ta hänsyn till för att inte undervärdera den uppfattade bullerstörningen. Pågående forskning har även visat att hälsa och välbefinnande inte bara påverkas av bullerexponeringen i bostaden. De är även kopplade till bullernivåerna i den närmaste omgivningen av bostaden, t ex på balkongen, uteplatsen eller i det närmaste parkområdet (Berglund m fl, 2004). Således är det viktigt att försöka skapa goda ljudmiljöer även utanför bostaden, bl a i parker och grönområden.

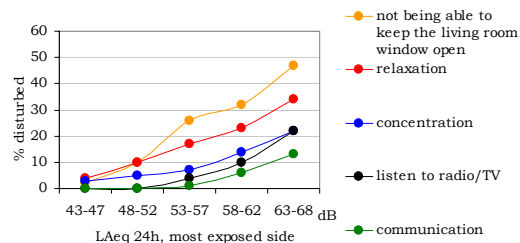
2.3 Upplevt buller och upplevda störningar

I olika sammanhang ser man ofta beskrivningen av ljudnivåer som att en höjning med 3 dB är en knappt uppfattad förändring och att omkring 10 dB uppfattas som en fördubbling. Dessa resultat kommer från laboratorieförsök av upplevd ljudnivå för enskilda toner. Beskrivningen är felaktig främst därför att trafikbuller innehåller ett brett spektrum av frekvenser, d v s många olika toner. Örats känslighet är beroende av både frekvens och ljudnivå och slutsatser från experiment med rena toner går därför inte direkt att överföra på trafikbuller.

Det är även en stor skillnad på upplevd ljudnivå och störning. Ett exempel på detta är när bakgrundsbuller stör ett samtal mellan två personer. Ett kontinuerligt bakgrundsbuller som höjs från 55 dB(A) till 65 dB(A) kan minska taluppfattbarheten från 99 procent till 90

procent. En ytterligare lika stor höjning av bakgrundsbullret, d v s till 75 dB(A), kan minska taluppfattbarheten till 10 procent. Det betyder således nio gånger sämre taluppfattbarhet trots att skillnaden i bakgrundsnivå är lika stor. Studier har visat att andelen störda kan fördubblas redan vid en höjning av trafikbullret med 4 dB(A).

Figur 2.2. Andelen störda personer p g a trafikbuller i



bostaden vid olika aktiviteter (från Berglund m fl, 2004).

Antalet störda personer i ett bostadsområde beror inte enbart på bullernivån utan även på aktiviteten. Flest är störda under sömn, vila och avslappning och färre är störda när de lyssnar på radio/musik eller tittar på TV. Andelen personer som anser sig hindrade att ha något fönster öppet p g a trafikbuller är påfallande hög, vid trafikbullernivåer runt 65 dB(A) är andelen nästan 50 procent.

3. RIKTVÄRDEN FÖR BULLER I PARKER OCH FRILUFTSOMRÅDEN

Människor som söker naturupplevelser har högre förväntningar på tystnad än människor som vistas i utemiljöer där bullerstörningar är ofrånkomliga och där kravet i första hand är att bullret inte bör orsaka hälsoproblem eller försvåra möjligheterna till samtal. I det förstnämnda fallet kan det räcka med upplevelsen av ljud som inte tillhör den naturliga miljön. Kravnivån varierar också mellan olika grupper av människor. Hängivna friluftsmänniskor har strängare krav på frånvaro av onaturliga ljud i naturområden än andra människor (Naturvårdsverket, 2003).

En studie av ljudnivåer i fem förhållandevis tysta rekreatiomsområden i Stockholm visar att antalet timmar per vecka då ljudnivån överstiger 45 dB(A) bör vara mycket få för att medborgarna ska uppfatta dem som tysta (Åkerlöf och Hallin, 2005). Naturvårdsverket (2003 och 2005) föreslår med anledning av ett regeringsuppdrag att följande riktvärden bör gälla i natur- och friluftsområden:

- I *områden helt utan samhällsbuller* bör 40 dB(A) inte få överskridas mer än 10 minuter per vecka.
- I *områden med mycket begränsat samhällsbuller* bör 40 dB(A) inte få överskridas mer än 5 minuter per dag.
- I *friluftsområden i kommunala översiktplaner* bör 45 dB(A) inte få överskridas mer än 60 minuter per dag.
- I *tätortsnära rekreatiomsområden* bör 45 dB(A) inte få överskridas mer än 120 minuter per dag.
- I *parker* bör den ekvivalenta ljudnivån under den tid parken besöks ligga 20 dB(A) under nivån för omgivande gator eller på högst 45-50 dB(A), vilket dera som ger den högsta ljudnivån.

Den här rapporten behandlar parker och tätortsnära rekreatiomsområden. Det innebär att de två första kategorierna saknar relevans.

En enkätundersökning i tätortsnära rekreatiomsområden och stadsparker i Stockholm har visat att över hälften av besökarna (56 %) uppfattar vägtrafikbuller som störande i stadsparker (Nilsson och Berglund, 2005). Samma rapport anger att ingen av de undersökta stadsparkerna uppnår kravet på god ljudmiljö från Banverket m fl att minst 80 procent av besökarna skall vid sitt besök i parken uppleva ljudmiljön som bra (Banverket m fl, 2003). Nilsson och Berglund föreslår att bullernivån i stadsparker bör ligga en bra bit under 50 dB(A) för att ljudmiljön skall upplevas som god.

4. FAKTORER SOM PÅVERKAR BULLERSPRIDNING I STADSMILJÖER

Vägrafikbuller i stadsmiljöer kan förklaras med hjälp av två huvuddelar av ljudfältet (Thorsson, 2003):

1. Ett direktfält som kommer från källor i närheten som man kan se.
2. Ett omgivande jämnt utbrett ljudfält, här kallat "omgivningsfältet", som är genererat av alla andra bullerkällor. Källorna kan vara utspridda över en stor yta.

Den relativa styrkan mellan dessa två fält kan vara mycket olika. Det direkta fältet dominerar i en öppen miljö med få fasader eller andra reflekterande ytor, medan omgivningsfältet dominerar i slutna innergårdar eller andra starkt skärmade platser, t ex gator med mycket lite trafik. I stadsmiljö är det oftast gott om reflekterande fasader och områdena som domineras av ett direktfält ligger oftast nära trafikerade gator.

I ett läge som är dominerat av ett direktfält bestäms bullernivån av de bilar man ser som kör förbi. Detta gör att bullernivån kan variera kraftigt både under kort och lång tid. I en miljö som domineras av omgivningsfältet är sådana variationer mycket mindre på grund av att många fler källor är bestämmande (Thorsson, 2003).

4.1 Trafikbuller nära gator och vägar

Bullernivån nära en gata domineras normalt av bullret från vägtrafiken på gatan. Mycket forskningsarbete har gjorts för att karaktärisera vägtrafikbullrets beroende av t ex:

- Trafikflöde
- Hastighet
- Fordonstyper

Förhållandet mellan bullret och dessa parametrar är välkänt, i alla fall vad gäller ekvivalentnivån. I nuläget ligger forskningsfokus istället på att få fram metoder att sänka det utstrålade bullret från olika typer av fordon samt att minska utbredningen av bullret.

4.2 Trafikbuller i starkt skärmade lägen

Det blir inte tyst då inga bilar passerar på en gata i en stadsmiljö. Det finns fortfarande ett visst buller. Detta är omgivningsfältet som är genererat av många källor. Ögren föreslår att bullret fyller staden liknande dimma (Ögren, 2004). Han har vidare funnit att bullernivån i skärmade lägen i städer är relativt konstant omkring 50 dB(A). Detta gäller för öppna och slutna innergårdar och för både små och stora städer. Lång-

tidsmätningar har gjorts i fyra olika områden i Stockholm och Göteborg; från en relativt trång och sluten stadsmiljö på Södermalm i Stockholm till öppnare och glesare stadsmiljöer som i Björkekärr i Göteborg. Trots de stora olikheterna mellan områdena var ekvivalentnivåerna i alla områden liknande (Berglund m fl, 2004).

Man kan visa att det största bidraget till bullernivån i tätta eller relativt tätta områden kommer över hustaken (Thorsson, 2003). Detta är således den transmissionsväg man bör inrikta sig på för att sänka bullernivån i starkt skärmade lägen. Att införa ljudabsorption skulle vara en lämplig metod, men några praktiska försök med detta har inte gjorts.

Åkerlöf kommer fram till slutsatsen att helt slutna innergårdar kan vara relativt tysta, $L_{Eq} = 44-48$ dB(A), även om trafiken är tung på utsidan, t ex $L_{Eq} = 78$ dB(A) i ett fall. Bullernivåerna på innergården är avsevärt högre om det finns en öppning mot en vältrafikerad gata i den annars slutna innergården (Åkerlöf, 2001).

Liknande spektran på den exponerade och den skärmade sidan har också uppmätts vid simultana mätningar på bägge sidor (Thorsson, 2003).

Bullernivån i en innergård beror också på efterklangstiden i innergården, d v s på mängden ljudabsorberande material. En lång efterklangstid, d v s liten förekomst av ljudabsorberande material, ger en högre bullernivå än en kort efterklangstid. Mängden och placeringen av ljudabsorberande material samt efterklangstid används väldigt mycket vid rumsakustisk planering, men i stadsmiljöer är inte användbarheten utredd (Thorsson, 2003).

I de tätaste delarna av en stad är bullerproblemen sällan störst. Smala gator och höga hus ger normalt en hög bullerdämpning. Helt slutna innergårdar skapar relativt tysta miljöer. Större bullerproblem finns däremot i de glesare delarna och i förorterna. Relativt låga hus och breda gator skapar miljöer som är mindre fördelaktiga ur bullerspridningssynpunkt. Studier har visat att glesa, utbredda städer skapar lika mycket trafikbuller per kvadratmeter som tätta städer (Törsäter, 2000).

4.3 Inverkan av meteorologi

Meteorologi har en viktig inverkan på utbredningen av trafikbuller. Krökning av ljudstrålar till följd av temperatur- och vindgradients har en stark påverkan på ljudutbredning över långa avstånd. Dessutom påverkar luftfuktigheten dämpningen av ljud när det utbreder sig i luft, och turbulens i atmosfären kan även sprida buller till väl avskärmade områden (Ögren, 2004).

Krökta ljudstrålar påverkar i vilken vinkel ett ljud träffar marken vid markreflektion. Således påverkar även meteorologin markdämpningen, d v s dämpning av ljud när det utbreder sig parallellt med mjuk mark såsom gräsvall eller skogsmark (Forssén, 2001). Vindhastigheten, och därmed vindhastighetsgradienten, påverkas av hinder som stör vindhastighetsprofilen såsom bullerskärmar, hus, träd etc (Forssén, 2001).

Täta städer skapar dessutom sitt eget mikroklimat där vind- och temperaturgradienter, turbulens etc kan vara mycket svåra att beräkna. Detta innebär att meteorologiska effekter är mycket svåra att uppskatta i stadsmiljöer.

5. ÅTGÄRDER FÖR ATT REDUCE- RA BULLER VID KÄLLAN

Det finns många möjligheter att dämpa buller, men det finns ingen undergörande metod som fungerar väl i alla lägen. De lokala omständigheterna avgör vilka olika metoder är vara effektiva och ekonomiska aspekter sätter oftast gränserna. Det finns tre huvudsakliga typer av åtgärder:

1. Dämpning av bullerkällan, som sänker bullernivån vid alla punkter runt en väg. Sådana åtgärder är t ex bullerdämpande vägbeläggningar, tystare fordon, tystare däck men även trafikflöden (antal samt hastighet) och körstil.
2. Åtgärder som påverkar ljudutbredningen mellan bullerkälla och mottagare. Dessa åtgärder påverkar endast bullernivån inom avgränsade områden. Sådana åtgärder är t ex bullerskärmar och ljudabsorberande ytor.
3. Minska instrålningen till en mottagare, vilket oftast betyder öka ljudisoleringen för fasaden till en bostad. Detta påverkar endast inomhusmiljön.

I det aktuella projektet fokuseras på åtgärder som dämpar bullret utomhus, d v s åtgärder i kategorierna 1 och 2. Åtgärder i kategori 3 presenteras ej.

De olika åtgärderna har skilda ledtider innan den avsedda bullerdämpningen får effekt. Åtgärder som kräver att fordonsparken förnyas tar till exempel 15-20 år innan de får fullt genomslag, åtgärder som påverkar trafikanternas val av däck kan få god effekt inom fem år och insatser som reducerar den faktiska hastigheten kan få så gott som omedelbar effekt. Byte av vägmateriäl görs normalt endast när ytskiktet är så slitet att det ändå är dags att ersätta beläggningen. Förändrad körstil kan också ge omedelbara sänkningar av bullernivån.

En i sammanhanget intressant fråga är hur mycket den totala bullernivån från vägtrafik minskar om a) drivlinan (d.v.s. motor, transmission samt avgassystem) är helt tyst, eller b) däcken är helt tysta. I (van Keulen och Duskov, 2005) har man gjort en ungefärlig skattning som visas i tabell 5.1.

Tabell 5.1. Teoretisk sänkning av bullernivå i dB(A) för olika fordonstyper (van Keulen och Duskov, 2005).

Fordonstyp	Hastighet (km/h)	Tyst drivlina	Tysta däck
Lätt	50	-2	-5
	80	-1	-8
	110	0	-10
Tungt	50	-3	-3
	80	-2	-5

För hastigheter som är representativa för motorväg är bullernivån från ett tungt fordon i medeltal ungefär 8 dB(A) högre än från ett lätt (van Keulen och Duskov, 2005). Detta innebär att tunga fordon dominerar bullret från en motorväg om andelen tunga fordon är mer än ca 15 %. Nattetid kan detta ofta vara uppfyllt. Tungta fordon sänder dessutom ut mer buller i lågfrekvensområdet (< 200 Hz) än lätta fordon. Buller från drivlinan är den starkaste källan i lågfrekvensområdet.

De kommande avsnitten beskriver de vanligast förekommande bullerdämpande åtgärderna samt deras fördelar och nackdelar. Effekter på andra egenskaper beskrivs också där det är möjligt, t ex trafiksäkerhet och bränsleförbrukning.

5.1 Lågbullrande fordon

Fordon bullrar genom ljud från motor och kraftöverföring samt genom ljud som uppkommer i kontakten mellan däck och vägbana. I det senare fallet kan bullernivån minska både genom bättre val av däck och genom val av vägbeläggning.

5.1.1 Motorer och drivlina

EU har haft gemensamma bullerkrav på motorfordon sedan 1970. Gränsvärdena har successivt sänkts med 8 dB(A) för personbilar och med 11 dB(A) för bussar och lastbilar. Trots detta har bullernivåerna från vägtrafiken förblivit i stort sett oförändrade. Det beror bl a på att den valda testmetoden inte i tillräcklig grad återspeglar normal körning och att breda däck har blivit mera vanliga samt att trafikvolymen har ökat. Det förstnämnda förhållandet illustreras av att bilar med mätvärden på 72 dB(A) i verklig trafik bara ger upphov till 2 dB(A) lägre nivåer än äldre bilar som certifierats för 80 dB(A) (European Commission, 2004). En bidragande orsak är också att många bilmodeller klarade 1970 års gränsvärden med god marginal. Det är bara tunga vägfordon som blivit signifikant tystare sedan 1970.

Direktivet föreskriver att fordonsbullret ska mätas på 7,5 meters avstånd och 1,2 meter över marken när bilen kommer från en konstant hastighet av 50 km/h accelererar under fullt gaspådrag. Femväxlade bilar ska därvid använda den tredje växeln. Från mätresultatet får 1 dB(A) dras av för eventuella brister hos mätutrustningen. För dieselbilar respektive stora personbilar (t ex stadsjeepar) medges ett påslag med vardera 1 dB(A). De allra tyngsta terränggående bilar medges ett påslag på 2 dB(A). En sådan bil försedd med dieselmotor tillåts således avge 77 dB(A).

En ny mätmetod är under framtagning hos ECE och kommer när den är färdig att ligga till grund för en revidering av EU:s bullergränsvärden för lätta och tunga fordon. Den nya mätmetoden ska bättre efter-

likna verklig körning i hastigheter där motorbullret dominerar.

Som framgår av tabell 5.2 tillåts väsentligt högre motorbuller från tunga fordon och motorcyklar än från personbilar. En ny motorcykel får bullra lika mycket som en tung lastbil (80 dB(A)). I verklig trafik bullrar dieselbilar mer än bensinbilar, särskilt vid tomgång och accelerationer. Motorcyklar åsamkar omgivningen ca 15 gånger högre ”bullerkostnader” per personkilometer än bussar och personbilar (VTI aktuellt 4-1997). De utgör också ett problem genom att vid gaspådrag generera höga maximalnivåer som ofta påverkar stora områden.

Tabell 5.2. Gränsvärden för fordonsbuller inom EU.

Typ av fordon	Gränsvärde dB(A)
Personbilar för max 9 personer	74
Lätta lastbilar och bussar under 2 ton	76
Lätta lastbilar och bussar 2-3.5 ton	77
Bussar över 3.5 ton med motoreffekt under 150 kW	78
Bussar över 3.5 ton med motoreffekt över 150 kW	80
Tunga lastbilar över 3.5 ton med motoreffekt under 75 kW	77
Tunga lastbilar över 3.5 ton med motoreffekt 75-150 kW	78
Tunga lastbilar över 3.5 ton med motoreffekt över 150 kW	80
Motorcyklar med motorvolym under 80 kubikcentimeter	75
Motorcyklar med motorvolym 80-175 kubikcentimeter	77
Motorcyklar med motorvolym över 175 kubikcentimeter	80
Mopeder med tillåten hastighet över 25 km/h	71
Trehjuliga mopeder	76

Typprovningen av personbilar under åren 2001-2003 visar på en spridning mellan 67 och 76 dB(A). Den visar att det är tekniskt möjligt att tillverka konventionella bilar med en bullernivå 7 dB(A) under gränsvärdet och att ca 10 procent av bilmodellerna har certifieringsvärden som ligger 3 dB(A) eller mer under gränsvärdet.

Bullret från fordonens motorer och transmission kan reduceras genom materialval och ljuddämpning. El-drivna fordon har mycket låg bullernivå. Enligt Nederländernas regering borde EU:s gränsvärde för nya bilar sänkas till 71 dB(A) år 2008, medan tunga fordon inte borde få ge upphov till mer än 78 dB(A) (VROM, 2004). Lätta lastbilar och bussar tillåts generera med buller än personbilar trots att de beträffande chassi och drivlina har ett utförande som liknar personbilarnas (European Commission, 2005). Någon svensk position i dessa frågor finns ännu inte.

De finns flera modeller av tunga motorcyklar som klarar gränsvärdet med en marginal på 4-6 dB(A) (Vergote, 2001). Gränsvärdet i Japan är 73 dB(A), vilket gör att japanska fabrikat ofta är tystare än amerikanska och tyska motorcyklar. Testmetoden skiljer sig dock från den europeiska. Sandberg (2002) uppskattar att den faktiska skillnaden mellan det japanska och det europeiska gränsvärdet, mätt på samma sätt, är ca 4 dB(A). Det finns alltså betydande utrymme för att skärpa de europeiska kraven. Ett problem i detta sammanhang är dock att tillverkarna lätt kan optimera motor och avgassystem mot gränsvärdet på ett sätt som innebär att bullernivån kan förbli hög under driftförhållanden som inte täcks av testföreskrifterna ("cycle-beating"). För att komma tillrätta med sådana missförhållanden skulle testet behöva återspegla ett flertal driftsfall. Någon svensk position i denna fråga finns inte.

5.1.2 Kontroll av att motorcyklar uppfyller kraven

Enligt en studie beställd av EU kommissionen genererar en hög andel av alla mopeder och motorcyklar högre bullernivåer än tillåtet till följd av vanvård eller därför att ägarna medvetet trimmat dem eller installerat illegala avgassystem (European Commission, 2000). Eftersom många ägare medvetet manipulerar sina motorcyklar blir skärpta gränsvärden inte meningsfulla så länge övervakningen och kontrollen nästan är obefintlig. Den svenska polisen har möjlighet att stoppa motorcyklar som de bedömer som alltför bullriga, vilket kan resultera i böter (dock bara 400 kronor) och krav på besök hos Bilprovningen för kontroll av utrustningen, men detta utnyttjas i blygsam omfattning. Motorcyklar som är mindre än tio år gamla behöver annars bara besiktigas vartannat år. Bara 20 procent av motorcyklarna får anmärkningar mot 50 procent för personbilar. Ca 1.5 procent måste återkomma för ombesiktning på grund av för hög bullernivå eller fel på avgassystem och ljuddämpare (Bilprovningen, 2005). Antalet motorcyklar i trafik har fördubblats sedan 1990 och uppgick 2004 till ca 235 000.

För att man i någon högre grad ska komma tillrätta med manipulationerna av motorcyklarnas motorer, avgassystem och ljuddämpning behövs enligt Sandberg (2002) flera förändringar, bland dem:

1. Krav på mera frekventa inspektioner hos Bilprovningen, inklusive obligatorisk bullermätning, vilket förutsätter en ny standard för stationär provning av motorcyklars bullernivå.
2. Krav på att avgasljuddämpare ska vara märkta och förseglade.
3. Krav på att trimmade motorcyklar måste genomgå ett bullerprov hos Bilprovningen.
4. Förbud i Europa mot att äga eller sälja icke-typgodkända avgassystem avsedda att ersätta originalen.
5. Frekventa bullertest utförda av polisen på motorcyklar i trafik. Utrustning för sådana prov har tagits fram i Nederländerna.
6. Höga böter och möjlighet att tillfälligt konfiskera motorcyklar som inte uppfyller bullerkraven.

Av dessa förslag kan flertalet inte genomföras utan beslut inom EU. Vad som kortsiktigt förefaller framkomligt genom nationella beslut är genomförande av de två sistnämnda förslagen. I New York får motorcyklister som bryter mot bullerkraven böta upp till 4 200 dollar. Man skulle för svensk del kunna överväga en modell där allvarliga överträdelser ger upphov till böter i storleksordningen några tusen kronor och att motorcykeln tillfälligt förverkas för att på ägarens bekostnad förses med godkänd avgasljuddämpare. Att bli av med hojen några veckor samt behöva betala både böter och verkstadskostnader borde vara ganska avskräckande även i fall där ägaren bedömer sannolikheten för att åka fast som relativt liten.

5.1.3 Incitament att köpa fordon med låg bullernivå

Att få till stånd en skärpning av bullerkraven på personbilar och lätta lastbilar inom EU kan ta avsevärd tid. I väntan på en sådan reform finns det skäl att överväga hur långt man kan komma med incitament som gör att nybilsköparna väljer fordon med förhållandevis låga bullernivåer. En analys av de 15 mest försålda bilmodellerna på den svenska marknaden 2005, vilka tillsammans representerar halva nybilsförsäljningen, visar att flertalet har bullernivåer mellan 72 och 74 dB(A). Bara ett fåtal varianter av några av de bästsäljande modellerna klarar 71 dB(A) enligt EU:s mätmetod.

Ett problem om man vill styra bilförsäljningen mot låga bulleremissioner är att Sverige inte har någon försäljnings- eller registreringskatt på nya personbilar som skulle kunna differentieras för fordonens bullernivå och att den årliga fordonsskatten redan utnyttjas för att styra mot modeller med låga koldioxidutsläpp. Eftersom fordonsskatten inte är särskilt hög är det knappast möjligt att använda den för att styra mot mer än ett mål.

Beskattningen av förmånen av att ha tillgång till bil på arbetsgivarens bekostnad skulle teoretiskt kunna differentieras på ett sätt som styr mot mer än ett prioriterat miljömål. Om låga bullervärden premieras skulle effekten på den totala svenska fordonsflottan kunna bli avsevärd, eftersom uppemot hälften av alla nya personbilar köps av företag och förvaltningar. Frågan är dock hur hög premien för en lågbullrande bil måste vara för att få någon egentlig effekt på förmanstagarnas preferenser.

En ytterligare möjlighet skulle kunna vara att införa krav på en högsta bullernivå i statens definition av ”miljöbilar”. Effekten blir begränsad, eftersom den berörda delen av fordonsflottan är mindre än förmånsbilarnas, men den skulle ändå kunna bli avsevärd, om man antar att många kommuner och företag inför samma gränsvärde i sina krav på miljöbilar. För att detta ska fungera krävs emellertid att det på marknaden finns ett betydande antal modeller som kan utnyttja förnybara drivmedel och som samtidigt är lågbullrande. För att bullerkravet på miljöbilarna ska vara trovärdigt och meningsfullt krävs att det sätts till en nivå som underskrider medelvärdet för nya modeller på den europeiska marknaden. Det torde innebära att miljöbilarna inte bör tillåtas ha bullervärden överstigande 71 dB(A).

Tabell 5.3 visar bullervärdena, enligt EU:s norm, för elhybridbilar samt personbilar som kan använda biogas och naturgas. Av den framgår att det bara är några av elhybriderna som är typgodkända för 71 dB(A) eller lägre. Några av de tillfrågade generalagenterna kan inte säga vilken bullernivå bilarna har.

Eftersom inget typgodkännande med E85 som referensbränsle förekommer för bensinbilar, finns inga officiella bullervärden för etanolbilar. Man kan dock befara att etanoldrivna motorer genom förhöjd kompression bullrar mer än motsvarande modell med motor för enbart bensin. Det bekräftas också av Saab som uppger att man testat 9-5 BioPower och att den bullrar mer än Saab 9-5 avsedd enbart för bensindrift, dock överskrider inte gränsvärdet 74 dB(A). Volvo Cars uppger på förfrågan att det mycket väl vara så att utstrålat motorljud är något högre från etanolvarianten, men sannolikt inte så mycket så att det påverkar resultatet i bullerprovet.

En slutsats av värdena i tabell 5.3 är att införande av krav på högst 71 dB(A) i den statliga miljöbilsdefinitionen på kort sikt skulle reducera antalet miljöbilsmodeller till tre elhybrider. Resultatet blir det samma gränsen sätts till 72 dB(A). Att ställa krav på 71 dB(A) och hoppas på att tillverkarna anstränger sig att få ner bullernivån hos sina miljöbilar kan visa sig vara fåfängt.

Tabell 5.3. Bullervärden för elhybridbilar och personbilar som kan använda alternativa drivmedel

Alternativt drivmedel	Märke och modell	Fordonsbuller dB(A)
Elhybridbilar	Toyota Prius	69
	Honda Civic Hybrid	68
	Lexus	70
	RX400H	73
	Lexus GS450H	
Biogas/Naturgas	Volvo V70 BiFuel	74
	Volvo S60 BiFuel	74
	Fiat Punto BiPower	IU
	VW Touran 2,0 EcoFuel	74
	VW Caddy 2,0 Ecofuel Life	74
	Mercedes E200 NGT	IU
	Opel Combo 1,6 CNG	IU
Etanol (E85)	Ford Focus FFV	IU
	Ford C-Max FFV	IU
	Volvo V50/S40 Flexifuel	IU
	Saab 9-5 BioPower	IU

Sverige utgör mindre än 2 procent av den europeiska bilmärknaden och det är långt ifrån säkert att företag med små marknadsandelar i vårt land finner mödan värd att vidta åtgärder för en så begränsad efterfrågan. En defensiv åtgärd skulle dock kunna vara att föreskriva att en miljöbil inte får bullra mer än motsvarande modell som är utrustad enbart för bensin- eller dieseldrift. Det skulle tvinga generalagenterna att testa sina icke-typgodkända modellvarianter och förhindra att satsningen på bilar som kan köras på förnybara drivmedel inte sker till priset av högre buller. Ett tänkbart resultat är dock att ingen av etanolbilarna klarar kravet.

Tunga lastbilar har inte lika stor spridning av sina bullervärden som personbilar och andra lätta fordon. Det förefaller därför inte meningsfullt att genom ekonomiska incitament söka påverka köparna att ta

hänsyn till bullernivån när de väljer fordon. För bus-sar, som i ökad utsträckning använder alternativa drivmedel som etanol, biogas och naturgas, kan man notera att etanoldrift höjer bullernivån genom att motorns kompression höjs. I större tätorter är från bullersynpunkt således ett skifte till gas att föredra framför byte till etanol.

Eftersom buller från motorcyklar sommartid utgör ett betydande problem finns det anledning att överväga att införa en kraftigt förhöjd fordonsskatt för modeller som enligt EU:s test bullrar mer än t.ex. 73 dB(A). För att få någon verkan måste det sannolikt bli fråga om en betydande pålaga.

5.2 Däck och dubbar

EU:s mätmetod för fordonsbuller tar inte hänsyn till det buller som alstras mellan däck och vägbana. Användandet av tysta däck ger förstås endast effekt om huvuddelen av bullret kommer från däck/vägbanekontakten. Däcksbullret dominerar för lätta fordon vid jämna hastigheter över ca 30 km/h och påverkas också av däckens utformning. Det kan skilja 5-6 dB(A) mellan bildäck avsedda för samma fordon (för en normal däcksbredd 185-195 mm) (Sandberg, 2005). Lika stora skillnader finns mellan olika lastbilsdäck, men här gäller 50 km/h som övergångshastighet.

Momentkrafterna på däck under acceleration kan öka bullernivån från däck-vägbana med så mycket som 15 dB(A). Detta är dock inte representativt för normal trafik där ökningen i ekvivalentnivå torde vara 1-2 dB(A) (Sandberg och Ejsmont, 2002).

Däcksbredden är starkt kopplad till bullernivån då kontaktytan mellan däck och vägbana växer med ökande bredd. Mellan åren 1970 och 2000 har däcken blivit omkring 40 mm bredare och bullernivån har ökat med omkring 2 dB(A) (Sandberg och Ejsmont, 2002). Bredare däck är inte säkrare och inte ger de heller en skönare körkänsla. Däremot ser de häftigare ut och bidrar till att bilarna kan köras ”sportigare” (VTI aktuellt 2-2001).

Valet av däck har således stor betydelse i hastigheter över 30 km/h. Enligt EU-direktivet 2001/43/EC får nytillverkade däck i fem olika breddklasser inte bullra mer än 72-76 dB(A) vid 80 km/h baserat på en mätmetod där 1 dB(A) dras av från mätvärdet som dessutom avrundas nedåt. Bildäck som inte (ännu) omfattas av direktivets krav är regummerade bildäck samt bildäck vars typ introducerades på marknaden före år 2003. Fr o m 1 oktober 2009 måste dock även däck av den senare gruppen vara typgodkända. De regummerade bildäcken utgör för den tunga trafiken ca hälften av alla däck, medan de för den lätta trafiken utgör ca 25 procent. Det är därför angeläget att typ-

godkännande för bulleremission införs även för regummerade bildäck.

Bullergränsvärdena för däck är väl tilltagna. De bästa personbilsdäcken på marknaden underskrider gränsvärdet med 5-7 dB(A). De finns däck i alla breddklasser som med god marginal underskrider det relevanta gränsvärdet och enligt tillgänglig litteratur förefaller det inte finnas någon motsättning mellan låg bullernivå och ett bra väggrepp (EU kommissionen 2005).

Nederländerna vill att EU ska skärpa kraven så att däcken inte får ge upphov till mer än 68-73 dB(A) beroende på bredd (VROM, 2004). Någon svensk position i denna fråga finns inte.

5.2.1 Val av styrmedel

I avvaktan på skärpta gränsvärden för däck kan man överväga flera åtgärder i syfte att styra efterfrågan mot lågbullrande däck. Ulf Sandberg, forskare vid VTI, har på uppdrag av Vägverket utrett frågan (Sandberg, 2005). Studier som refereras av Sandberg visar att det inte finns något samband mellan bullernivån och priset på däcken. Enligt ett räkneexempel, som redovisas i en bilaga till rapporten, skulle det vara samhällsekonomiskt försvarbart att betala 50 procent mer för personbilsdäck som är 4 dB(A) tystare än dagens "normaldäck". Sandberg anser att effekten av att uppmuntra till ett generellt byte till "tystare" bildäck potentiellt är betydligt större än vad som kan uppnås genom att med gränsvärden förbjuda de allra bullrigaste däcken.

Sandberg diskuterar ett flertal ekonomiska incitament varav de flesta förefaller svåra att införa på grund av legala, praktiska eller principiella hinder. Själv förordar Sandberg i första hand ett system som bygger på införande av en däckbullerdifferentiering av den årliga fordonsskatten. Förslaget bygger på att databladet i bilregistret för varje fordon kompletteras med bullervärdet som uppmätts för bildäcken (vid typprovning av de senare) och att "bullerjusteringen" av skatten uträknas automatiskt med ledning av detta. På fordonsgärens skattebetalningsavi bör enligt Sandberg framgå hur mycket rabatt (eller tillägg) denne har fått p g a däckens typ.

För nya eller ett par år gamla fordon utgår Sandberg, möjligen felaktigt, från att bilen levereras med de däck varmed fordonet har typgodkänts. För äldre bilar vill han att Bilprovningen ska anmodas att avläsa bildäckens uppmätta bullervärde, vilket i så fall måste vara ingraverat på däckens sidor. Sandberg föreslår därför att Sverige, Danmark, Norge, Finland, Nederländerna, Österrike och Tyskland gemensamt ska kräva en ändring i däckbullerdirektivet 2001/43/EC så att tillverkarna tvingas registrera ljudnivån på däckets sida. Tekniskt utgör en sådan märkning inget problem. Andra däckdata anges redan på däcksidorna.

Därtill krävs att EU inför krav på ljudnivåmätning av regummerade bildäck.

Sandberg föreslår vidare att regeringen i miljöbilsdefinitionen lägger in krav på att ljudnivån från fordons däck inte får överstiga viss nivå samt att man vid offentlig upphandling ställer krav på däckens ljudnivå. Detta skulle enligt Sandberg kunna bli möjligt genom en skärpning/utvidgning av den nuvarande svanenmärkningen av bildäck. Ett projekt, "Bildäcks miljöegenskaper", har påbörjats vid VTI i syfte att ge underlag för en förbättring av svanenmärkningen.

Sandbergs förslag om att differentiera den årliga fordonsskatten är svår att genomföra dels därför att skatten nyligen differentierats för fordonens utsläpp av koldioxid, dels därför att EG-direktivet behöver förändras både med avseende på märkning och regummerade däck. En alternativ möjlighet skulle kunna vara att införa försäljningsskatt på däck som enligt EU:s mätmetod ger upphov till buller över viss nivå. Regummerade däck skulle i ett sådant system påföras skatt om inte producenten kan visa att däckets ger upphov till buller under gränsvärdet.

Sandbergs förslag om att införa krav på däck som används av miljöbilar är genomförbart, men det är svårt att kontrollera efterlevnaden så länge inte alla däck är märkta. Dock skulle man kunna kräva att en ny bil som registreras som miljöbil för att komma i åtnjutande av skattelättnader eller reducerad parkeringsavgift vid leverans till kund måste vara försedd med däck som klarar vissa krav. Motsvarande krav skulle också kunna införas i regelverket för förmånsbilar.

En ytterligare möjlighet, som också nämns av Sandberg, är att den offentliga sektorn och miljömässigt ambitiösa företag i sin upphandling av transporttjänster ställer krav på att utförarens fordon ska vara försedda med däck som ger upphov till förhållandevis låg bullernivå. Ett problem i detta sammanhang är att kriterierna för svanenmärkta däck bara anger att de inte får bullra mer än EU:s gränsvärde. Eftersom man vid val av fordonsdäck också bör beakta rullmotstånd och innehåll av icke-önskvärda kemikalier och metaller behöver däcken omfattas av en miljömärkning som gör det lätt för upphandlarna att specificera sina krav och lätt för entreprenörerna att veta om de uppfyller dem. Det vore således bra om Svanen kunde höja ambitionsnivån för buller.

5.2.2 Dubbdäck

Dubbdäck skapar ett väsande ljud vid hastigheter över 50 km/h och bullernivån för ett nytt dubbdäck är ca 2-6 dB högre i frekvensområdet 500 Hz till 5 kHz än för ett nytt odubbdat däck. Vid lägre hastigheter är skillnaderna normalt ännu större (Sandberg och Ejsmont, 2002). Försök har därför gjorts med lättviktsdubb för att se om dessa ger lägre bullernivå än

vanlig dubb. Försöken har tyvärr inte visat på någon större skillnad (Sandberg och Ejsmont, 2002).

Vidare sliter dubbdäck hårt på asfalten vilket påtagligt ökar partikelbildningen. Dubbdäckens slitage på underlaget är en anledning till varför svenska vägghållare inte satsat på dränasfalt som dämpar däck-vägbanebullret (se nedan).

I Sverige, Finland och Norge används vintertid en mycket stor andel dubbade däck i trafiken. Någon bullerprovning av sådana däck förekommer inte och det finns inga krav på däckens bulleregenskaper. Med undantag för Region Skåne varierade andelen dubbade bildäck vid den senaste räkningen under februari mellan 73-94 procent i Vägverkets regioner.

Ungefär 80 procent av bilarna i Stockholm har dubbdäck vintertid. En halvering av användningen i Stockholm skulle sänka halten av hälsovådliga partiklar (PM10) med ca 20 procent (Stockholms stad, 2005). Stockholm har problem med överskridande av EU:s miljökvalitetsnorm för PM10 på vissa högt trafikerade gator samt på större infarts- och genomfartsleder.

Dubbar kan vara trafiksäkerhetsmässigt motiverade i de delar av landet som är kuperade eller som under ett genomsnittligt år har en längre period av vinterväglag. Ett svenskt förbud mot dubbdäck är därför inte vid samlad bedömning en ändamålsenlig åtgärd. I stora delar av södra Sverige, inklusive de tre storstadsområdena, är behovet av dubbade vinterdäck inte lika stort. Förbud mot att använda dubbdäck i dessa områden är dock knappast en framkomlig väg, eftersom besökande fordon från andra delar av landet kan vara utrustade med dubbdäck och eftersom fordon registrerade i de större städerna i viss utsträckning används för resor till t ex Norrland.

I Oslo gav staden för några år sedan (från 1999-11-01 till 2000-04-30) bidrag till bilägare som lämnade in dubbdäck och samtidigt uppvisade kvitto på köp av dubbfria vinterdäck. Syftet var att reducera andelen dubbdäck i trafiken för att minska partikelbildning och vägslitage. Bidragets uppgick till 250 kr per däck. Samtidigt infördes en avgift för dem som fortsatte att köra med dubbdäck (1 000 kr per vinter). Åtgärderna medförde att 34 000 bilägare i Oslo fick bidrag för inlevererade dubbdäck. Vintersäsongen därpå bortföll bidraget, medan avgiftssystemet behölls. Andelen som körde dubbfritt i Oslo steg från 50 procent till 78 procent under dessa två år. Den statliga målsättningen på 80 procent dubbfritt ansågs därmed uppfylld och avgiftssystemet avvecklades. Senare sjönk andelen som körde dubbfritt något. Tillsammans med skärpta krav på luftkvalitet ledde detta till att avgiftssystemet återinfördes vintersäsongen 2004-2005. Avsikten är att upphäva det igen när dubbfriandelen kommer upp i 90 procent (och att återinföra det om andelen senare skulle sjunka under 80 %). De flesta som fortsatt att använda dubbdäck har köpt en "års-

oblat" (ett årspass). Ett mindre antal bilägare har köpt månadsoblat, medan bilister som gör tillfälliga besök i Oslo kan köpa dagsoblat (Sandberg, 2005).

För att minska dubbdäcksanvändningen i storstäderna i syfte att sänka bullernivåerna och reducera partikelemissionen förefaller det lämpligt att överväga ekonomiska styrmedel och upphandlingskrav. Efter som Oslo modellen fungerat bra borde den utgöra ett förstahandsalternativ för Stockholm och Göteborg. Ett krav som vore enkelt för storstäderna att införa och kontrollera är att ställa krav på att fordon som åtnjuter reducerad parkeringsavgift eller som är helt befriade från att betala för parkering på gatumark under vintern ska vara utrustade med dubbfria vinterdäck. Efterlevnaden kan lätt kontrolleras av städernas parkeringsvakter.

En ytterligare möjlighet är att kommunerna och de statliga myndigheterna i storstadsområdena ställer krav på att de taxibilar, färdtjänstefordon och distributionsbilar som de utnyttjar vintertid ska vara försedda med dubbfria däck. Sveriges kommuner och landsting (2006) föreslår att man vid upphandling av taxi, sjuktransporter och färdtjänst bör ställa krav på att fordonen ska ha dubbfria vinterdäck om trafiken avser något av de tre storstadsområdena.

Man bör komma ihåg att åtgärderna som diskuteras i detta avsnitt endast kan minska bullret under den period dubbdäck är tillåtna.

5.3 Vägbeläggning och underhåll

Det har visats tidigare i denna rapport att däck-vägbanekontakten är den starkaste bullerkällan vid jämn hastighet över 30 km/h för lätta fordon och 50 km/h för tunga fordon. Däck-vägbanekontakten som bullerkälla är fördelaktigt belägen ur bullerdämpningssynpunkt då den är placerad nära marken. Detta gör att absorberande vägbeläggningar och bullerskärmar blir relativt effektiva jämfört med om bullerkällan hade varit belägen över mark (Thorsson, 2003).

Det finns ett flertal olika typer av bullerdämpande vägbeläggningar som används på flera håll i världen:

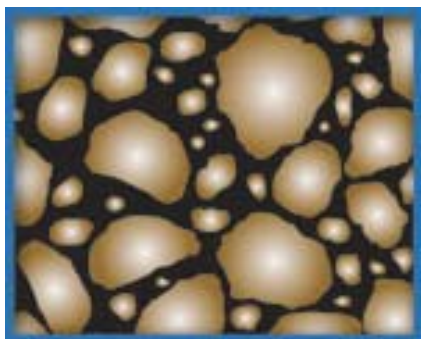
- Porös asfalt (s k dränasfalt), enkelt lager
- Porös asfalt, dubbelt lager
- Stone mastic asphalt (SMA)
- Exposed aggregate cement concrete (EACC).

Dessutom finns det ett flertal vägbeläggningar som är på experimentstadiet, t ex:

- Tunna vägbeläggningar
- Poroelastisk vägbeläggning (PE)

Ett omfattande utvecklingsprogram äger för närvarande rum i Nederländerna med målet att optimera bullerdämpande vägbeläggningar med avseende på bullerdämpning och hållbarhet. Målsättningen är att få fram hållbara vägbeläggningar med en bullerdämpning på 7-9 dB(A) (FEHRL, 2005). De vägghållande myndigheterna i Danmark deltar också i utvecklingsprogrammet. Man måste vara försiktig med att direkt anamma erfarenheter från Danmark och Nederländerna då man inte använder dubbdäck i dessa länder.

I de flesta fall anger man bullerdämpningen som skillnaden i A-vägd bullernivå mellan provbeläggningen och en tät asfaltbetong, vanligtvis ABT11 eller ABT12, eller ABS16. En genomskärningsfigur för tät asfaltbetong visas i figur 5.1 och där kan man se stenar av olika storlekar och inga hålrum mellan stenarna, d.v.s. ingen porositet.



Figur 5.1. Genomskärning av tät asfaltbetong.

Vägbeläggningar med hög bullerdämpning är normalt betydligt dyrare än normala vägbeläggningar. Det är således inte möjligt att belägga hela vägnätet med sådana beläggningar utan dessa bör ses som åtgärder för att dämpa trafikbuller i utsatta lägen.

Den franska motsvarigheten till Vägverket har samlat in akustiska data för många olika vägbeläggningar. En slutsats från studien var att den största stenstorleken påverkar bullernivån på så sätt att nivån ökar med stigande maximal stenstorlek (Nielsen, 2004). Detta gäller för många olika typer av vägbeläggningar. Tyvärr gör en mindre maximal stenstorlek att hållbarheten blir lägre.

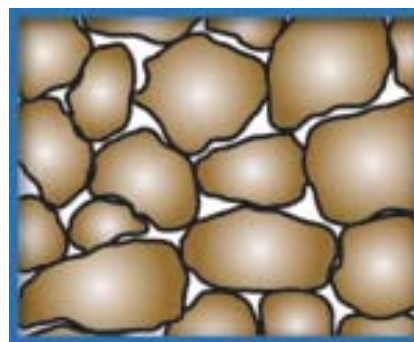
Man diskuterar idag om bullerdämpande vägbeläggningar kan ge ökad mängd hälsovådliga partiklar (PM10) jämfört med vanliga täta beläggningar. Troligtvis är inte halten nämnvärt högre, men man planerar mätningar av detta i Sverige.

Farhågor har också funnits om att bullerdämpande vägbeläggningar medför en ökad bränsleförbrukning genom ett ökat rullmotstånd. Det finns dock inget som tyder på detta idag, i alla fall under stadsförhållanden där hastigheten är ojämn. Man har inte gjort mätningar av rullmotstånd på bullerdämpande vägbeläggningar, men bullerdämpande vägbeläggningar är

ofta släta i ytan vilket borde medföra minskat rullmotstånd (Bendtsen, 2004).

5.3.1 Enkellagers porös asfalt

Porös asfalt utvecklades från början för att dränera bort vatten på vägbanan för att på så sätt minska vattensprut och halvljusblänk samt öka friktionen (van Keulen och Duskov, 2005). Detta blir möjligt genom att ta bort mellanfraktionen (1-4 mm) av stenar och sand och därigenom skapades hålrum mellan stenarna. Ett vanligt mål för porositeten är 15-25 procent för att få en lagom balans mellan å ena sidan dränering och buller och å andra sidan hållbarhet (Sandberg och Ejsmont, 2002). En genomskärningsfigur visas i figur 5.2 där man kan se stora luftfickor mellan stenarna, d.v.s. relativt hög porositet.



Figur 5.2. Genomskärning av en enkellagers porös asfalt.

Porös asfalt dämpar bullret på två sätt: 1) Luftpumpningen mellan vägytan och däcksmönstret är inte så stark som för en tät asfaltyta, och 2) den porösa ytan fungerar som en regelrätt absorbent som minskar utstrålningen (van Keulen och Duskov, 2005).

En porös vägbeläggning som är speciellt inriktad för bullerdämpning bör ha hög porositet, runt 25 %, och vara relativt tjock, åtminstone 40 mm, för att ge en bullerdämpning på 3-5 dB(A) (Sandberg och Ejsmont, 2002). I Nederländerna använder man absorptionsmätningar i rör för att avgöra om en vägbanan är tillräckligt bullerdämpande eller ej. Som tumregel säger man att absorptionsfaktorn skall i alla fall nå 0,85 vid någon frekvens för att vägytan skall vara acceptabel ur bullerdämpningssynpunkt (Bendtsen m fl, 2002).

En porös asfalt har, med sina goda dräneringsegenskaper, god möjlighet att även minska buller vid blöt vägbanan (se tabell 2.1). En porös asfalt med beteckningen 6/16 (förhållandet mellan minsta/största stenstorlek i mm) blev tidigt standardtäcklagret på nederländska motorvägar, då den både gav effektiv dränering samt 4 dB(A) bullerdämpning vid höga hastigheter. Vid låga hastigheter blev det i princip ingen bullerdämpning alls (van Keulen och Duskov, 2005). Den största nackdelen med enkellagers porös

asfalt är att den tätas igen snabbt vid låga hastigheter, vilket minskar bullerdämpningen dramatiskt. Vid högre hastigheter är en enkellagers porös asfalt normalt självrensande.

Det finns andra aspekter på användandet av porös asfalt. Följande stycken gäller för både enkellagers och dubbellagers porösa asfalter. Hög porositet är viktigt för att ge god bullerdämpning, men hållbarheten sjunker med ökande porositet. Det finns även andra viktiga aspekter vid användning av porös asfalt under svenska förhållanden (Nielsen m fl, 2005):

- Lägre ytemperatur vilket kan leda till högre risk för isbildning.
- Ökat behov av vinterväghållning.
- Ökat behov av rengöring.

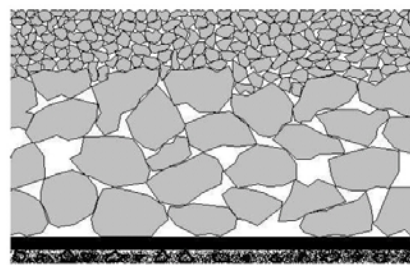
Porös asfalt ökar behovet av saltanvändning vintertid och den kan dessutom behöva rengöras så ofta som vartannat år för att hålla porerna öppna (beroende på klimat och hastighet). Den har visat sig i princip omöjlig att återställa om man har låtit den tätas igen för hårt (Federal Highway Administration, 2005). De danska försöken visade dock att inga speciella problem uppstod med vinterväghållningen (Bendtsen m fl, 2002). En dränerande asfalt kan heller inte vinterväghållas med sand då detta täpper till porerna. Sammantaget gör detta att en speciell vinterväghållningsstrategi är nödvändig för dränerande vägbeläggningar. Erfarenheter från provsträckor i Sverige har också visat att porösa vägbeläggningar slits förhållandevis mer av dubbdäck än täta.

Trots farhågor om ökade risker vintertid finns det ingen uppmätt ökad olycksrisk på de teststräckor man har studerat i Danmark (Bendtsen m fl, 2002). Dock har endast ett fåtal teststräckor analyserats.

Rondeller och skarpa kurvor kan öka bullernivån på grund av ökat tryck mot marken vid sväng. Detta gör att porös asfalt inte kan användas då den är för svag. Istället kan man använda SMA8 (se avsnittet om Stone Mastic Asphalt nedan) (Nielsen m fl, 2005).

5.3.2 Dubbellagers porös asfalt

En dubbel porös asfalt består av ett undre lager med grovt material, t ex 6/16, och ett finare täcklager, t ex 4/8. Detta ger vägytan en jämnare yta, bättre hållbarhet och på grund av den ökade totala tjockleken en större möjlighet till god ljudabsorption (van Keulen och Duskov, 2005). Det finare täcklagret fungerar också som ett filter som förhindrar det dränerande undre lagret att tätas igen.



Figur 5.3. Genomsnitt av en dubbellagers porös asfalt (från Bendtsen m fl, 2002).

Vid en jämförelse mellan dubbellagers porös asfalt och SMA 12/16 mm uppmättes en skillnad i bullernivå på 10 dB(A) nära ett rullande personbilshjul (Mätningar gjorda enligt CPX-metoden enligt ISO/CD 11819-2) (Sandberg och Ejsmont, 2002). Liknande resultat har också uppmätts för lastbilsdäck (de Graaff m fl, 2005).

Idag finns två sträckor i Sverige som är belagda med dubbellagers porös asfalt. Dessa sträckor finns på stora infarter till Stockholm (E18 samt E4). Erfarenheterna hittills har varit goda.

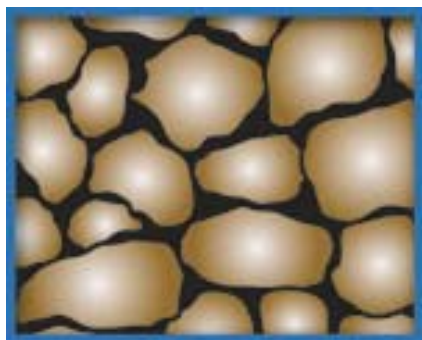
Ett långtidsförsök i Köpenhamn har visat att en nylagd dubbellagers porös asfalt kan ge 5-6 dB(A) mer bullerdämpning än en nylagd vanlig beläggning vid stadstrafik (ABT11, Asfaltbetong med fraktion 0-11 mm). Tyvärr minskade bullerdämpningen gradvis med ökande ålder tills den var endast var 0-1 dB(A) efter sex år (Bendtsen m fl, 2002; Kragh, 2005). Anledningen till försämringarna ansågs vara igentätning och mekaniskt slitage. Ju fler fordonspassager som sker på en porös yta desto mer trycks den samman och porositeten minskar. Med minskande porositet får man sämre bullerdämpning. Noteras bör att man kan se ökande bullernivå med ökande ålder även för tät asfaltbetong; bullernivån kan öka med 2 dB(A) för en sju år gammal beläggning jämfört med när beläggningen var ny (Bendtsen m fl, 2004b).

En dubbellagers porösasfalt verkar dock uppvisa en skillnad i direktiviteten för bullerkällan vid däck-vägbankkontakten. I (Bendtsen m fl, 2002) mätte man också bullernivån vid 1,2 och 5 m höjd vid sidan om provbeläggningarna och jämförde ljudnivåskillnaderna mellan höjderna. Det visade sig att referensbeläggningen (ABT11) endast gav mycket liten skillnad, medan skillnaden var 1-1,5 dB(A) för de olika porösa asfalterna på så sätt att den högre mikrofonpositionen gav lägre ljudnivå. Detta kan ha stor inverkan i de fall där man har skärmat av en väg t ex med en absorberande skärm och endast bullret som strålas ut snett uppåt går över skärmen. Det behövs dock fler studier av direktiviteten för att kunna använda detta vid beräkningar.

Alla aspekter som gäller vinterväghållning av enkellagers dränerande asfalt gäller även för dubbellagers dränerande asfalt.

5.3.3 Stone mastic asphalt/Split Matrix Asphalt (SMA)

SMA utvecklades för att motstå slitaget av dubbdäck. Den liknar porös asfalt i det att man även här tar bort mellanfraktionen av sten och sand. Hållrummen mellan de relativt stora stenarna fylls upp med bitumen och binder. Fördelen med SMA är att den kan ges en mycket slät yta som verkar bullerdämpande för lätta fordon, upp till 2 dB(A) har visat sig vara möjligt. Detta kräver en största stenstorlek om 6 mm, en grövre stenstorlek minskar bullerdämpningen (van Keulen och Duskov, 2005). För tunga fordon har det tyvärr visat sig att det inte fungerar lika bra och i vissa fall ger den till och med ökat buller (de Graaff m fl, 2005). En genomskärningsfigur av SMA/ABS kan ses i figur 5.4. Där kan man se att det endast förekommer relativt stora stenar och att alla hålrum är fyllda med bitumen och binder.



Figur 5.4 Genomskärning av SMA-vägbeläggning.

5.3.4 Exposed aggregate cement concrete (EACC)

EACC är en vägbeläggning som helt består av betong, och den kan utföras antingen som ett eller två lager. I en tvålagarsläggning är det undre lagret en grövre fraktion. Man kan även använda sig av återvunnen krossad betong. Det övre lagret är ett mycket slätt cementlager som tvättas och borstas noggrant i vägens längdriktning för att få de önskade egenskaperna vad gäller ökad friktion, minskat vattensprut och viss bullerdämpning. Långtgående försök i Nederländerna har visat att man kan få en bullerdämpning om 2 dB(A) jämfört med ABS16 om man håller ner stenstorleken (upp till 8 mm). Vid en största stenstorlek om 16 mm fås ingen bullerdämpning alls. Den stora fördelen med EACC är dess hållbarhet; vägarna behöver knappt underhållas alls (van Keulen och Duskov, 2005).

Hållbarheten mot dubbdäck är mycket god. I Sverige finns denna beläggning på E6 strax utanför Falkenberg, och denna håller utmärkt även efter 10 år.

5.3.5 Tunna vägbeläggningar

Med tunna vägbeläggningar försöker man utnyttja de positiva delarna hos både SMA och porös asfalt samtidigt som man håller asfalten tunn (van Keulen och Duskov, 2005). Den typiska tjockleken är 20-30 mm och porositeten är 10-20 procent vilket är jämförbart med porös asfalt. Fördelen med att lagret är tunt är att problemen med igentätning minskas och hållbarheten kommer förhoppningsvis att bli 12-20 år beroende på graden av porositet. Bullerdämpningen är jämförbar med enkellagers porös asfalt; omkring 2-5 dB(A) vid låga hastigheter. Det finns endast få erfarenheter vid högre hastigheter, men experiment i Nederländerna och Frankrike har visat bullerdämpningar på upp till 7 dB(A) vid 100 km/h (van Keulen och Duskov, 2005). Mätningar vid en dansk motorväg visade dock enbart 2-3 dB(A) (Andersen m fl, 2004). Resultat liknande det danska har också uppmätts i andra europeiska länder (Bendtsen och Raaberg, 2005; Bendtsen m fl, 2005a).

För närvarande är dock den teoretiska förståelsen begränsad av hur tunna vägbeläggningar dämpar buller. Det finns vidare tendenser att tunna vägbeläggningar är speciellt effektiva för bussar, men man har inte funnit någon förklaring till detta (van Keulen och Duskov, 2005).

5.3.6 Poroelastisk vägbeläggning (PE)

En poroelastisk vägbeläggning består till största delarna av gummiflagor och polyuretan. Vägytan är således mer elastisk än vanliga vägbeläggningar, vilket medför att hållbarheten är lägre. En poroelastisk vägbeläggning har en porositet jämförbar med porös asfalt, men bullerdämpningen är avsevärt bättre på grund av elasticiteten. Bullerdämpningar på 10 dB(A) för lätta fordon och 7 dB(A) för tunga fordon (med tät asfaltbetong 0/16 mm som referens) har uppmätts i Japan (Fujiwara m fl, 2005).

Enligt Ulf Sandberg kan poroelastisk vägbeläggning finnas för reguljär omläggning om 7-10 år, förutsatt att man satsar på forskning och utveckling av denna. Man kan redan nu slå fast att den kommer att bli avsevärt dyrare än normala vägbeläggningar och kommer således främst att användas som bullerdämpande åtgärd i speciella situationer.

5.3.7 Sammanfattning bullerdämpande vägbeläggningar

Tabell 5.4 (för lätta fordon) och tabell 5.5 (för tunga fordon) ger en överblick över de olika vägbeläggningarnas bullerdämpande förmåga. Bullerdämpningen är given i dB(A) och med tät asfaltbetong 0/16 mm

(ABT16) som referens (van Keulen och Duskov, 2005).

Tabell 5.4. Bullerdämpningar för de olika vägbeläggningarna för lätta fordon (* indikerar osäkra värden).

Vägbeläggning	50 km/h	80 km/h	110 km/h
ABS 0/6	1,1	2,1	2,8*
ABS 0/11	1,0	1,5	1,8*
Enkellagers porös asfalt	-0,2	2,0	3,5
Dubbellagers porös asfalt	3,7	4,9	5,7
EACC	-	0,1	0,4
Tunn vägbeläggning	4*	5*	7*
Poroelastisk vägbeläggning	7-10	-	-

Tabell 5.5. Bullerdämpningar för de olika vägbeläggningarna för tunga fordon (* indikerar osäkra värden).

Vägbeläggning	50 km/h	85 km/h
ABS 0/6	0,8	0,6
ABS 0/11	0,8*	0,6*
Enkellagers porös asfalt	2*	4,3
Dubbellagers porös asfalt	4,6	6,5
EACC	-	2,3
Tunn vägbeläggning	5*	6*
Poroelastisk vägbeläggning	6-7	-

5.4 Hastighet, trafikövervakning och körstil

5.4.1 Skyltad och verklig hastighet

Flera internationella studier har kommit till slutsatsen att sänka hastigheten är en bra bullerdämpningsåtgärd. En hastighetssänkning med 10 km/h leder till 2-3 dB(A) lägre bullernivå beroende på vid vilken av hastigheterna 30-60 km/h man startar från (Bendtsen m fl, 2004b). Siffrorna gäller för en väg med 10 procent tunga fordon. Vidare kan det skilja 9 dB(A) mellan ekvivalentnivåerna för 50 km/h och 110 km/h för personbilar. För den maximala ljudnivån skiljer det ca 8 dB(A). Holländska erfarenheter av att reducera den tillåtna hastigheten på stadsmotorvägar från 100 till 80 km/h visar på betydande fördelar när det gäller buller, trafiksäkerhet och luftkvalitet och att restiderna bara ökar marginellt (European Commission, 2005). Man kan också visa att hastighetssänk-

ningar inte ger högre sammanlagda samhällskostnader utan snarare lägre. Detta beror framför allt på minskad olycksfrekvens (Ohm och Jensen, 2003). Det är dock viktigt att inte enbart skylta vägen till en lägre hastighet. Vägens utformning måste stämma med hastighetsbegränsningen för att efterlevnaden skall bli god.

Skilnaden är så påtaglig att en förbättrad efterlevnad av hastighetsbestämmelserna på 50-, 70- och 90-vägar skulle få stor betydelse för bullernivåerna i angränsande bostads- och rekreationsområden. De innebär också att det kan vara meningsfullt att av bullerskäl reducera den skyltade hastigheten i områden där detta påtagligt skulle minska bullerimmissionen.

5.4.2 Förbättrad hastighetsövervakning

Ett problem beträffande hastighetsöverträdelserna är att manuell hastighetsövervakning är mycket sparsamt förekommande på större trafikleder i storstäderna. Hastighetskameror används inte heller särskilt ofta trots att de skulle ha god effekt på både trafiksäkerhet, buller, koldioxidutsläpp och avgasemissioner. De skulle i en del fall kunna vara ett billigare alternativ än att belägga vägen med dränasfalt eller sätta upp skärmar längs långa sträckor. Om hastighetskamerorna används på lämpliga platser i det kombinerade syftet att minska risken för olyckor och reducera buller, behöver inte hela kostnaden debiteras på bullerbekämpningens konto. En reduktion av den faktiska hastigheten från 80 till 70 km/h minskar bullernivån med 1,5 dB(A). Åtgärden kan kombineras med skyltar som förklarar för bilisterna att området är bullerstört och att lägre fart utgör en del av lösningen på problemet.

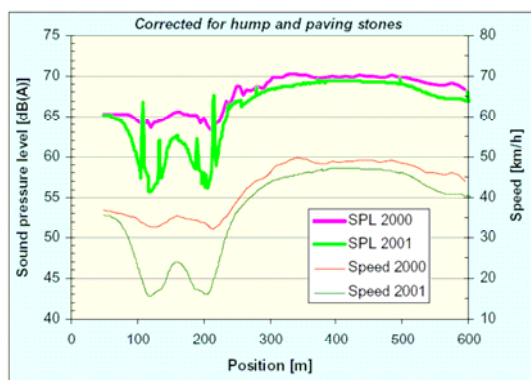
5.4.3 Körstil och hastighetsdämpning

Som visats i föregående avsnitt är bullernivån från vägtrafik starkt beroende av hastigheten. Att minska hastigheten är ett effektivt sätt att minska bullernivån. Det antyddes vidare att man samtidigt måste skapa ett jämnt trafiktempo utan kraftiga accelerationer eller inbromsningar. Den personliga körstilen gör att det kan skilja upp till 4 dB(A) beroende på varvtal och inslag av acceleration. Ökad utbildning i sparsam körning kan bedömas få en gynnsam effekt på bullernivån, i varje fall vid hastigheter upp till 50 km/h.

Inverkan av körstilen innebär t ex att enstaka vägbulor inte är en effektiv metod att dämpa bullret, då detta kan skapa en ryckigare körstil. Det har till och med visat sig att bullernivån kan öka i vissa fall (Kennedy m fl, 2005). Dessa hypoteser har bekräftats med mätningar kombinerade med enkäter i Danmark. Där fann man att de boende i närheten av en vägbula blev mer störda av trafiken efter vägbulan installerats, trots att bullernivån sjönk med 1-4 dB(A). Man fann ingen heltäckande förklaring till detta, men man misstänkte att acceleration och inbromsning i alla fall hade del i

detta. I figur 5.5 kan man se kraftiga toppar före och efter en vägbula. Man ser också tydligt att hastigheten endast sjunker betydligt i närheten av vägbulan.

Man mätte även högre bullernivåer vid låga frekvenser (< 250 Hz) i närheten av vägbulan vilket kan vara en annan del i förklaringen, eftersom vanliga husfasader har en lägre ljudisolering vid låga frekvenser och att ljudnivån inomhus därigenom blev högre än innan (Bendtsen och Ellebjerg Jensen, 2001). Detta kommer av acceleration efter vägbulan, och då främst från tunga fordon som bullrar avsevärt mer under acceleration än lätta.



Figur 5.5. Exempel på bullernivåer runt en vägbula. Värden för år 2000 är före vägbulan byggdes och 2001 efter. Värdena är för en medelbil (från Bendtsen m fl, 2004b).

Ett bättre alternativ är istället att anlägga en rad vägbulor med relativt kort avstånd mellan. En sådan åtgärd har visat sig sänka hastigheten på längre sträckor, och denna hastighetssänkning ger minskat buller. I vissa fall kan man till och med mäta lägre hastigheter i det omkringliggande gatunätet efter att hastighetsdämpande åtgärder anlagts (Lindqvist, 2003). Vilket avstånd som är lämpligt mellan guppen beror på vilken hastighet som eftersträvas, se tabell 5.6. För att minska risken för störningar vid bostäder bör guppen, om möjligt, anläggas minst 30 m från närmaste fasad.

Noteras bör att man även kan använda förhöjda övergångsställen och korsningar som vägbulor.

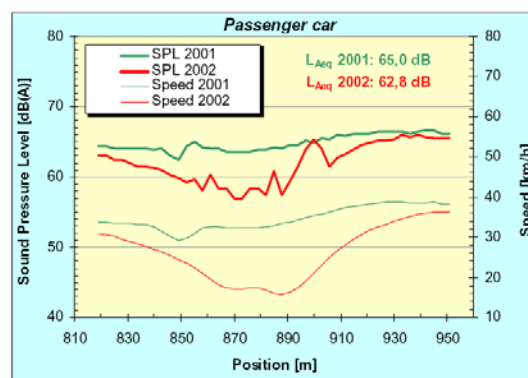
Tabell 5.6. Avstånd mellan gupp för olika hastigheter (Lindqvist, 2003).

Hastighet	Avstånd
30	75 m
40	100 m önskvärt, 150 m max
50	150 m önskvärt, 250 m max

Man har vidare funnit att förflyttningar av fordon i sidled är bättre från bullersynpunkt än att förflytta

dem i vertikalled, såsom vid vägbulor (Bendtsen m fl, 2004b).

Vid korsningar genereras buller på grund av accelerationer och inbromsningar trots att hastigheterna generellt är låga. Vid accelerationer domineras bullret av bidraget från motor och avgassystem och bullerdämpande vägbeläggningar är därför inget effektivt alternativ. Rondeller kan användas för att sänka bullret jämfört med korsningar. Detta beror på att trafiken löper jämnare genom en rondell med färre kraftiga accelerationer och inbromsningar (Bendtsen m fl, 2004b). Detta kan ses tydligt i figur 5.6 där beräknade bullernivåer före och efter byggandet av en rondell visas.



Figur 5.6. Beräknade bullernivåer före och efter byggandet av en rondell istället för en vanlig korsning (från Bendtsen m fl, 2004b).

Man kan även använda psykologiska metoder för att dämpa trafikbuller, något som är mer vanligt förekommande som åtgärd för att minska antalet trafikskador. Sådana metoder kan bygga på följande principer:

- Höjd visuell komplexitet, d.v.s. ökad kognitiv belastning.
- Förkorta siktlängden.
- Bryta upp enformiga vyer.
- Skapa oförutsägbarhet.
- Förtydliga miljöförändringar, t.ex. stadsgränser.

Den gemensamma faktorn bakom dessa principer är att få trafikmiljön att verka farligare utan att den blir det, d v s öka den uppfattade risken men inte den faktiska. Några exempel på detta:

- Minska vägens uppfattade bredd.
- Fler kurvor på en annars rak väg.
- Portaler.
- Ändringar i vägytans färg och textur
- Utbyggnader delvis in i vägbanan.

Det har visats genom enkäter, laboratorieförsök och praktiska försök att dessa åtgärder kan minska medelhastigheten med upp till 15 km/h. I försöken visade

det sig också att kombinationer av flera olika åtgärder var mer effektiva än individuella åtgärder (Kennedy m fl, 2005).

Vid långtidsförsök med 21 ombyggda genomfarter genom samhällen i Danmark har det visat sig att den efter kort tid uppmätta hastighetssänkningen består även efter längre tid. Åtta år efter det att åtgärden vidtogs var medelhastigheterna faktiskt något lägre än precis efter att åtgärderna var genomförda (Vejdirektoratet, 2005).

Huvudidéerna med att kontrollera körstilen är således att

1. Sänka hastigheten och därmed få ner bullret. En sänkt hastighet ger även andra fördelar, t.ex. lägre antal olyckor.
2. Öka jämnheten i trafikflödet så att acceleration och inbromsningar minskas och därigenom minska bullret.

Sammanfattningsvis kan man säga att vid val av fardämpande åtgärder på bostadsgator är det viktigt att utforma hindren så att de inte ger upphov till ryckig körning med ett stort inslag av accelerationer och inbromsningar. Detta gäller särskilt tunga fordon, inklusive stadsbussar, som ger upphov till höga ljudnivåer under acceleration.

5.5 Samhälls- och trafikplanering

Samhällsplanering är en effektiv och billig metod att bekämpa trafikbuller i ett långsiktigt perspektiv. Det är viktigt att ta vara på denna möjlighet. Framför allt bör översiktsplanen eller andra större områdesplaner som en kommun eller region tar fram behandla bullersituationen. Det finns en stor utvecklingspotential för detta i Sverige.

I den tyska Celle har man sedan 20-30 år planerat staden bland annat med hänsyn till trafikbuller. Detta fokus har resulterat i betydligt lägre bullernivåer i stora delar av staden. Några exempel på vad man har genomfört (Bendtsen m fl, 2004a):

- Breda gator har gjorts smalare för att minska flödet och sänka hastigheterna.
- Sänkta hastigheter allmänt.
- Utökad infrastruktur för cyklister.
- Stora parkeringsmöjligheter utanför stadens absoluta centrum.
- Hastighetskontrollerade trafikljus. Om ett ankommande fordon har för hög hastighet slår trafikljuset om till rött tills fordonet stannat, och först därefter slår det om till grönt igen. Om hastigheten däremot är inom gränserna försöker trafikljuset göra sitt bästa för att ge grönt ljus direkt.

Bendtsen m fl (2005) presenterar ett förslag till verktyg som kan användas för att ta med trafikbuller i samhällsplaneringen på så sätt att man sätter trafikbullergränser för detaljplanens olika markanvändningsområden. Förslaget använder sig av fyra olika bullerzoner för att tydliggöra ett samhälles olika grader av tillåten bullerexponering:

- Zon A: Tysta områden där bullernivån inte skall överstiga 45 dB(A).
- Zon B: Bostadsområden där bullernivån inte skall överstiga 55 dB(A).
- Zon C: Bullerexponerade områden där bullernivån inte skall överstiga 65 dB(A).
- Zon D: Kraftigt bullerexponerade områden som normalt ligger nära kraftigt trafikerade vägar och andra starka bullerkällor.

Att sänka bullernivån i ett läge där en väg med betydande trafik dominerar bullersituationen genom att minska antalet fordon på vägen är svårt. En minskning av antalet fordon med 10 procent medför endast 0,5 dB(A) lägre ekvivalent bullernivå och en minskning med 50 procent medför 3 dB(A) lägre ekvivalent bullernivå. Om man tar bort alla tunga fordon från en väg med 10 procent tunga fordon blir bullersänkningen 1-2 dB(A). Jämfört med andra åtgärder är dessa effekter små i relation till kostnaderna.

Thorsson har gjort beräkningar som visar att det finns möjligheter att sänka bullernivån inne i ett tätbebyggt stadsområde om man flyttar ut den trafik som löper genom området. Bäst resultat får man om all trafik koncentreras till en gata i varje riktning. Bullernivån vid dessa gator blir naturligtvis hög, men detta kan kompenseras genom att bullerdämpande åtgärder endast behöver användas på dessa gator samt att man inte bör anlägga bostäder där. Väldigt lite trafik kan tillåtas på övriga gator om man vill behålla låga bullernivåer. Ett alternativ är att göra om dem till ”gårdsgator” där bilar får köra, men på de gåendes alternativ. Om man spred trafiken jämnt över alla gator blev resultatet sämre, dvs ett större område påverkades av höga trafikbullernivåer (Thorsson, 2003).

Ett annat exempel på trafikomläggningar som gav goda resultat är i Baltimore, USA. Där lade man om flödet på en enkelriktad trefilig gata till dubbelriktad med en fast fil i varje riktning. Under rusningstid använde man sig av den tredje filen i den riktning som trafiken var störst. De boende ansåg att både hastigheter och bullernivåer sjönk betydligt efter trafikomläggningen (The Sun, 2005).

6. ÅTGÄRDER FÖR ATT REDUCERA BULLER NÄRA KÄLLAN

6.1 Bullerskärmar och bullervallar

Bulldämpning med hjälp av bullerskärmar eller bullervallar är endast möjligt i ett läge som är dominerat av ett direkt ljudfält (se kapitel 2). Sådana lägen återfinns oftast i glesare stadsmiljöer såsom förorter (Thorsson, 2003). I en tät stadsmiljö ger bullerskärmar endast lokala förbättringar precis bakom skärmen.

6.1.1 Faktorer som påverkar bullerdämpningen

Man mäter en skärms bullerdämpande förmåga med hjälp av termen insättningsdämpning. Insättningsdämpningen påverkas av följande faktorer:

- Bullerskärmens höjd, bredd och längd.
- Formen och bredden på bullerskärmens krön.
- Bullerkällans läge i förhållande till skärmen.
- Mottagarens läge i förhållande till skärmen.
- Bullerkällans frekvensspektrum.
- Ljudisoleringen för bullerskärmen.

En högre bullerskärm ger högre insättningsdämpning och det som är viktigast är skärmens höjd relativt bullerkällans höjd. Här inverkar givetvis den omgivande terrängen så att den effektiva skärmhöjden kan bli både högre och lägre. En bullerskärm som ställs nära bullerkällan ger också högre insättningsdämpning än en som står längre bort. Man bör dock komma ihåg att insättningsdämpningen i praktiken begränsas till 20-25 dB p g a spridning från turbulens i luften (Daigle, 1999).

Vägverket har konstaterat att bullerskärmar ger en praktisk insättningsdämpning på högst 6-12 dB(A) och bullerskärmar skall användas främst som en sista åtgärd om inga andra möjligheter finns (Strømmer, 1998).

En bullervall av jordmassor är ungefär lika effektiv som en tunn skärm, men kan endast användas då det finns tillräcklig bredd tillgänglig. Ekonomiskt sett kan den vara mycket effektiv i de projekt man har ett överskott på fyllnadsmassor som då inte behöver transporteras från platsen.

En extrem form av bullerskärm är överdäckning av vägen. Detta har använts till exempel i Danmark med goda resultat, men detta förutsätter bruk av ljudabsorbenter inne i överdäckningen för att minska bullernivån kring öppningarna (Bendtsen m fl, 2004a). I Sverige har man använt denna metod för att bl a dämpa buller från järnvägstrafik.

En speciell form av bullerkälla finns vid broskarvar. Dessa är ofta utformade som tvärgående band över vägbanan och när ett fordon kör över skarven bildas ett skarpt ljud som kan verka mycket störande. Ett sätt att reducera störningen från skarvar är att sätta en bullerskärm precis vid skarven, men det är mer kostnadseffektivt att utforma skarven på ett mjukare sätt t ex i form av överlappande fingrar från brofästet och brobanan. På detta sätt reduceras själva bullerkällan istället.

6.1.2 Speciell utformning av skärmkrönet

En T-formad bullerskärm är mer effektiv än en vanlig tunn skärm utan krön. Insättningsdämpningen är något lägre för Y-formade eller pilformade skärmar. Mätningar vid praktiska försök har bekräftat en 1-2 dB(A) högre insättningsdämpning för en T-formad skärm än för en vanlig tunn skärm med eller utan ljudabsorption (May och Osman, 1980; Kaptein m fl, 2004). Man har också funnit att skärmar med flera krön normalt har en högre insättningsdämpning än skärmar utan speciellt utformade krön. Crombie m fl har visat att det är främst den ökade bredden för skärmen som ger den ökade insättningsdämpningen och inte antalet krön (Crombie m fl, 1995).

Denna slutsats bekräftas av en nederländsk genomgång av många olika speciellt utformade skärmkrön. Man kom fram till slutsatsen att inte finns fog att använda speciellt utformade krön istället för T-formade så länge som man inte behöver göra krönet avsevärt smalare (Morgan, 2004). Man noterar också att det är svårt att jämföra olika skärmtypen då det inte finns något internationellt standardiserat sätt att klassificera skärmars insättningsdämpning. Detta beror i sin tur på att insättningsdämpningen beror på många faktorer (se ovan).

Praktiska försök på en befintlig skärm på E18 norr om Stockholm har påvisat en ökad insättningsdämpning med hjälp av ett cylindriskt ljudabsorberande krön (Malker m fl, 2004). Mätningar och beräkningar var överensstämmande om 4-5 dB(A) högre insättningsdämpning, vilket motsvarar insättningsdämpningen för en avsevärt högre skärm. De uppnådda förbättringarna förutsätter att hela skärmen utrustas med det ljudabsorberande krönet samt en geometri med relativt hög effektiv skärmhöjd, d v s en relativt stor diffraktionsvinkel.

6.1.3 Ljudabsorberande material och bullerskärmar

Ljudabsorberande material på bullerskärmar gör att bullret absorberas och inte reflekteras till potentiellt känsliga områden. Dessutom är merkostnaden för en absorbent på skärmen låg, runt 200 kr/kvm jämfört med kostnaden för en hård skärm som är i storleksordningen 2 000 kr/kvm. För en enskild bullerskärm på en sida om en väg ger dock absorbenter inte alltid

någon större förbättring. Insättningsdämpningen ökar för vissa skärmformer medan den sjunker för andra. Det finns dock vissa fall där ljudabsorbenter ökar effektiviteten:

- På översidan av en T-formad skärm (de Roo m fl, 2004).
- På hårda ytor som annars skulle reflektera trafikbuller till känsliga områden, t ex väggar i närheten av vägar eller vid bergsskärningar.
- På parallella skärmar på bägge sidor om en väg.

Ljudabsorberande material minskar även risken för multipla reflexer mellan parallella skärmar som annars sänker insättningsdämpningen. Denna effekt ökar med stigande skärmhöjd och minskande avstånd mellan skärmarna, men för relativt låga skärmar långt isär är effekten liten (< 1 dB(A) för 2 m höga skärmar 30 m isär). Problemet med multipla reflexer kan också undvikas genom att vinkla bullerskärmarna företrädesvis nedåt (Watts och Godfrey, 1999).

Bullerskärmar i vägens mittområde kan användas för att förbättra insättningsdämpningen för breda vägar, t ex motorvägar, där den börsta delen är långt från en bullerskärm vid sidan om vägen och följaktligen mindre effektiv. Försök i Nederländerna har visat att en bullerskärm i vägens mittområde själv kan ge 1-2 dB(A) bullerdämpning. Tillsammans med 3,5 m höga bullerskärmar på bägge sidor kan en 2 m hög skärm i mittområdet ge en ytterligare bullerdämpning om 2-3 dB(A) (IPG, 2005a).

6.1.4 Bullerskärmens längd och ljudisolering

Bullerskärmens längd är mycket viktig för slutresultatet, och ju högre skärm (d v s högre insättningsdämpning) desto viktigare blir längden (Thorsson, 2003). Dessutom kan, som visats ovan gällande vägbulor, stora förändringar i bullret i sig vara störande, som exempelvis när ett fordon blir synligt där en bullerskärm tar slut. Eventuella öppningar i en bullerskärm minskar också effektiviteten betydligt. Om genomgångar behövs måste man utföra dessa omsorgsfullt samt hindra reflektioner genom öppningarna med hjälp av välplacerade absorbenter (Herman och Clum, 2002).

Det är viktigt att bullerskärmen har tillräckligt hög ljudisolering för att slutresultatet skall bli bra, annars bidrar ljudtransmissionen genom skärmen för mycket. Tunna skärmar har generellt en lägre ljudisolering, och speciellt glasskärmar kan ha så dålig ljudisolering att insättningsdämpningen kan sjunka med 5 dB vid frekvenser runt 200 Hz (Jean, 2000).

6.2 Ljudabsorption som bullerdämpande åtgärd

Absorbenter kan göra mycket stor nytta om man kan placera dem i närheten av bullerkällan. Välplacerade absorbenter kan sänka källstyrkan och därmed sänka bullernivån (från källan i fråga) oavsett mottagarpunkt. För trafikbuller är det dock ofta svårt att placera absorbenter tillräckligt nära, men t ex en kraftigt absorberande vägbeläggning skulle vara en möjlighet i framtiden. I vissa lägen är en absorbent på en bullerskärm en effektiv bullerreducerande åtgärd (se förra avsnittet). Andra tänkbara åtgärder är att klä närliggande husfasader med ljudabsorberande material. Vid bergsskärningar kan det också vara effektivt att dämpa reflexen i bergssidan.

Ett speciellt fall där man kan använda ljudabsorbenter för att sänka trafikbullernivån är runt tunnelmynningar. Då tunnelns väggar normalt är akustiskt hårda skapas höga ljudnivåer inne i tunneln, och dessa strålas sedan ut från mynningen. Detta får också till följd att bullerkällans höjd blir högre vilket i sin tur gör att bullerdämpningen av eventuella skärmar runt tunnelmynningen blir avsevärt lägre. Man kan undvika denna effekt genom att antingen klä den del av tunneln som är närmast mynningen, t ex de närmaste 20 m in från mynningen, med ljudabsorbenter, eller genom att bygga ett bulleravskärmande tak eller hus runt tunnelmynningen. Byggnationen bör då vara klädd med ljudabsorbenter på insidan. Utformningen av en bullerdämpad tunnelmynning måste göras specifik för varje plats.

Man kan sänka bullernivån i en sluten innergård genom att introducera ljudabsorberande material på fasader eller mark. Detta gör att efterklangstiden, ekot, i innergården sänks och därmed sänks även bullernivån.

Möjligheten att dämpa buller genom tillförd ljudabsorption beror starkt på den befintliga mängden absorption. Ju mindre absorption som finns, desto större är möjligheterna att sänka bullernivån. För en sluten innergård med endast hårda ytor, t.ex. betong eller puts, kan tillförd absorption sänka bullernivån med åtminstone 10 dB i det frekvensområde där absorbenten fungerar effektivt (Ögren, 2004).

Absorbenter bör placeras där de gör störst nytta, d.v.s. där sannolikheten att de träffas av en ljudvåg är som störst. Därför bör de placeras på fasaderna inne i innergården (alternativt på fasaderna runt en gata) (Ögren, 2004). Även marken kan användas som absorbent genom att täcka den med absorberande material, t ex porös asfalt eller gräs. Genom växtlighet på marken och på fasaderna i en innergård kan man sänka trafikbullernivån där med 3-4 dB(A), enligt en tysk studie (Feldmann m fl). Således finns möjligheten att använda murgröna eller annan lämplig växtlighet som täcker stor yta med ett relativt tätt bladverk som bullerdämpande åtgärd.

I tabell 6.1 anges ett antal exempel på material som kan användas som ljudabsorbenter utomhus. Generellt gäller att absorbenten behöver vara minst 40 mm tjock för att vara lämplig för trafikbuller. Absorptionsgraden kan anges m h a standardiserade absorptionsklasser A-E, där A motsvarar högst absorption. Alla kostnader ges ungefärligt i kr/kvadratmeter och inklusive normal montering, d v s i ej svåråtkomliga situationer.

Tabell 6.1. Absorbenter för utomhusbruk.

Material	Absorptions- klass
30 mm cementbunden träull med 45 mm luftspalt bakom	C
30 mm cementbunden träull med 45 mm mineralull bakom	A
Kantställt håltegel med 45 mm mineralull bakom	C
Perforerad plåt med lätt plastfolie och 45 mm mineralull bakom	A
Mikroperforerad plåt med 50 mm luftspalt bakom.	C

7. FEM FALLSTUDIER

För att illustrera hur man kan åtgärda olika typer av bullriga områden i städer så valdes fem platser ut med olika typer av bullerproblem, två områden valdes i Göteborg och tre i Stockholm. Dessa områden är:

1. Skanstullsområdet, Stockholm
2. Trekanten, Stockholm
3. Nackareservatet, Stockholm
4. Trädgårdsföreningen, Göteborg
5. Vasaparken, Göteborg

Alla fem platserna är någon form av stadspark eller stadsnära rekreationsområde som används av de boende för rekreation och avkoppling. Varje plats har sina speciella förutsättningar när det gäller att minska bullret och varje plats kräver en egen uppsättning åtgärder. Ingen plats är den andra lik och även om man har ett antal grundverktyg att arbeta med så är det viktigt att skräddarsy ett åtgärdsförslag för varje individuell plats för att alltid kunna uppnå ett riktigt bra resultat. I var och en av de fem fallstudierna beskrivs hur platserna används och hur de låter, både med måttal och i ord, effekten av olika åtgärder beskrivs för den aktuella platsen beskrivs och ett förslag på åtgärder presenteras tillsammans med en kostnadsuppskattning.

Åtgärder av typen tystare fordon eller tystare däck har inte tagits med i fallstudierna då ledtiderna för dessa åtgärder är långa. Fallstudierna använder åtgärder som är direkta, d v s åtgärder där den bullerdämpande effekten kan mätas direkt efter åtgärderna utförts. Sådana åtgärder är bullerdämpande vägbeläggning, bullerskärmar, hastighetssänkningar samt trafikomläggningar.

I alla typer av sådana här sammanställningar ställs man inför problemet med vilken typ av material som skall presenteras och vad som är av intresse för läsaren, så även här. Vi har valt att redovisa alla måttal i A-vägda ekvivalentnivåer. Hörbara spektrala förändringar samt transienta ljud som inte påverkar ekvivalentnivån men som kan vara nog så påfrestande för den som försöker koppla av beskrivs med ord i texten. Vi har också valt att inte behandla spårvagnarna i de två fallstudierna som är gjorda i Göteborg eftersom spårvagnarna är ett naturligt inslag i trafiken i Göteborg och därför inte kan eller bör tas bort och dessutom är svåra att åtgärda med samma medel som vägtrafik.

Vägtrafiken har modellerats enligt källmodellen i Nordisk beräkningsmodell för vägtrafikbuller (Naturvårdsverket, 1996). Utbredningen har beräknats med analytisk diffraktion (Salomons, 1997) för enskilda diffraktioner och med platta staden-modellen (Thorsson m fl, 2003) för multipla reflexer. Alla beräkningar har gjorts åtminstone för frekvensområdet 50 Hz - 5 kHz och med en frekvensupplösning på minst tersbandens mittfrekvenser. A-vägda nivåer har sedan

beräknats från frekvensspektrat i varje mottagarpunkt. Beräkningarna har kontrollerats med korttidsmätningar för de flesta områdena med tillfredsställande resultat vad gäller ekvivalentnivåer.

Kostnadsuppskattningarna är beräknade efter underlaget som presenteras i kapitel 8. Kostnaderna är redovisade som en genomsnittlig årlig kostnad under en 10-årsperiod och som total merkostnad under 10 år jämfört med användning av enbart vägbeläggningen ABT16. Bullerskärmar och hastighetskameror räknas således till fulla kostnaden som en merkostnad, medans merkostnaden för vägbeläggningar är en nettokostnad. Anläggningskostnaderna avskrivs under 10-årsperioden och inkluderar en årlig ränta om 4 procent. Räntekostnader har inte lagts på den årliga driftskostnaden.

7.1 Skanstullsområdet, Stockholm

Beskrivning

Skanstull är en av Stockholms gamla tullar och en av tre förbindelser mellan Södermalm och fastlandet. Vid Skanstull ligger Hammarbyslussen som förbinder Saltsjön (Hammarbysjön) med Mälaren (Årstaviken). Längs Hammarbykanalen öster om Skanstullsområdet går ett populärt gång- och cykelstråk som efter passage av slussen fortsätter västerut längs Årstavikens norra strand. Strax väster om Skanstull ligger Eriksdalsbadet som utöver inomhusbadet har ett större utomhusbad som är öppet sommartid. Inom området finns också Eriksdalslunden med serveringar och flera båtklubbar. På båda sidor om Årstaviken finns kolonistugeområden. En flygbild över området visas i figur 7.1 där gång- och cykelstråket är markerat som en blå linje.



Figur 7.1. Flygbild över Skanstullsområdet, Stockholm.

Ljudlandskapet

Höga ekvivalentnivåer, > 55 dB(A), förekommer främst nära broarna, och det är mycket folk som promenerar på gångstråken rakt under broarna. Den hörbart starkaste källan är Johanneshovsbron som har

mest trafik och högst hastighet, men även de andra broarna bidrar tydligt i vissa lägen. Vid koloniträdgårdarna strax norr om Eriksdalsbadets utomhusdel är också Ringvägen klart hörbar.

Bullersituationen idag

Skanstullsområdet är komplext och påverkas av buller från tre vägbroar, en tunnelbanebro och några angränsande gator. Johanneshovsbron, som förbinder Nynäsvägen (väg 73) med Södertunneln, består av en högbro med 70 km/h som skyltad hastighet. Nedanför den finns Skanstullsbron som förbinder Nynäsvägen med Götgatan och är skyltad för 50 km/h men ofta utnyttjas av fordon som framförs i 60-70 km/h. Längst ner ligger Skansbron som förbinder Hammarby med Södermalm. Den är skyltad för 50 km/h och öppnas för passerande fartyg och segelbåtar. Från norr störs Eriksdalsområdet av buller från Ringvägen, en kraftigt trafikerad gata på Södermalm.



Figur 7.2. Flygbild över Skanstullsområdet med viktiga bullerkällor utsatta.

I figur 7.3 syns det tydligt att hela området är utsatt för höga trafikbullernivåer, mellan 50 och 60 dB(A) (45-50 dB(A) är eftersträvarnsvärt för stadsparker). Ekvivalentnivåerna blir lägre ju längre bort från bronerna man kommer. I figuren är inte bullret från tunnelbanetågen medräknat, men bullernivåerna från dessa var inte dominerande. Vidare ser resultaten lite märkliga ut längs Johanneshovsbron norra del vilket beror på att viss förenkling av geometrin var nödvändig för att kunna göra tillräckligt detaljerade beräkningar med god noggrannhet. Skillnaden inne i intresseområdet närmare vattnet och vid Eriksdalsbadets utomhusdel bedöms som små, under 1 dB(A). Götgatan modellerades heller inte i hela sin längd. Inte heller detta påverkar resultaten i intresseområdet.

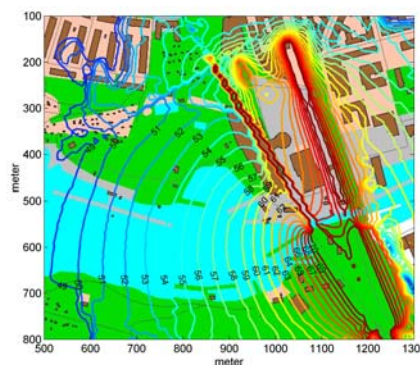
Åtgärdsalternativ

Förutsättningarna för åtgärder är ganska bra, främst eftersom att de kraftigaste bullerkällorna är samlade till broarna. Översiktliga beräkningar har gjorts för många olika kombinationer av åtgärder, främst kombinationer som verkar realistiska att genomföra, men

beräkningar har även gjorts för mycket omfattande åtgärder för att studera hur mycket man skulle kunna sänka bullernivån med alla tänkbara medel. Åtgärds-kombinationerna som visas nedan är de som verkar mest realistiska ur kostnadseffektivitetssynpunkt.

1. Byte till dubbellagers dränasfalt på Johanneshovsbron.
2. Den befintliga skärmen på Johanneshovsbron förlängs till hela bronns längd.
3. Kombination av åtgärderna 1 och 2.
4. Bullerskärm enligt 2 samt dubbellagers dränerande asfalt på Skanstullsbron.
5. Bullerskärm enligt 2 samt hastigheten kontrollerad till 50 km/h på Skanstullsbron.

Resultaten för dessa åtgärder presenteras i följande avsnitt.



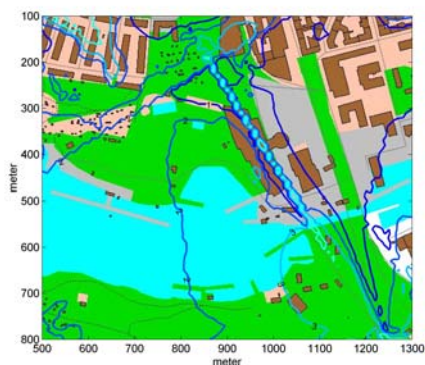
Figur 7.3. Befintliga trafikbullernivåer i Skanstullsområdet (L_{Aeq24h}).

Åtgärd 1- Resultat

Denna åtgärd består av byte av vägbeläggning till dubbellagers dränerande asfalt på Johanneshovsbron. Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna (se figur 7.3) visas i figur 7.4. Bullernivån har sänkts med ungefär 2 dB(A) i intresseområdet. Anledningen till att dämpningen inte blir större är dels den befintliga skärmen på Johanneshovsbron samt att det finns många andra källor som är ungefär lika starka.

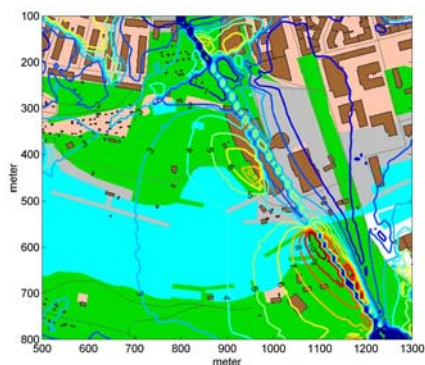
Åtgärd 2 - Resultat

Här har den befintliga bullerskärmen på Johanneshovsbron sträckts ut till hela bronns längd. Höjden på den nya skärmdelen har i beräkningarna varit 1,5 m, och den bör vara ljudabsorberande på den sidan som vetter mot trafiken för att inte höja bullernivån på den östra sidan om bron. Även den befintliga skärmen bör göras absorberande.



Figur 7.4. Trafikbullersänkning genom att lägga dubbellagers dränasfalt på Johanneshovsbron.

Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna i figur 7.3 visas i figur 7.5. Trafikbullernivån har nu sänkts med omkring 3-5 dB(A) i området.



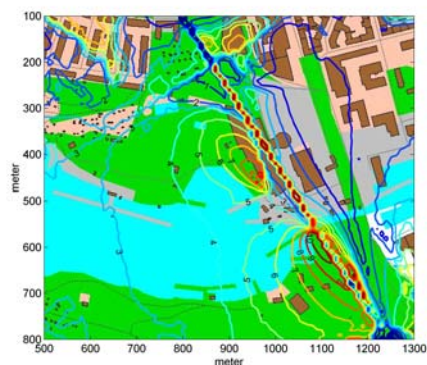
Figur 7.5. Trafikbullersänkning genom att sträcka ut bullerskärmen på Johanneshovsbron till hela bronslängd.

Åtgärd 3 - Resultat

I figur 7.6 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man kombinerar en dubbellagers dränerande asfalt på Johanneshovsbron samt att bullerskärmen sträcks ut enligt ovan. Bullernivån har sänkts med 3-4 dB(A), vilket inte är en större förändring jämfört med enbart skärmen. Detta beror främst på att det finns andra starka bullerkällor i närheten. När den starkaste källan, Johanneshovsbron, har dämpats dominerar dessa istället och ytterligare dämpning av Johanneshovsbron ger ingen effekt. Noteras bör att den dränerande asfalten ger positiva effekter på östra sidan om bron där ingen skärm finns.

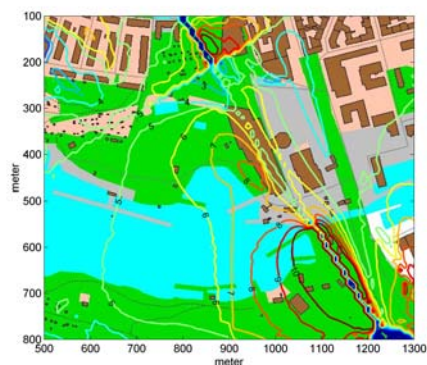
Åtgärd 4 - Resultat

I figur 7.7 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man förutom den utsträckta bullerskärmen på Johanneshovsbron enligt åtgärd 2 även bytte vägbeläggningen på Skanstullsbron till dubbellagers



Figur 7.6. Trafikbullersänkning genom att kombinera utsträckt bullerskärm med dubbellagers dränerande asfalt på Johanneshovsbron.

dränerande asfalt. Bullernivån har nu sänkts med 5-7 dB(A) i hela området. Detta är betydande bullerdämpningar.



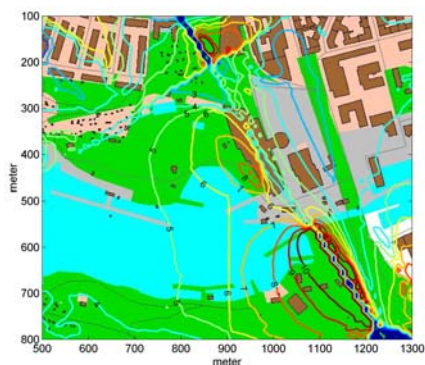
Figur 7.7. Trafikbullersänkning genom att kombinera en utsträckt bullerskärm på Johanneshovsbron med dubbellagers dränerande asfalt på Skanstullsbron.

Åtgärd 5 - Resultat

Här kombineras den utsträckta skärmen på Johanneshovsbron med hastighetskontrollerande åtgärder på Skanstullsbron så att hastigheten blir högst 50 km/h. Enligt uppgift håller trafiken på den bron gärna högre hastighet än de skyltade 50 km/h. Den sammanlagda effekten av dessa åtgärder syns i figur 7.8. Det är tydligt att i det aktuella fallet ger hastighetssänkningen en betydande effekt och är nästan lika effektiv som den dränerande asfalten i åtgärd 4.

Ekonomiska aspekter

I tabell 7.1 visas en genomgång av ungefärliga merkostnader för de olika åtgärdsalternativen jämfört med kostnaderna för referensbeläggningen ABT16. I kostnadsberäkningarna ingår kostnader för upprivning, anläggning (inklusive ev dräneringsrör), ev omläggningar samt drift i form av tvättning, rensning och saltning.



Figur 7.8. Trafikbullersänkning genom att kombinera utsträckt bullerskärm på Johanneshovsbron med kontrollerad hastighet på Skanstullsbron.

Tabell 7.1. Bullerdämpning och kostnader för de olika bulleråtgärderna. Merkostnaderna är jämfört med enbart ABT16.

Åtgärd	Buller- dämpning, dB(A)	Årskostnad	Merkostnad anläggning + 10 års drift
1	2	370 000	2 580 000
2	3-5	350 000	3 480 000
3	3-6	720 000	6 060 000
4	5-7	690 000	5 890 000
5	4-7	710 000	7 080 000

Slutsats

Goda bullerdämpningar kan uppnås i Skanstullsområdet med relativt begränsade åtgärder. Främst bör de två större broarna åtgärdas, d v s Johanneshovsbron och Skanstullsbron. Byte av vägbeläggningar till bullerdämpande typer och begränsade hastigheter ger trafikbullersänkningar i hela Skanstullsområdet till skillnad från anläggning av bullerskärm som endast påverkar trafikbullerutbredningen i ett väderstreck. I motsatt riktning och parallellt med broarna ger bullerskärmar ingen dämpning. Genom att förlänga den befintliga skärmen på Johanneshovsbron med en absorberande skärm samt att dämpa hastigheten på Skanstullsbron kan man sänka trafikbullernivån i området väster om broarna till 45-50 dB(A). Högst nivåer fås även efteråt nära broarna. Om man samtidigt anlägger dubbeldrainerande asfalt på Johanneshovsbron får man liknande nivåer även på andra sidan broarna.

7.2 Trekanten, Stockholm

Beskrivning

Trekanten är ett grönområde beläget sydväst om Södermalm inkilat mellan Essingeleden (E4/E20) och Södertäljevägen. Området ligger i anslutning både till bostäder och kontor och används både för avkoppling dagtid och evenemang. Runt själva sjön Trekanten går ett väl använt promenadstråk och längs sjöns norra och östra strand finns trädgårdsanläggningar, bl a en doftträdgård vid den östra kanten. Kring sjön finns möjligheter till lek, bad och fiske. Området är viktigt ur rekreativt syfte för både boende och verkande i området.

Ljudlandskapet

Ekvivalentnivåerna i området är förhållandevis låga och nivåer över 50 dB(A) förekommer främst i områdets västra del i närheten av Essingeleden. I denna del är Essingeleden klart hörbar med ett dovt huvudsakligen lågfrekvent buller, då den redan idag är avskärmd med en bullerskärm på den höga bron förbi sjön. Enstaka bilpassager på Blommensbergsvägen orsakar de högsta nivåerna här. I områdets östra del hörs ett bakgrundsbuller från många olika riktningar som är skapat av de många bullerkällor som finns i närområdet. Södertäljevägen är till största delen avskärmd med byggnader som gör att bullernivåerna från denna är låga, < 40 dB(A).



Figur 7.9. Flygbild över området kring sjön Trekanten, Stockholm.

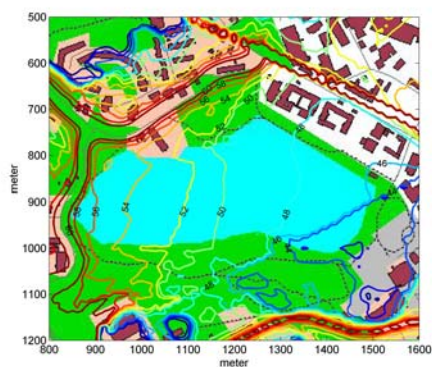
Bullersituationen idag

Området är bullermässigt komplext och påverkas av buller från främst Essingeleden, Södertäljevägen, Liljeholmsvägen/Gröndalsvägen, Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen (se figur 7.10). Essingeleden är mycket kraftigt trafikerad (120 000 fordon/dygn) och löper på en hög bro, ca 30 m över Trekantens yta. På bron sitter idag en bullerskärm som löper längs med hela bron. Södertäljevägen är också kraftigt trafikerad (ca 40 000 fordon/dygn). Övriga gator är mindre kraftigt trafikerade, Liljeholmsvägen/Gröndalsvägen med ca 10 000 fordon/dygn, Lövholmsvägen med 5000 fordon/dygn och Blommensbergsvägen med 3 000 fordon/dygn.

Vid beräkningar av de befintliga trafikbullernivåerna (se figur 7.11) syns det tydligt att bullernivåerna är högre i den västra delen än i den östra. Bullernivåerna varierar mellan 42 och 60 dB(A) om man går längs promenadstigen runt sjön. Helst skall nivån ligga på högst 50 dB(A) under vägen. De tydligaste bullerkällorna är Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen.



Figur 7.10. Flygbild över Skanstullsområdet med viktiga bullerkällor utsatta.



Figur 7.11. Befintliga trafikbullernivåer runt Trekan-ten (L_{AEq24h}).

Åtgärdsalternativ

Bullerkällorna i den östra delen av området är redan kraftigt avskärmade, så man kan inte förvänta sig några större dämpningar genom åtgärder på Södertäljevägen eller Nybohovsbacken. Liljeholmsvägen/Gröndalsvägen har också hastighetsdämpande åtgärder samtidigt som den till allra största delen är kraftigt avskärmad från promenadstråket m h a byggnader. Det kan dock finnas glapp i bebyggelsen som kan åtgärdas. Detta har inte specialstudierats i denna fallstudie. Åtgärderna bör istället koncentreras till områdets västra del då trafikbullernivåerna är avsevärt högre där.

Översiktliga beräkningar har gjorts för många olika kombinationer av åtgärder, främst kombinationer som verkar realistiska att genomföra, men beräkningar har även gjorts för mycket omfattande åtgärder för att studera hur mycket man skulle kunna sänka bullernivån med alla tänkbara medel. Åtgärds-kombina-

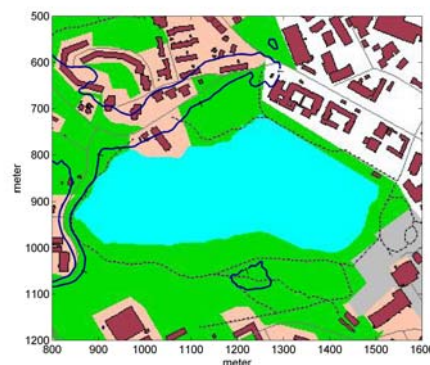
tionerna som visas nedan är de som verkar mest realistiska ur kostnadseffektivitetssynpunkt.

1. Byte till ABS8 på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen.
2. Byte till dubbellagers dränerande asfalt på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen.
3. 1 m hög skärm längs Lövholmsvägen och minimerad trafik på Blommensbergsvägen.

Resultaten för dessa åtgärder presenteras i följande avsnitt.

Åtgärd 1- Resultat

Denna åtgärd består av byte av vägbeläggning till ABS8 eller SMA8 på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen. Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna (se figur 7.11) visas i figur 7.12. Bullernivån har sänkts med ungefär 1 dB(A) i närheten av de åtgärdade gatorna.



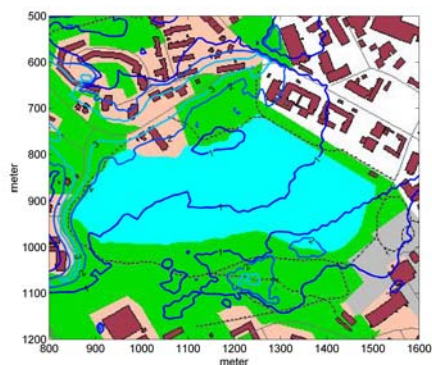
Figur 7.12. Trafikbullersänkning genom att lägga ABS8 på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen.

Åtgärd 2 - Resultat

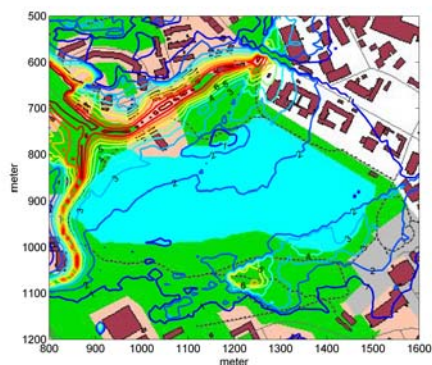
Genom att byta ut vägbeläggningarna mot dubbellagers dränerande asfalt på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen kan man uppnå högre bullerdämpningar. Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna i figur 7.11 visas i figur 7.13. Trafikbullernivån har nu sänkts med omkring 2-3 dB(A) i området kring de åtgärdade gatorna.

Åtgärd 3 - Resultat

Här kombineras en låg skärm (1 m hög) på Lövholmsvägen och minimering av trafik på Blommensbergsvägen. Idag sker viss genomfartstrafik på Blommensbergsvägen som inte är nödvändig. Om denna skulle hindras samt att man begränsar hastigheten vid Blommensbergsskolan till 30 km/h kan man sänka bullret från denna väg kraftigt. Den sammanlagda effekten av dessa åtgärder syns i figur 7.14, och figuren visar dämpningar på 2-8 dB(A) i området runt sjön. Bullernivåerna kan sänkas med ytterligare någon dB(A) med sänkt och kontrollerad hastighet till 50 km/h på Essingeleden.



Figur 7.13. Trafikbullersänkning genom att byta ut vägbeläggningarna på Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen mot dubbellagers dränerande asfalt.



Figur 7.14. Trafikbullersänkning genom att kombinera sänkt hastighet på Essingeleden, 1 m hög skärm längs Lövholmsvägen och minimerad trafik på Blommensbergsvägen.

Ekonomiska aspekter

I tabell 7.2 visas en genomgång av ungefärliga merkostnader för de olika åtgärdsalternativen jämfört med kostnaderna för referensbeläggningen ABT16. I kostnadsberäkningarna ingår kostnader för upprivning, anläggning (inklusive ev dräneringsrör), ev omläggningar samt drift i form av tvättning, rensning och saltning.

Slutsats

Trekantenområdet är belastat av buller från alla väderstreck, men bullerkällorna är väl avskärmade i norr och öster. I sydväst löper Essingeleden som är tungt trafikerad och denna är redan idag avskärmd med en bullerskärm på bron. I väster finns två mindre tungt trafikerade gator, Lövholmsvägen och Blommensbergsvägen, men dessa ligger så nära promenadstråket runt sjön att bullernivåerna från dessa blir relativt höga.

Tabell 7.2. Bullerdämpning och kostnader för de olika bulleråtgärderna. Merkostnaderna är jämfört med enbart ABT16.

Åtgärd	Buller- dämpning, dB(A)	Årskostnad	Merkostnad anläggning + 10 års drift
1	1	170 000	730 000
2	2-3	330 000	2 300 000
3	2-8	410 000	4 060 000

Sammantaget gör detta att bullernivåerna är måttliga i östra delen av området runt sjön och högre i västra delen. Eventuella åtgärder bör således fokuseras på bullerkällorna i den västra delen. Genom att kombinera en 1 m hög skärm längs Lövholmsvägen och hindra genomfartstrafiken samt sänka hastigheten till 30 km/h på Blommensbergsvägen kan man sänka bullernivåerna med 3-8 dB(A) i området så att nivåerna kommer att understiga 50 dB(A) i den västra delen och 45 dB(A) i den östra.

7.3 Nackareservatet, Stockholm

Beskrivning

Nackareservatet är en av Stockholms ”gröna kilar”. Området, som delvis är naturreservat, ägs av Stockholm stad men ligger huvudsakligen i Nacka kommun. Det domineras av småkuperad terräng och genomkorsas av cykelvägar och stigar. Vintertid finns preparerade skidspår och områdets småsjöar utnyttjas i stor omfattning av skridskoåkare. I områdets östra del ligger Hellasgården, en mycket välbesökt friluftsgård med restaurang som är öppen året runt. Vid Hellasgården finns badplats och möjlighet till vinterbad i uppsägd vak.

Ljudlandskapet

Nackareservatet ligger i förhållandevis hög terräng och exponeras därför för diffust buller från Nynäsvägen (väg 73), Värmdövägen (väg 222) och Tyresövägen (väg 229), vilka samtliga är stadsmotorvägar tillåtna för hastigheter på antingen 70 eller 90 km/h. Därtill genomkorsas Nackareservatet av Ältavägen (väg 260) som är den enda förbindelsen mellan Nacka och Tyresö kommuner.



Figur 7.15. Kartbild över Nackareservatet med viktiga bullerkällor markerade. Nynäsvägen går i nord-sydlig riktning strax väster om det visade området.

Bullersituationen idag

Eftersom området är stort och relativt kraftigt kuperat är trafikbullret redan idag kraftigt avskärmat, d v s det finns få ställen där man kan se passerande bilar. Bullersituationen är därför starkt beroende av meteorologisk inverkan genom vind- och temperaturgradienter. I figur 7.16 visas bullernivån då atmosfären är neutral, d v s då det är vindstilla och det inte finns någon temperaturskiktning i luften. Beräkningen använder starkt förenklad beräkning av skärmning och ger därför endast rättvisa värden relativt långt från vägarna. I närheten av vägarna är nivåerna kraftigt underskattade. Bullernivåerna är då mycket låga i de inre delarna som är kraftigt skärmade av topografin.

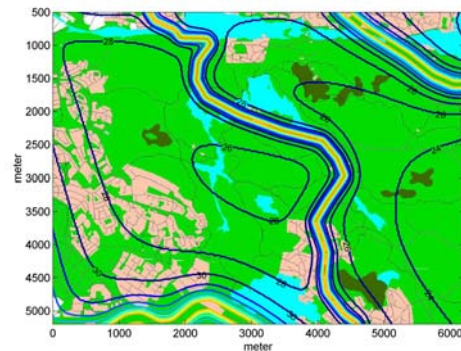
Figurerna 7.17 och 7.18 visar beräknade bullernivåer för måttlig respektive kraftig temperaturinversion. Inverkan av temperaturinversion är beräknad från mätningar gjorda på tågbuller sommaren 2006. Figurerna visar på kraftigt förhöjda bullernivåer i hela området under inversionsförhållanden. När detta inträffar minskar verkan av avskärmningar betydligt då det är ljudvågorna som går ovanför skärmen som bryts ned mot marken.

Samma effekt får man då det blåser och i figur 7.19 visas ett exempel för måttlig västlig vind. Vid västlig vind förstärks bullret från Nynäsvägen inne i reservatet. Man märker dock inte effekterna av vind lika starkt som effekterna av temperaturinversion då vind även medför ökade bakgrunds nivåer i form av t ex lövsus. Lövsus kan självt ge en bullernivå på över 50 dB(A) och överröstar därmed trafikbullret i många fall.

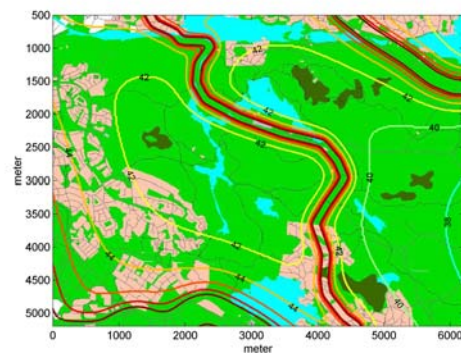
Åtgärds möjligheter

Figurerna 7.16 till 7.19 visar stora skillnader för olika meteorologiska förhållanden. Dessa skillnader är mycket större än bullerreduktionen man får av olika

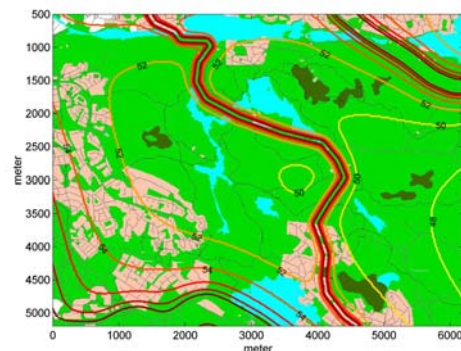
åtgärder, vilket betyder att meteorologin har störst inverkan på bullernivåerna inne i området och åtgärds möjligheterna är därmed begränsade.



Figur 7.16. Uppskattning av bullernivåer från vägtrafik i de inre delarna av Nackareservatet vid neutral atmosfär. Bullernivåerna nära vägarna är kraftigt underskattade i beräkningarna.



Figur 7.17. Uppskattning av bullernivåer från vägtrafik i de inre delarna av Nackareservatet under måttlig temperaturinversion.



Figur 7.18. Uppskattning av bullernivåer från vägtrafik i de inre delarna av Nackareservatet under kraftig temperaturinversion.



Figur 7.19. Uppskattning av bullernivåer från vägtrafik i de inre delarna av Nackareservatet under måttlig västvind.

Bullerskärmar skulle exempelvis inte ge någon effekt alls inne i reservatet. De enda metoder som skulle fungera är källdämpande metoder såsom bullerdämpad vägbeläggning, tystare däck och tystare fordon. Dessa åtgärder skulle även sänka bullernivån för de som bor i närheten av respektive väg. Inga ekonomiska beräkningar presenteras på grund av de begränsade åtgärdsalternativen.

7.4 Trädgårdsföreningen, Göteborg

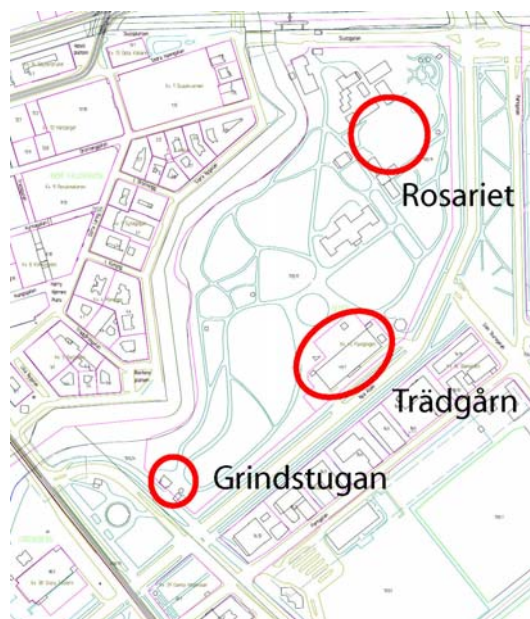
Beskrivning och historia

Trädgårdsföreningen är en botanisk trädgård i Göteborg som besöks av både de boende och av turister. Lång tid har gått sedan 1842 då tanken på en park i Göteborg började ta form och man byggde parken med engelska förebilder där mellanrummen mellan trädgårdsrum med olika karaktär är viktiga, spelet mellan öppna och slutna platser skapar både liv och rum för avkoppling. Omkring 400 000 personer besöker Trädgårdsföreningen årligen. Här kopplar man av i rosariet med dess över 1900 arter eller tar en tur i Palmhuset och tittar på exotiska växter från världens alla hörn. Palmhuset med sitt tropiska klimat invigdes 1878.

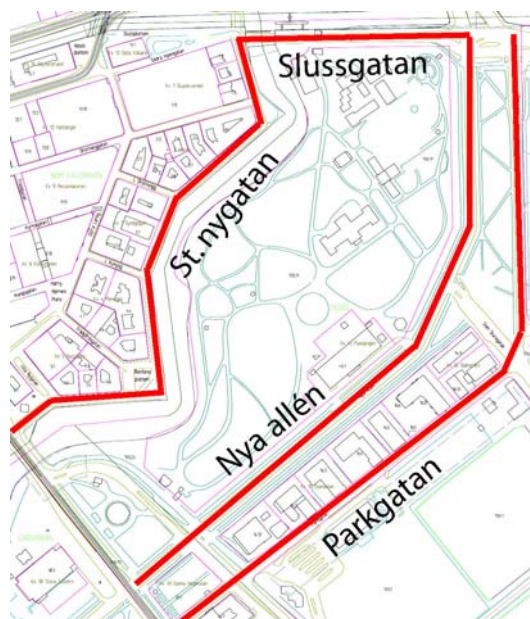
I parken ligger även Trädgårn som är både en välbesökt restaurang och en av Göteborgs stora musikscener. Trädgårn håller även konserter i parken. I parken finns Rosenbutiken där man kan köpa presenter och växter eller bara ta en fika bland rosenplanteringarna i Rosariet. I andra änden av parken, vid södra entrén, ligger Café Grindstugan med våfflor som sin specialitet. Lekplats för de mindre besökarna ryms också i parken. För att öka synintrycken så har parken smyckats med konstverk i alla tänkbara material och stilar.

Ljudlandskapet

Idag hänger en bullermatta tungt över hela parken. Längs sydöstra sidan av parken löper en av Göteborgs stora genomfartsleder, Nya Allén och Parkgatan, på den norra sidan ligger Drottningtorget som hör till de centrala delarna av Göteborgs kollektivtrafik och på den nordvästra sidan präglas ljudlandskapet av enskilda, passerande bilar som accelererar och bromsar i korsningar och gathörn av Stora Nygatan.



Figur 7.20. Kartbild över Trädgårdsföreningen, Göteborg.



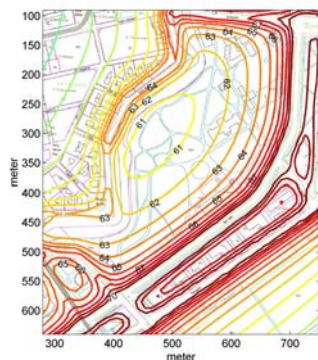
Figur 7.21. Kartbild över Trädgårdsföreningen med viktiga bullerkällor utsatta.

Den del av parken som används mest är Rosariet, vilket troligen till stor del beror på att Rosencaféet ligger här men kanske också på att man här har ett något bättre ljudlandskap än i resten av parken. Avståndet till Nya Allén är relativt stort, stora byggnader ger skydd mot Slussgatan och man är på tillräckligt avstånd från Stora Nygatan för att inte störas av dess oregelbundna trafik. Ju närmare Nya Allén man rör sig i parken desto ensammare blir man, vilket troligen beror på att bullret helt enkelt blir för påträngande för att parkmiljön skall kännas avkopplande.

Bullersituationen idag

Hela parken har höga ekvivalentnivåer men värst är det nära Nya Allén utmed den södra långsidan av parken, ju mer norrut man går i parken desto mer hör man dessutom de passager som sker på Stora Nygatan på den norra sidan av parken tvärs över vallgraven, även passagera på Slussgatan hörs men i den delen av parken skärmar en del hus så pass mycket att ljudet inte blir lika tydligt. Både Stora Nygatan och Slussgatan har ganska små trafikflöden och låga hastigheter.

I figur 7.22 syns tydligt att hela parken är utsatt för höga trafikbullernivåer. Den tystaste delen är som synes i centrum av parken och långt bak mot vallgraven. Ju närmare Parkgatan/Nya Allén man kommer desto högre blir bullernivåerna. Så som tidigare nämnts är en bullernivå från trafik på 45-50 dB(A) eftersträvarsvärd för stadsparker.



Figur 7.22. Befintliga trafikbullernivåer i Trädgårdsföreningen (L_{Aeq24h}).

Åtgärdsalternativ

Baserat på en källanalys har följande åtgärder studerats för Trädgårdsföreningen:

1. Byte till dubbellagers dränasträsk på två gator (Nya Allén och Parkgatan)
2. Byte till dubbellagers dränasträsk på fyra gator (som 1 samt Slussgatan och Stora Nygatan)
3. Bullerskärm med 3 m höjd mot Nya Allén och Parkgatan.

4. Bullerskärm enligt 3 samt bullerdämpande vägbeläggning enligt 1.
5. Bullerskärm enligt 3 samt bullerdämpande vägbeläggning enligt 2.

Förutsättningarna för åtgärder är ganska bra. Utmed parkens sydöstra långsida finns ett högt trästaket (utfört med gles träpanel) och ett buskage ut mot Nya Allén som gör att sikten är begränsad men inte bullret. Här finns således möjligheter att begränsa bullret utan att påverka de befintliga synintrycken. Däremot finns ett gjutjärnsstaket från parkens tidiga dagar utmed den sydvästra kortsidan som man vill bevara. Mot Stora Nygatan vill man spontant helst inte bryta synintrycken som vattnet ger och inte heller minska den öppenhet mot staden som präglar den delen av parken.

De åtgärdsalternativ som verkar mest lämpade för Trädgårdsföreningen är således främst byte till en tystare asfalt på de sträckor som påverkar parken mest samt att sätta upp en bullerskärm mot Nya Allén och Parkgatan där det glesa trästaketet står idag. Vid inledande beräkningar visade det att åtgärder på de fyra gator som påverkar bullernivån mest i Trädgårdsföreningen är tillräckligt. Resultatet blir inte tydligt bättre förrän man dämpar gator över ett mycket stort område.

Inledande beräkningar gjordes för olika skärmhöjder och det visade sig att 3 m är en lämplig höjd för att åstadkomma en verklig förändring av parkens ljudlandskap. En lägre bullerskärm ger inte lika stor påverkan.

Åtgärd 1- Resultat

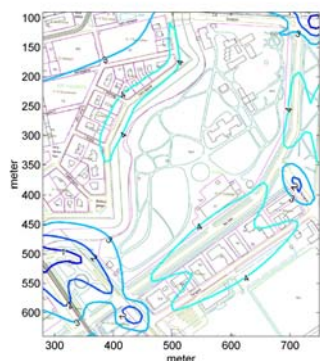
Denna åtgärd består av byte av vägbeläggning till dubbellagers dränasträsk på två gator (Nya Allén och Parkgatan). Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna (se figur 7.22) visas i figur 7.23. Bullernivån har sänkts tydligt med mer än 2 dB(A) i hela parken.



Figur 7.23. Trafikbullersänkning genom att lägga dubbellagers dränasträsk på Nya allén och Parkgatan.

Åtgärd 2 - Resultat

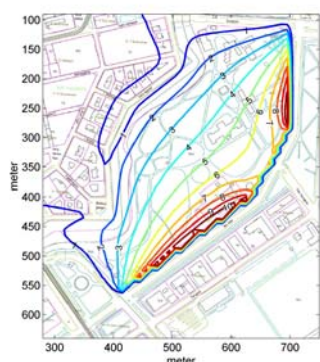
Här har vägbeläggningen även på Slussgatan och Stora Nygatan bytts till dubbellagers dränerande asfalt. Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna i figur 7.22 visas i figur 7.24. Trafikbullernivån har nu sänkts med omkring 3-4 dB(A) i hela parken.



Figur 7.24. Trafikbullersänkning genom att lägga dubbellagers dränerande asfalt på Nya allén, Parkgatan, Slussgatan och Stora nygatan.

Åtgärd 3 - Resultat

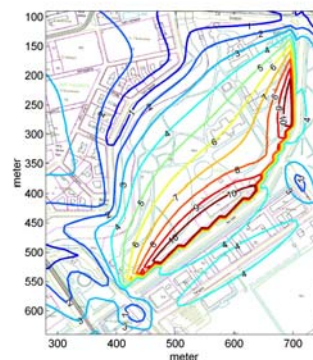
I figur 7.25 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man satte upp en 3 m hög skärm mot Nya Allén istället för det glesa trästaket som sitter där idag. Bullernivån har sänkts med upp till 9 dB(A) nära Nya Allén och med 2-3 dB(A) längre in i parken. Det är normalt för en bullerskärm att dämpningen avtar med ökande avstånd från skärmen.



Figur 7.25. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 3 m hög bullerskärm mot Nya allén.

Åtgärd 4 - Resultat

I figur 7.26 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man förutom bullerskärmen i förra avsnittet bytte vägbeläggningen på Nya Allén och Parkgatan till dubbellagers dränerande asfalt enligt åtgärd 1. Bullernivån har då sänkts med 10 dB(A) nära Nya Allén och med 4-5 dB(A) längre in i parken. Detta är betydande bullerdämpningar.



Figur 7.26. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 3 m hög bullerskärm mot Nya allén samt dubbellagers dränerande asfalt på Nya allén och Parkgatan.

Åtgärd 5 - Resultat

Det största åtgärds paketet, som omfattar dubbellagers dränerande asfalt på Nya Allén, Parkgatan, Stora Nygatan och Slussgatan samt en 3 m hög bullerskärm mot Nya Allén, ger en bullerdämpning om 6 - 10 dB(A) i nästan hela parken. Detta betyder att bullernivåerna kommer att ligga runt 55 dB(A) i hela parken, vilket kommer att upplevas som stor skillnad mot tidigare.



Figur 7.27. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 3 m hög bullerskärm mot Nya allén samt dubbellagers dränerande asfalt på Nya allén, Parkgatan, Slussgatan och Stora nygatan.

Ekonomiska aspekter

I tabell 7.3 visas en genomgång av ungefärliga merkostnader för de olika åtgärdsalternativen jämfört med kostnaderna för referensbeläggningen ABT16 (se avsnitt 8.2 för underlag för kostnadsberäkningarna). I kostnadsberäkningarna ingår kostnader för upprivning, anläggning (inklusive ev dräneringsrör), eventuella omläggningar samt drift i form av tvättning, rensning och saltning.

Slutsats

Byte av vägbeläggningar till tystare typer ger trafikbullersänkningar i hela Trädgårdsföreningen till skillnad

från anläggning av en bullerskärm som ger störst inverkan nära Nya Allén. För att kunna sänka bullernivåerna till nivåer som kan anses acceptabla för stadsparker bör även en bullerskärm anläggas utmed Nya Allén. Med dessa två åtgärder kan man få en trafikbullernivå omkring 55 dB(A) i nästan hela parken. Detta är i och för sig klart över rekommendationen att stadsparker bör ha en bullernivå klart under 50 dB(A) (Nilsson och Berglund, 2005), men skillnaden i bullernivå jämfört med precis vid gatan är ungefär 15 dB(A), vilket får anses som bra med tanke på den tunga trafik som löper förbi parken.

Tabell 7.3. Bullerdämpning och kostnader för de olika bullerrätgårderna. Merkostnaderna är jämfört med enbart ABT16.

Åtgärd	Buller- dämpning, dB(A)	Årskostnad	Merkostnad anläggning + 10 års drift
1	2-3	680 000	4 720 000
2	3-4	930 000	6 540 000
3	3-9	730 000	7 320 000
4	4-10	1 410 000	12 040 000
5	6-10	1 660 000	13 860 000

7.5 Vasaparken, Göteborg

Beskrivning och historia

Vasaparken är en välbesökt stadspark som upptar ett kvarter i Vasastaden i Göteborg. Det var under 1860-talets andra hälft som staden innanför vallgraven blivit för trång och man började planera för stadskvarter i det som skulle komma att bli Vasastaden. Vasaparken nämns i dessa planer som en av de viktigaste platserna och sedan dess har i stort sett bara mängden och storleken på husen kring parken förändrats.

Parken ligger i en sluttning och den är också kuperad med höga gräsbeklädda kullar som innesluter parken och för en kort stund när man passerar genom parken stängs staden ute. Den högsta punkten vetter mot Engelbrektsgatan i söder och i norr ligger parken lägsta del, där ligger också Göteborgs universitets huvudbyggnad som hindrar staden från att tränga in i parken från det hållet. Ett flygfoto över parken kan ses i figur 7.28.

Den delen av parken som används mest är lekplatsen i mitten av parken och till viss del utsiktspunkten som ligger i hörnet Götabergsgatan - Engelbrektsgatan, men alla gräsytor i parken används flitigt under sommaren.

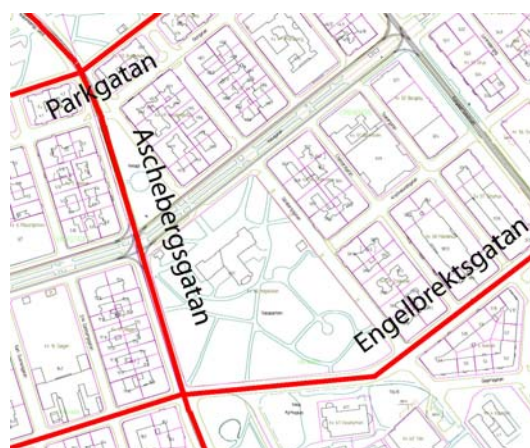


Figur 7.28. Kartbild över Vasaparken, Göteborg.

Ljudlandskapet

Parken är på två sidor omgiven av kraftigt trafikerade gator, Aschebergsgatan på den västra sidan och Engelbrektsgatan på den södra, se figur 7.29. Oavsett var i parken man befinner sig så hör man dessa gator även om de blir alltmer lågfrekventa ju längre in i parken man är. På Aschebergsgatan går även spårvagnar som hörs tydligt.

Trafikbullret är tydligt närvarande i parken men det har en dämpad karaktär tack vare den kuperade terrängen, det är ett lågfrekvent buller som får det att kännas som att ljudkällan befinner sig lite längre bort än den egentligen gör. Vid lekplatsen upplevs det som tystast och bullret låter ordentligt dämpat, uppe på utsiktspunkten däremot är det närmast ett larm som sköljer över en, då man har en kraftigt trafikerad korsning nedanför sig.

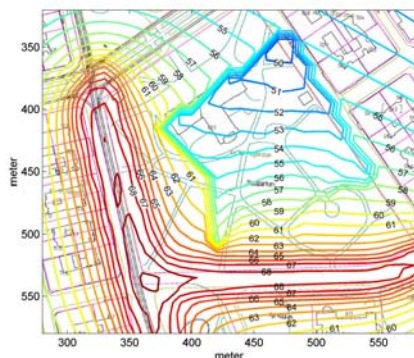


Figur 7.29. Starka bullerkällor i närheten av Vasaparken.

Bullersituationen idag

Terrängen är kuperad med höjdskillnader på som mest åtta meter och de högre delarna är placerade i utkanterna av parken vilket skyddar insidan mot insyn och dämpar en del av det trafikbuller som omgärdar parken. I de lägre belägna delarna innanför kullarna

så har man relativt låga ekvivalentnivåer, speciellt vid högre frekvenser. På andra sidan Aschebergsgatan från parken sett så ligger höga bostadshus med en hel fasad som reflekterar trafikbullret in i parken och följaktligen ökar bullernivån. De befintliga trafikbullernivåerna visas i figur 7.30. Spårvagnarna på Aschebergsgatan har inte tagits med varken i dessa nivåer eller i bullerdämpningarna för de olika åtgärdsförslagen.



Figur 7.30. Befintliga trafikbullernivåer i Vasaparken (L_{AEq24h}).

Åtgärdsalternativ

Baserat på en analys av viktiga bullerkällor har följande åtgärder bedömts som rimliga:

1. Byte till ABS8 på två gator (Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan)
2. Byte till dubbellagers dränasfalt på två gator (Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan)
3. Bullerskärm med 1,5 m höjd mot Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan.
4. Bullerskärm enligt 3 samt bullerdämpande vägbeläggning enligt 1.
5. Bullerskärm enligt 3 samt bullerdämpande vägbeläggning enligt 2.

Bullerdämpande effekter av vägbeläggningar är intressant i Vasaparken då en stor del av parken redan idag är avskärmd genom den kuperade terrängen, framför allt mot Aschebergsgatan. Mot Engelbrektsgatan däremot kan en skärm vara möjlig (på den södra sidan). Man måste dock utforma denna skärm omsorgsfullt då denna sida hyser flera ingångar till parken, och innan man genomför en sådan lösning bör man se över hur det skulle påverka stråk och riktningar i parken.

Det är bara Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan som bidrar signifikant till ljudnivåerna i parken. Det är dessutom så att de är relativt jämnstarka vilket betyder att det inte gör någon större skillnad att bara åtgärda den ena. Beräkningar har gjorts med två varianter av asfalt:

1. Asfalt med mindre stenstorlek (ABS8)
2. Dubbellager dränasfalt

Inledande beräkningar gjordes för olika skärnhöjder och det visade sig att en skärnhöjd på runt 3 m skulle behövas för att åstadkomma en verklig förändring av parkens ljudlandskap. En lägre bullerskärm ger inte lika stor påverkan, men

Resultaten för dessa åtgärder presenteras i följande avsnitt. Poroelastisk asfalt tas inte med i resultatpresentationen då den inte finns tillgänglig idag.

Åtgärd 1- Resultat

Denna åtgärd består av byte av vägbeläggning till ABS8 på Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan. Bullernivån har sänkts med 1,5 dB(A) i hela parken, vilket är en liten förbättring. Resultaten går inte att visa i en konturplot, då de åtgärdade gatorna är dominerande i hela parken och det inte finns några skillnader mellan olika punkter.

Åtgärd 2 - Resultat

Här har vägbeläggningen på Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan bytts till dubbellagers dränasfalt. Nivåsänkningen jämfört med de befintliga trafikbullernivåerna i figur 7.32 är nu omkring 4 dB(A) lägre i hela parken. En konturplot av detta går inte heller att visa av samma skäl som för Åtgärd 1.

Åtgärd 3 - Resultat

I figur 7.33 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man satte upp en 1,5 m hög skärm mot Engelbrektsgatan. Skärmen bör vara klädd med absorber på sidan som vetter mot trafiken. Bullernivån har sänkts med 1-3 dB(A) i parken.



Figur 7.33. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 1,5 m hög bullerskärm mot Engelbrektsgatan.

Åtgärd 4 - Resultat

I figur 7.34 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man förutom bullerskärmen i förra avsnittet byter vägbeläggningen på Aschebergsgatan och

Engelbrektsgatan till ABS8 enligt åtgärd 1. Bullernivån har då sänkts med 1-5 dB(A) i parken.



Figur 7.34. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 1,5 m hög bullerskärm mot Engelbrektsgatan samt ABS8 på Engelbrektsgatan och Aschebergsgatan.

Åtgärd 5 - Resultat

I figur 7.35 kan man se hur mycket bullernivån skulle sänkas om man förutom bullerskärmen i avsnitt 3 bytte vägbeläggningen på Aschebergsgatan och Engelbrektsgatan till dubbellagers dränerande asfalt enligt åtgärd 2. Bullernivån har då sänkts med 2-7 dB(A) i parken.



Figur 7.35. Trafikbullersänkning genom att sätta upp en 1,5 m hög bullerskärm mot Engelbrektsgatan samt dubbellagers dränerande asfalt på Engelbrektsgatan och Aschebergsgatan.

Ekonomiska aspekter

I tabell 7.4 visas en genomgång av ungefärliga merkostnader för de olika åtgärdsalternativen jämfört med kostnaderna för referensbeläggningen ABT16. I kostnadsberäkningarna ingår kostnader för upprivning, anläggning (inklusive ev dräneringsrör), ev omläggningar samt drift i form av tvättning, rensning och saltning.

Slutsats

Vasaparken har en fördel av att Aschebergsgatan redan är till stor del avskärmd. För att man ska kun-

na komma ner till rekommenderade bullernivåer på 45-50 dB(A) i största delen av parken behöver man skärma av Engelbrektsgatan. För att ge tillräcklig bullerdämpning krävs dock en högre skärm än vad som är visuellt acceptabelt. Enbart en låg skärm ger låga dämpningar, men om denna kombineras med en dubbellagers dränerande beläggning på Engelbrektsgatan och Aschebergsgatan kan man uppnå betydligt lägre bullernivåer. En dubbellagers dränerande asfalt gör också att de närliggande bostäderna i området får sänkta bullernivåer. Man bör dock komma ihåg att spårvagnarna på Aschebergsgatan ger ett betydande bidrag som inte är med i de presenterade beräkningarna.

Tabell 7.4. Bullerdämpning och kostnader för de olika bulleråtgärderna. Merkostnaderna är jämfört med enbart ABT16.

Åtgärd	Buller- dämpning, dB(A)	Årskostnad	Merkostnad anläggning + 10 års drift
1	1-2	160 000	730 000
2	3-4	290 000	2 040 000
3	1-3	90 000	890 000
4	1-5	250 000	1 620 000
5	2-7	380 000	2 930 000

8. KOSTNADER OCH KOSTNADSEFFEKTIVITET

Det finns två sätt att beskriva effektiviteten hos bullerdämpande åtgärder. I det ena fallet söker man bedöma den samhällsekonomiska effektiviteten genom att studera om nyttan överväger kostnaden i en vid samhällsekonomisk mening. I det andra fallet försöker man fastställa vilken åtgärd eller kombination av åtgärder som ger måluppfyllelse till lägsta kostnad. En sådan åtgärd betecknas som kostnadseffektiv.

8.1 Samhällsekonomisk effektivitet

De befintliga riktvärden för trafikbuller är fastställda utifrån allmänna överväganden om hur människor påverkas av buller och vad som realistiskt kan göras för att skydda dem. Men de är inte bestämda utifrån en samhällsekonomisk kostnadsnyttokalkyl. Ett problem i detta sammanhang är att underlaget för en bedömning av värdet av att reducera buller är ganska magert.

Arbetsgruppen för samhällsekonomiska studier, ASEK, har på SIKA:s och trafikverkens uppdrag tagit fram ekonomiska bullervärden baserade på en hedonisk husprisstudie genomförd i en förort till Stockholm år 1997. I en sådan studie analyserar man hur huspriser varierar mellan områden som är mer eller mindre utsatta för buller. Höjda fastighetsvärden ses som ett uttryck för köparnas betalningsvilja för att slippa bullerstörningar. Genom att prisskillnaderna delvis kan förklaras av andra förhållanden är metoden inte särskilt pålitlig. Eftersom kostnader för sjukvård, produktionsbortfall m.m. inte täcks av en sådan värdering underskattar man sannolikt den samhällsekonomiska kostnaden.

Alternativt kan man försöka fastställa betalningsviljan genom att fråga människor hur mycket de är villiga att betala för att slippa buller, men inte heller denna metod är invändningsfri. Frågeställningen är hypotetisk och många respondenter har svårt att ta ställning till den.

Navrud (2003) har tagit fram ett störningsindex med värden som varierar beroende på hur störda olika individer är. Han föreslår för vägtrafikbuller inom intervallet 55 till 65 dB(A) att man ska använda ett genomsnittligt värde på 23.5 euro per decibel per hushåll och år. En arbetsgrupp inom EU ansluter sig till detta synsätt men valde att justera Navruds provisoriska värde till 25 euro per decibel (European Commission, 2003c). Det kan emellertid även finnas en betalningsvilja för att reducera buller under 55 dB(A) som inte fångas upp av detta värde. Betalningsviljestudierna för buller avser medborgarnas uppfattning om värdet av att reducera buller i bostä-

der och bostadsområden och är knappast tillämpliga på buller i friluftsområden och parker.

På basis av ASEK:s arbete har SIKA (2002) utfärdat rekommendationer för hur reduktion av buller vid fasad och inne i bostäder ska värderas. Enligt SIKA är dessa kalkylvärden inte tillämpliga på buller i parker och friluftsområden. Det saknas underlag för en bedömning av hur människor värderar sänkta bullernivåer i rekreationsområden, men SIKA säger med referens till Vägverket att medborgarnas bulleruppooffring i sådana områden kan motsvara 50 procent av den samhällsekonomiska kostnaden för buller i bostadsområden.

SIKA (2005) anser att det saknas tillförlitliga marginalkostnadsskattningar för buller och att forskningsbehovet är stort. Det finns alltså för närvarande ingen möjlighet att bedöma den samhällsekonomiska effektiviteten i åtgärder som syftar till att reducera bullret i grönområden och parker.

8.2 Kostnader för olika åtgärder

8.2.1 Kostnader för olika vägbeläggningar

En studie i Nederländerna som började 1998 har kommit fram till följande slutsatser gällande extra kostnader för porös asfalt jämfört med bullerskärmar (Nielsen m fl, 2005):

- Utbrett användande av bullerdämpande vägbeläggningar är en mycket effektiv metod att dämpa buller vid källan.
- Bullerdämpande vägbeläggningar kan i vissa fall ersätta bullerskärmar eller fasadisoleringsåtgärder.
- De extra kostnaderna för installation och underhåll av dubbellagers porös asfalt är relativt små för större vägar och motorvägar. För stadsgator är den extra kostnaden högre.
- Dubbellagers porös asfalt är mycket kostnadseffektiv jämfört med andra bullerbekämpningsmetoder.

Flera praktiska exempel i Nederländerna stöder dessa slutsatser. Enkla beräkningar som innefattar kostnader för installation, underhåll och förräntning (med 5 %) under en period av 28 år (den förväntade livslängden för en bullerskärm) visade att den totala kostnaden för dubbellagers porös asfalt är dubbelt så hög som för vanlig vägbeläggning (ABT16), men ansevärt mindre än kostnaden för en bullerskärm (Nielsen m fl, 2005). Man ska komma ihåg att dessa slutsatser gäller utan förekomst av dubbdäck.

Tabell 8.1 visar ungefärliga kostnader för olika vägbeläggningar. I (Ohm och Jensen, 2003) är priserna angivna i DKK i 2001 års prisläge. Med hjälp av

konsumtprisindex i Sverige samt gällande valutakurser i augusti 2006 har kostnaderna räknats om till ungefärliga priser i SEK. Tabell 8.2 visar merkostnader per km för dubbellagers dränasfalt jämfört med ABS16. Då de flesta priserna inte kommer från svenska förhållanden bör de betraktas som osäkra. Livslängden för ABS11 och ABS16 är beräknade för 20 000 fordon/ÅMVD och för 70 km/h enligt VTI:s slitagemodell, övriga livslängder är uppskattningar. Livslängden är starkt beroende av fordonsmängd och hastighet. Livslängden blir kortare för större fordonsmängd och för högre hastighet.

Tabell 8.1. Kostnader för olika typer av vägbeläggningar (Ohm och Jensen, 2003 och Vägverket, 2006).

Vägbeläggning	Anläggning	Livslängd	Underhåll
Asfaltbetong ABS11	70 kr/m ² Upprivning: 33 kr/m ²	4,5 år	Saltning: 31 kr/m och år
Asfaltbetong ABS16	65 kr/m ² Upprivning: 33 kr/m ²	6 år	Saltning: 31 kr/m och år
Enkel-lagers dränasfalt	80 kr/m ² (uppskattning) Upprivning: 33 kr/m ²	4 år	Saltning 47 kr/m och år
Två-lagers dränasfalt	Nedre lagret 94 kr/m ²	6 år	Rengöring: 0,65 kr/m ² och år (vid låga hastigheter) Rensning av dräneringsrör : 26 kr/m och år Saltning: 47 kr/m och år
	Övre lagret 52 kr/m ²	3 år	
	Läggning av dräneringsrör vid vägar med kantsten 500 kr/m		
	Upprivning: 33 kr/m ²		
Tunn porös beläggning	70 kr/m ² Upprivning: 33 kr/m ²	6 år	Saltning 31 kr/m och år

Tabell 8.2. Merkostnader för dubbel dränasfalt på olika vägtyper av samma vägbredd under en 30-årsperiod jämfört med ABT12 (Ohm och Jensen, 2003).

Vägtyp	Merkostnad (kr/km)
Stadsgata (50 km/h)	215 000
Ringväg (80 km/h)	260 000
Motorväg (110 km/h)	340 000

8.2.2 Kostnader för olika bullerskärmar

De totala kostnaderna för en bullerskärm består av kostnader för projektering, installation och underhåll. Kostnaderna för installation och underhåll kan variera kraftigt beroende på bullerskärmens konstruktion och materialval. Tabell 8.3 visar ungefärliga kostnader för några olika bullerskärmstyper (från Sauer, 2004). Som jämförelse kan sägas att Vägverkets medelkostnad för bullerskärmar ligger idag (2006) runt 10 000 kr/m. Bullervallar av jordmassor är inte medtagna i tabellen då merkostnaden är starkt beroende av om man har tillgång till överskottsmassor eller ej.

Tabell 8.3. Ungefärliga kostnader för olika skärmtyper.

Typ	Installationskostnader (kr/m ²)	Underhållskostnader (kr/m ² och år)
Enkel träskärm	1 100-1 750	20-45
Absorberande träskärm	2 300-3 000	25-50
Vegetationsskärm	650-1 700	15-25
Glasskärm	2 500-4 500	60-100
Plastskärm	1 200-1 800	~10
Tegelmur	ca 5 000	IU
Metallskärm	2 200-2 900	IU
Skärm av betong och glas	2 500-4 000	IU

8.2.3 Absorbenter

I tabell 8.4 presenteras ett antal konstruktioner för ljudabsorption utomhus. Alla kostnader är inklusive normal montering, d.v.s. inte i svåråtkomliga situationer.

Tabell 8.4. Ungefärlig kostnad för olika typer av ljudabsorbenter.

Konstruktion	Kostnad
30 mm cementbunden träull på 45 mm distans	150 kr/kvm
30 mm cementbunden träull samt 45 mm mineralull bakom	200 kr/kvm
Kantställt håltegel med 45 mm mineralull	500 kr/kvm
Perforerad plåt med plastfolie och 45 mm mineralull	300 kr/kvm
Mikroperforerad plåt på 50 mm distans	400 kr/kvm

8.2.4 Hastighetskameror (ATK)

Den huvudsakliga nyttan med hastighetskameror är vanligtvis ökad trafiksäkerhet, men man får positiva sidoeffekter i form av minskade utsläpp av avgaser, koldioxid och buller. I den här rapporten utgår vi från att hastighetskameror i tätortsmiljö i första hand sätts upp för att minska buller och att 2/3 av kostnaden därför bör debiteras på bullerbekämpningens konto medan 1/3 kan hänföras till trafiksäkerhetsvinster. Kostnaden för kameran och dess installation går på ca 500 000 kronor. Därtill kommer en årlig drifts- och underhållskostnad hos Vägverket och Polisen på ca 75 000 kronor. För god effekt bör kameror installeras i båda färdriktningarna på ett avstånd av max en km från varandra. Arrangemanget ger med 4 procents ränta en genomsnittlig årskostnad på 185 000 kronor per km.

8.3 Kostnadseffektiva åtgärder

Att beräkna vilka åtgärder som till lägsta kostnad uppfyller målsättningen om reducerat buller i friluftsområden och parker är möjligt. En komplikation är dock att en del åtgärder har positiva eller negativa bieffekter som man bör ta hänsyn till i den ekonomiska kalkylen.

Tabell 8:5 visar kostnaden per km fyrfilig motortrafikled för några åtgärder som kan användas för att reducera buller i grönområden. Kostnaden är beräknad som årskostnad för underhåll och avskrivning under en period av 10 år samt med 4 procent ränta på investeringar. Den automatiska kameraövervakningen består av en kamera per km i vardera köriktningen och antas reducera den faktiska medelhastigheten med 7 km/h.

Av tabellen framgår att kostnaden för att reducera buller på 100 meters avstånd med 1 dB(A) är av samma storleksordning för alla åtgärder utom för den absorberande tråskärmen som är väsentligt dyrare. Om man eftersträvar en större reduktion, omkring 3-4 dB(A) eller mer, är dock byte till mindre stenstorlek i en konventionell beläggning inget alternativ, och automatisk kameraövervakning är en lönsam åtgärd bara i fall där den faktiska hastigheten ligger ca 7 km/h eller mer över den skyltade.

Dränasfalten och kameraövervakningen har fördelen att minska bullret även på längre avstånd från vägen, medan bullerskärmar främst är till nytta för dem som vistas i direkt skydd av dem. Från bullersynpunkt är hastighetskameran förstås en mindre bra åtgärd om bilarnas faktiska hastighet i utgångsläget bara skiljer sig obetydligt från den skyltade.

Det är viktigt att notera att reducerad hastighet får positiva bieffekter i form av bättre trafiksäkerhet, minskade utsläpp av avgaser samt lägre bränsleför-

brukning och koldioxidutsläpp. Nackdelen är att bilisterna förlorar tid.

Att kameraövervakningen ger upphov till inkomster för staten påverkar inte den ekonomiska effektiviteten, eftersom böterna utgör en transferering och inte i sig ger upphov till en samhällsekonomisk intäkt. De kan dock underlätta finansieringen av åtgärden.

Förbättrad polisövervakning av motorcykelbuller skulle med största sannolikhet också vara en mycket kostnadseffektiv åtgärd i synnerhet om regeringen skärper påföljderna för dem som manipulerar med ljuddämparna. Enligt SIK (2005) har polisen bullermätare i sina fordon men använder dem sällan på grund av bristande kunskap om hur de fungerar!

8.4 Additivitet av olika åtgärder

Generellt kan man säga att åtgärder som minskar källstyrkan, t.ex. tystare fordon, tystare däck, lägre hastighet, bullerdämpande vägbeläggning, är additiva både med varandra och med andra åtgärder. Vissa begränsningar i additiviteten finns dock om åtgärderna medför effekter i samma frekvensområde. Tabell 8.6 visar den principiella additiviteten för de olika åtgärderna. Trafikomläggningar som syftar till att flytta fordon till andra trafikleder är inte medtaget i tabellen då effekterna är bullerdämpande på ett ställe och bullerhöjande på ett annat.

Med stad menas låg hastighet (<50 km/h) och stor andel accelerationer och inbromsningar, och med land menas landsvägstrafik med jämn hastighet i 70 km/h och högre. Tabellen är tänkt att svara på frågan:

Om åtgärden i kolumnen längst till vänster är utförd, kommer då åtgärden i den översta raden ge någon förbättring?

Tabell 8.5. Årlig kostnad per km fyrfältsväg, skyltad för max 70 km/h, för bullerdämpande åtgärder.

Åtgärd	Kostnad, kr/km och år	Merkostnad rel ABS16, kr/km och år	Kostnad kr/km, år och reduktion med 1 dB(A) på 20 m avstånd från vägen	Kostnad, kr. per reduktion med 1 dB(A)/km på 100 m avstånd från vägen
Konventionell beläggning (ABS16)	280 000	-	-	-
Konventionell beläggning med mindre stenstorlek (ABS11)	380 000	100 000	100 000	100 000
Dubbel dränasfalt	510 000	230 000	100 000 - 130 000	100 000 - 130 000
Absorberande träskärm (3 meter hög)	1 200 000	1 200 000	120 000 - 240 000	240 000 - 500 000
Plastskärm (2 meter hög)	410 000	410 000	60 000 - 120 000	120 000 - 250 000
Automatisk kameraövervakning av hastigheter (1 kamera/km och riktning) #	185 000	185 000	150 000	150 000

Tabell 8.6. Indikation av olika åtgärders additivitet (- = ingen förbättring, + = viss förbättring, ++ = betydande förbättring).

Åtgärd	Tystare fordon	Tystare däck	Sänkt hastighet	Dämpande beläggning	Abs. ytor	Buller- skärmar	Jämnare körstil
Tystare fordon		+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land	++	++	+ Stad - Land
Tystare däck	+ Stad - Land		+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land	++	++	+
Sänkt hastighet	+ Stad - Land	+ Stad ++ Land		++	++	++	++ Stad - Land
Dämpande beläggning	+ Stad - Land	+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land		++	++	+ Stad - Land
Absorberande ytor	+ Stad - Land	+ Stad ++ Land	++	+ Stad ++ Land		+	+ Stad - Land
Buller- skärmar	+ Stad - Land	+ Stad ++ Land	++	+ Stad ++ Land	+		+ Stad - Land
Jämnare körstil	+ Stad - Land	+ Stad ++ Land	++	+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land	+ Stad ++ Land	

9. SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER

Såväl direkt buller som bakgrundsljud kan påverka parker, friluftsområden och andra rekreativa miljöer där människor gärna uppehåller sig. Bakgrundsljud från trafik i hela närområdet dämpas bäst genom tysta fordon och däck, måttliga hastigheter och tysta vägmateriäl. Eftersom buller stör människor både inomhus och utomhus bör åtgärder som bidrar till att reducera väg- och spårbuller vid källan ges hög prioritet. För punktkällor som direkt påverkar ett grönområde kan kompletterande åtgärder i form av skärmar, vallar och absorberer övervägas.

Förslag till generella åtgärder i främst storstäderna

Det finns en stor teknisk potential för tystare fordon och EU:s fordonsbullerdirektiv behöver förändras i grunden för att ge bilindustrin besked om vad som krävs. Sverige har inte varit pådrivande i denna fråga och kan inte vara pådrivande utan att anta en tydlig position.

Bland personbilar som uppfyller kraven i regeringens miljöbilsdefinition är det egentligen bara elhybridbilarna som avger buller väsentligen under genomsnittet. Om Sverige skulle ställa bullerkrav på miljöbilar skulle bara några få modeller klara dem alternativt skulle kraven behöva vara så föga krävande (73 dB(A)) att nästan alla bilar klarar dem. Det är således för närvarande inte meningsfullt att överväga att införa bullerkrav i den svenska definitionen. Vid framtida revidering och skärpning av miljöbilsdefinitionen borde det finnas tillfälle att ställa meningsfulla bullerkrav.

Även beträffande bullerkraven på däck behövs en skärpning av EU-reglerna. De flesta däck klarar de nuvarande kraven med god marginal. Även i denna fråga behövs en tydlig svensk position och ett aktivt agerande från svensk sida. Ett reviderat direktiv bör omfatta även dubbdäck och regummerade däck.

I avvaktan på strängare däckskrav kan svenska kommuner, främst i storstadsregionerna, överväga följande åtgärder:

1. att ställa krav på däck vid inköp av egna fordon
2. att vid upphandling av transporttjänster ställa krav på de däck som entreprenörerna använder. Det kan gälla val av sommardäck samt krav på att vinterdäcken ska vara odubbade.
3. att införa krav på att miljöbilar som åtnjuter befrielse från parkeringsavgift eller sänkt avgift inte får vara utrustade med dubbdäck.

4. att införa Oslomodellen (Stockholm och Göteborg) vilket innebär att dubbförsedda bilar måste erlägga antingen en årsavgift eller köpa ett pass för en månad, en vecka eller en dag (beroende på hur länge bilen ska utnyttjas i det berörda området).

För att krav på odubbade däck ska fungera behöver Svanenmärkningen skärpas så att det finns kriterier som upphandlande kommunala förvaltningar och/eller bolag kan hänvisa till. Det är angeläget att det arbete med underlag för detta som VTI bedriver snarast färdigställs och utnyttjas.

Förslag till selektiva åtgärder i främst storstäderna

Storstadskommunerna bör från bullersynpunkt se över sina bestämmelser om tillåten högsta hastighet på främst broar och motorleder som påtagligt påverkar grönområden och parker. Förutsatt att man kan garantera god efterlevnad kan reducerad hastighet vara ett mycket kostnadseffektivt sätt att i stora områden sänka bakgrundsbullret. Det vore i detta sammanhang en stor fördel om Sverige, i enlighet med Vägverkets förslag, kunde ändra hastighetsbestämmelserna så att det blir möjligt att också skylta för 40, 60, 80 och 100 km/h. I många fall skulle nämligen en minskning av nu skyltade hastigheter med 20 km/h vara svår att motivera. Dessvärre har regeringen inte velat genomföra Vägverkets förslag.

Manuella kontroller av efterlevnaden av hastighetsbestämmelserna är ofta svåra att genomföra i trafikmiljöer med flera körfält och stora flöden. Automatisk hastighetsövervakning med kameror (ATK) skulle kunna vara ett alternativ men används i ringa grad på motorleder, stadsmotorvägar och kommunala vägar. Eftersom en digital kamera kopplad till polisens övervakningsenhet i Kiruna inte kostar mer än ca 500 000 kronor och bötesintäkterna kan förväntas finansiera merparten av såväl investeringen som drift och underhåll kan ATK i många fall vara mycket kostnadseffektiv. Om kamerorna placeras på platser där man vet att hastighetsgränserna ofta överskrids och där bullerökningen är särskilt besvärande bör effekten bli mycket god.

Under sommarhalvåret bidrar motorcyklar i hög grad till bullerstörningar i de större städerna och deras omgivningar. Motorcyklarna bidrar i mycket hög grad till maximalbullret som ofta upplevs som särskilt störande. Skärpt kontroll från polisens sida och strängare påföljder vid brott mot bestämmelserna är vad som behövs. Storstäderna bör gemensamt uppmärksamma regeringen, rikspolisstyrelsen och berörda polismyndigheter om detta.

En annan möjlighet att reducera buller i parker och grönområden är att se över gatornas och korsningarnas utformning i närområdet. Att byta enstaka gupp mot andra farthinder, som inte i samma utsträckning leder till inbromsningar och accelerationer, kan vara en åtgärd. Detsamma gäller att införa fler gupp med relativt täta intervall på samma gata. Att ersätta ljusreglerade korsningar med cirkulationsplatser, där utrymmet så medger, en annan. Det viktiga är att få ett jämnt trafikflöde samtidigt som fordonen håller låg hastighet.

Att byta konventionell asfalt mot dränasfalt skulle kunna vara en generell åtgärd, men med tanke på merkostnaden förefaller det rimligt att inleda förändringen i utvalda områden där nyttan kan förväntas bli särskilt stor. Vägverket och kommunerna i storstadsområdena bör ta fram en långsiktig plan för byte till lågbullrande beläggningar på större gator, broar och infartsvägar där effekten på grönområden och bostäder kan bedömas bli god. Planen bör innehålla strategi för vinterväghållning samt kombineras med minskat användande av dubbdäck. Dubbdäck ger större slitage på dränasfalt än på konventionell asfalt.

Effekter av olika åtgärder

Tabell 9:1 visar den ungefärliga effekten av olika åtgärder. Vid kombination av flera åtgärder blir naturligtvis effekten mindre än summan av åtgärderna (tagna var för sig). En reduktion med 4-8 dB(A) vid bullernivåer omkring 50-60 dB(A) motsvarar grovt sett en halvering av antalet personer som upplever sig störda av buller i bostaden (Berglund m fl, 2004). Man bör komma ihåg att graden av bullerstörighet är påtagligt högre om störningen gäller avkoppling än samtal eller TV-tittande.

De i tabellen presenterade reduktionerna bör endast ses som ungefärliga och representerar vad som kan vara möjligt i en verklig trafikmiljö. Reduktionen för alla åtgärderna är beroende av de lokala förutsättningarna och detta gäller främst de två sista åtgärderna, bullerskärm och ljudabsorbenter. Dessa måste anpassas omsorgsfullt till de lokala förutsättningarna för att reduktionerna i tabell 9.1 skall kunna uppnås.

Fallstudier

Inom ramen för det aktuella projektet har fem områden, tre i Stockholm och två i Göteborg, specialstuderats i syfte att analysera vilken åtgärd eller kombination av åtgärder som är bäst lämpade för att påtagligt reducera bullernivån. Av de studerade områdena har två, Trädgårdsföreningen i Göteborg och Skanstullsområdet i Stockholm, särskilt goda förutsättningar att utnyttjas för pilotprojekt.

Trädgårdsföreningen är ett unikt parkområde mitt inne i Göteborg. Parken är väl avgränsad mot omgivningen men störs av trafikbuller från flera håll. Vår bedömning är att trafikbullernivån inne i parken kan begränsas till högst 55 dB(A) genom att ersätta det befintliga glesa trästaketet med en 3 m hög bullerskärm samt lägga dubbellagers dränerande asfalt på omgivande gator (Nya Allén, Parkgatan, Slussgatan och Stora Nygatan). Bullersänkningen blir då 6-10 dB(A) i olika delar av parken. Det kommer av människor som vistas i parken att upplevas som mer än en halvering av bakgrundsbullret.

Tabell 9:1. Effekt på buller av olika åtgärder. dB(A)

Åtgärd	Reduktion i omedelbar omgivning, dB(A)
Alla person- och lastbilar använder däck inom den bästa kvartilen	5-6
Minskning av dubbdäcksanvändning från 80% till 20%	3
Minskad faktisk hastighet från 80 till 70 km/h	1,5
Minskad hastighet från 60 till 50 km/h	2
Minskad hastighet från 50 till 30 km/h	3-4
Byte från konventionell asfalt till dränasfalt, 50-70 km/h	4-6
Byte till konventionell asfalt med mindre stenstorlek	1-2
3 m hög bullerskärm	5-8
Stora ljudabsorberande ytor på omgivande fasader	2-5

Skanstullsområdet är mera komplext och påverkas av buller från tre vägbroar, en tunnelbanebro och några angränsande gator. En väsentlig bullerreduktion om 5-10 dB(A) kan åstadkommas genom en kombination av en utsträckt skärm på Johanneshovsbron längs hela bron (idag sitter det skärm till halva bron) och byte av vägbeläggningen på Skanstullsbron till dubbellagers dränerande asfalt. Hela promenadområdet väster om broarna kommer efter dessa åtgärder att ha en bullernivå under 50 dB(A).

De övriga tre områdena erbjuder inte lika goda förutsättningar för omedelbara åtgärder. Bullret i Nackareservatet, en av Stockholms gröna kilar, kan inte reduceras mera påtagligt utan att däck-vägbanebullret sänks genom generella åtgärder, antingen skärpta EU-krav på fordonsdäck eller omläggning till lågbullrande asfalt på Nynäsvägen (väg 73), Värmdövägen (väg

222) och Tyresövägen (väg 229), som samtliga är stadsmotorvägar tillåtna för hastigheter på antingen 70 eller 90 km/h. Därtill behövs åtgärder på Ältavägen (väg 260) som genomkorsar området. Denna slutsats bygger på att bullernivån inne i reservatet till mycket stor utsträckning bestäms av meteorologiska aspekter. Vid en helt homogen och stilla atmosfär är området kraftigt avskärmat från bullerkällor, men redan vid måttliga vind- och/eller temperaturgradienter ökar bullernivån markant. Således är det bara dämpning av bullerkällorna som kan ge tydliga förbättringar.

Man har idag avskärmat promenadstråket runt Trekanten i Stockholm med hjälp av byggnader. De stora trafiklederna runt området, d v s Essingeleden och Södertäljevägen är redan avskärmade och Liljeholmsvägen med sin förlängning har fått hastighetsdämpande åtgärder. Dessa ur bullersynpunkt mycket goda åtgärder har medfört att bullernivån i stora delar av området redan idag är låg, <45 dB(A). Endast i den västra delen i närheten av Essingeleden är bullernivån hög, och då är det främst den lokala trafiken som hörs. Genom att begränsa den lokala trafiken i området kan man nå bullernivåer runt 45 dB(A) även i denna del av området.

Delar av Vasaparken i Göteborg är redan idag väl avskärmade. Detta gäller främst Aschebergsgatan där både väg- och spårvagnstrafik löper. Däremot skulle en avskärmning alternativt en kraftigt bullerdämpande vägbeläggning på Engelbrektsgatan ge en avsevärd förbättring av ljudmiljön i parken. Avskärmningar i vissa andra områden nära Vasaplatsen skulle också ge god effekt. Med de föreslagna åtgärderna kan man få ner vägbullernivåerna i Vasaparken till runt 50 dB(A).

En slutsats av fallstudierna är att två av dem, Trädgårdsföreningen i Göteborg och Skanstullsområdet i Stockholm, är väl lämpade att genomföras som pilotprojekt för bullersanering i parker och grönområden.

Nyttan av åtgärderna

Vid en bedömning av värdet av åtgärderna bör man ta hänsyn både till det antal personer som normalt utnyttjar en park eller ett grönområde, dels till det latent nyttjande som kan förverkligas när området blir mindre bullrigt. I många fall kan ett tyst grönområde förväntas få en högre besöksfrekvens än ett bullrigt. Detta gäller inte minst varaktigheten hos besöken. Man har hellre picknick i en tyst park än i en som störs av trafikbuller.

Indirekta effekter på människors välbefinnande bör också tas med i en bedömning av nyttan. Åtgärder som reducerar den generella bullernivån minskar inte bara utomhusbullret utan sänker också nivåerna inomhus och gör det lättare för de boende att ha fönst-

ren öppna. Beträffande åtgärder som reducerar användningen av dubbdäck bör man på intäktssidan redovisa den positiva effekten på uppkomsten av partiklar (PM10) som till 60-70 procent härrör från damm som bildas till följd av slitage.

Ledtider

Det tar olika lång tid innan de i rapporten diskuterade åtgärderna får fullt genomslag. Åtgärder som avser hela fordonsparken får inte full effekt förrän efter 15-20 år. Skifte till tystare däck och dubbfria vinterdäck kan förväntas få god effekt inom 3-4 år. Minskat buller genom lägre hastighet kan bli det omedelbara resultatet av omskyltning till lägre tillåten hastighet och/eller effektivare övervakning. Förändringar i trafikmiljön och byte till tystare beläggning får förstås effekt så fort åtgärden är utförd. Nackdelen är att storskaliga förbättringar inte sker förrän efter lång tid när en stor del av gatu- och vägnätets egenskaper successivt förändrats. Samma sak gäller investeringar i bullerskärmar och bullerabsorbenter.

Bullerstrategi

För att inom fem år kunna väsentligt reducera bakgrundsbullret bör storstäderna – i vissa fall tillsammans med Vägverket – främst vidta följande åtgärder:

1. Lokala avgifter på dubbade vinterdäck enligt Oslomodellen och/eller krav på att miljöbilar och fordon som utför tjänster för kommunen ska vara försedda med dubbfria vinterdäck.
2. Översyn av hastighetsbestämmelserna på motortrafikleder, stadsmotorvägar och broar samt införande av ATK på strategiska platser för att säkerställa att gränserna inte överskrids.
3. Plan för byte till lågbullrande vägbeläggning, inom vars ram den första fasen bör ge prioritet till några pilotprojekt där effekten kan bedömas bli god för särskilt värdefulla och välbesökta grönområden. Utöver Trädgårdsföreningen i Göteborg och Skanstullsområdet i Stockholm, bör några projekt längs statliga vägar övervägas. Inom ramen för pilotprojekten bör också andra fysiska åtgärder, t.ex. skärmar (inklusive bättre och längre skärmar) och absorbenter övervägas.
4. Översyn av möjligheterna att påverka andra mobila bullerkällor, t.ex. fritidsbåtar, spårburna fordon och arbetsmaskiner.

Utöver detta bör de tre storstadskommunerna, gärna gemensamt, uppvakta regeringen om en tydligare svensk bullerpolitik, inklusive tydliga svenska positioner i frågor som hanteras inom EU. Storstäderna bör också gemensamt uppmärksamma regeringen, rikspo-

liststyrelsen och berörda polismyndigheter om vikten av bättre övervakning av att motorcyklister inte manipulerar sina ljuddämpare.

Av värde kan också vara att uppmärksamma Svanenmärkningen på det akuta behovet av mera ambitiösa kriterier för miljömärkning av fordonsdäck.

REFERENSER

Andersen, B., Bendtsen, H., Schmidt, B. och Nielsen, C.B. (2004). *Måling af trafikstøj fra vejbeläggninger på M10 ved Solrød*. Vejteknisk institut Eksternt notat 21, Vejdirektoratet, Hedeusene, Danmark.

Banverket, Boverket, Försvarsmakten, Luftfartsverket, Länsstyrelsen i Västra Götalands län, Naturvårdsverket, Riksantikvarieämbetet, Sjöfartsverket, Stockholms stad och Vägverket (2003). *Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer – Förslag till mått, mätetal och inventeringsmetod*. Vägverket Publ. 2003:170, Borlänge.

Bendtsen, H. (2004). *Rolling resistance, fuel consumption - a literature review*. Vejdirektoratet Technical Note 23, Vejdirektoratet, Roskilde, Danmark.

Bendtsen, H. och Ellebjerg Jensen, L. (2001). *Støj ved bump på veje*. Danmarks Transportforskning, Lyngby, Danmark.

Bendtsen, H. och Raaberg, J. (2005). *French experiences on noise reducing thin layers*. Vejdirektoratet Technical Note 28, Vejdirektoratet, Hedeusene, Danmark.

Bendtsen, H., Ellebjerg Larsen, L. och Gribe, P. (2002). *Udvikling af støjreducerende vejbeläggninger til bygader*. Danmarks Transportforskning, Lyngby, Danmark.

Bendtsen, H., Ellebjerg Larsen, L. and Andersen, B. (2004a). *Nye veje til støjbekæmpelse i byer - et idékatalog*. Vejdirektoratet Rapport 295, Vejdirektoratet, Köpenhamn, Danmark.

Bendtsen, H., Haberl, J., Litzka, J., Pucher, E., Sandberg, U. och Watts, G. (2004b). *Traffic management and noise reducing pavements - Recommendations on additional noise reducing measures*. Vejdirektoratet Rapport 137, Vejdirektoratet, Roskilde, Danmark.

Bendtsen, H., Raaberg, J. och Thomsen, S.N. (2005a). *International experiences with thin layer pavements*. Vejdirektoratet Technical Note 29, Vejdirektoratet, Hedeusene, Danmark.

Bendtsen, H., Nöhr Michelsen, L., Kristensen, B. and Ellebjerg Larsen, L. (2005b). *Organising urban noise abatement - New ideas*. Vejdirektoratet Rapport 143, Vejdirektoratet, Hedeusene, Danmark.

Berglund, B., Kihlman, T., Kropp, W. och Öhrström, E. (2004). *Soundscape support to health*. MISTRA Final report phase 1, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Bilprovningen (2005). *Motorcyklar – resultat från kontrollbesiktningen 2004*.

Cowan, J. P. (1999). Planning to minimize highway noise impacts. *APA National Planning Conference 1999*, USA, <http://www.asa.edu/caed/proceedings99/>, 2005-07-22.

Crombie, D.H., Hothersall, D.C. and Chandler-Wilde, S.N. (1995). Multiple-edge noise barriers. *Applied Acoustics* 44, s. 353-367.

Daigle, G.A. (1999). Technical assessment of the effectiveness of noise walls. *Noise News International* 7, s. 137-161.

European Commission (2000). *Noise from two-wheeled vehicles*, TRL for the European Commission, Enterprise Directorate General.

European Commission (2003). *Valuation of noise*. Position paper of the working group on health and socio-economic aspects.

European Commission (2004). *Research for a Quieter Europe in 2020*, Research Directorate General.

European Commission (2005). *Working Paper on the Effectiveness of Noise Measures*, Working Group Health & Socio-Economic Aspects, July.

Federal Highway Administration (2005). *Quiet pavement systems in Europe*. USA.

FEHRL (2005). *Optimising the acoustic performance of road surfaces*. IPG 1.2.3 Inception report, FEHRL, Bryssel, Belgien.

Feldmann, J., Möser, M. och Volz, R. *Umweltbelastung durch Verkehrsräusche sowie Aspekte der Schallausbreitung und Schallabsorption in Straßenschluchten*. Symposium "LärmSenken".

Forssén, J. (2001). *The influence of atmospheric turbulence on barrier sound reduction*. Doktorsavhandling, Rapport F 01-04, Avdelningen för teknisk akustik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Fujiwara, T., Meiarashi, S., Namikawa, Y. och Hasebe, M. (2005). Noise reduction effect of porous elastic road surface and drainage asphalt pavement. *Transportation Research Board Annual meeting 2005*, Washington D.C., USA.

de Graaff, D.F., Peeters, A.A.A. och Peeters, H.M. (2005). *Tyre/road noise measurements of truck tyres*. Report M+P.DWW.03.7.1, Delft, Nederländerna.

Göteborgs stad Miljö (2005). *Trafikbuller*. <http://www.miljo.goteborg.se>, 2005-07-24.

Herman, L.A. och Clum, C.M. (2002). Analysis of noise barrier gaps. *Journal of the Acoustical Society of America* 111, s. 1734-1742.

IPG (2005). *State of the art: Central reservation barriers*. The ministry of transport, public works and water management, Road and water directorate, Nederländerna.

Jean, P. (2000). The effect of structural elasticity on the efficiency of noise barriers. *Journal of Sound and Vibration* 237, s. 1-21.

Kaptein, D., de Beer, F.G., van't Hoof, J., Telman, J., Noordhoek, I., Safari, B., Kohler, C.J.A.M., van Riet, C., Mank, J.A.M., Padmos, C.J., van Vliet, W.J. och van Ooststroom, L.E.M. (2004). *Praktijkproef Schermtoppen. Eindrapport IPG 4.2.2. Dienst Weg- en Waterbouwkunde*, Rijkswaterstaat, Delft, Nederländerna.

Kennedy, J., Gorell, R., Crinson, L., Wheeler, A. och Elliott, M. (2005). *'Psychological' Traffic Calming*. TRL Report TRL641, Transport Research Laboratory, Berkshire, Storbritannien.

van Keulen, W. och Duskov, M. (2005). *Inventory study on basic knowledge on tyre/road noise*. Report DWW-2005-022, The Road and Hydraulic Engineering Division of Rijkswaterstaat, Delft, Nederländerna.

Kragh, J. (2005). *Traffic noise at two-layer porous asphalt - Öster sögade, year no. 6*. Vejdirektoratet Technical Note 30, Vejdirektoratet, Hedehusene, Denmark.

Lindqvist, M. (2003). *Vägbulors effekter på trafikbullersituationen - en kunskapsöversikt*. Avdelningen för plan och miljö, Miljöförvaltningen, Stockholms stad.

Malker, H., Nilsson, N.-Å. och Stenman, Å. (2004). *Demonstration av ljudnivåreducerande skärmkrön - Mätning av insättningsdämpning för en 60 m lång provsträcka vid Lahäll, Täby*. Tekniskt meddelande R01-E1831, Acoustic Control Laboratories, Täby.

May, D.N. and Osman, M.M. (1980). The performance of sound absorptive, reflective and T-profile noise barriers in Toronto. *Journal of Sound and Vibration* 71, s. 65-71.

Morgan, P. A. (2004). *Review of Japanese Noise Barrier Research*. Report DWW-2004-081, The Road and Hydraulic Engineering Division of Rijkswaterstaat, Delft, Nederländerna.

Naturvårdsverket (1996). *Vägtrafikbuller - Nordisk beräkningsmodell*. Naturvårdsverket Rapport 4653, Stockholm.

Naturvårdsverket (2003). *Riktvärden för trafikbuller i andra miljöer än för boende, vård och undervisning*. Redovisning av regeringsuppdrag 2003-08-14.

Naturvårdsverket (2005). *Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer - Utvärdering och utveckling av mått, mätetal och inventeringsmetod*. Naturvårdsverket Rapport 5440, Stockholm.

Navrud, S. (2003). *The State-of The-Art on Economic Valuation of Noise*. Agricultural University of Norway.

Nielsen, C.B. (Red.) (2004). *Stöjdämpende vejbeläggninger på Motorring 3. Teknisk og samfundsøkonomisk analyse*. Vejteknisk institut Eksternt notat 19, Vejdirektoratet, Roskilde, Danmark.

Nielsen, C. B., Raaberg, J. och Nielsen, E. (2005). *Holdbarhed af Drænesfalt*. Vejteknisk institut Rapport 139, Vejdirektoratet, Hedehusene, Danmark.

Nilsson, M. och Berglund, B. (2005). *Upplevd ljudmiljö i stadsnära grönområden och stadsparkar*. Naturvårdsverket Rapport 5442, Stockholm.

Ohm, A. och Jensen, M.P. (2003). *Strategi for begrænsning af vejtrafikstøj - Delrapport 3. Virkemidler og samfundsøkonomiske beregninger*. Miljøstyrelsen Arbejdsrapport 54, Miljøministeriet, Danmark.

de Roo, F., van der Knaap, F.G.P., van't Hoof, J., Salomons, E., Mank, J.A.M., Padmos, C.J., van Ettinger, J.J. och van Ooststroom, L.E.M. (2004). *Diffractionstesten en Simulaties Schermtoppen. Eindrapport IPG 4.2.1. Dienst Weg- en Waterbouwkunde*, Rijkswaterstaat, Delft, Nederländerna.

Salomons, E. (1997). Sound propagation in complex outdoor situations. *Acustica* vol 83, sid 436-454.

Sandberg, U. (2001). Tyre/road noise - Myths and realities. *Proceedings of Inter-Noise 2001*, Haag, Nederländerna.

Sandberg, U. (2002). *Noise Emission from Powered Two-Wheeled Vehicles. Position Paper*, VTI.

Sandberg, U. (2005). *Ekonomiska styr- och stimulansmedel i riktning mot lägre buller emission från bildäck*, VTI.

Sandberg, U. (2005). *Encouraging an increased use of low-noise tyres by means of economic stimulation*. Swedish National Road and Transport Research Institute, Göteborg.

Sandberg, U. och Ejsmont, J.A. (2002). *Tyre/road noise reference book*. Informex, Kisa.

Sauer, C. (Red.) (2004). *Stöjskärme. Eksampler och erfaringer II*. Vejdirektoratet Rapport 282, Vejdirektoratet, København, Danmark.

SIKA (2002). *Översyn av samhällsekonomiska metoder och kalkylvärden på transportområdet*. ASEK. SIKa Rapport 2002:4.

SIKA (2005). *Kan trafikbullerpolitiken göras mera effektiv?* SIKa PM 2005:11.

Stockholms stad (2005), *Rulla rätt, Guide till krav på miljöanpassade däck*.

Strömmer, K. (1998). *Vägrafikbuller*. Vägverket, Avdelningen för miljö och naturresurser, Borlänge.

The Sun (2005). Saturday's Mailbox: Redirecting traffic boosts neighborhood, 2005-11-22.

Sveriges Kommuner och Landsting (2006), *Miljö- och säkerhetskrav vid upphandling av taxi, skolskjutsar och färdtjänst. Förslag till mallar för kommunal upphandling*, Stockholm.

Sveriges riksdag (2005). *Motion till Riksdagen: Bullerbekämpning*. <http://www.riksdagen.se>, 2005-07-25.

Thorsson, P. (2003). *Prediction and optimisation of traffic noise - a study on noise barriers and shielded areas*. Doktorsavhandling, Rapport F 03-06, Avdelningen för teknisk akustik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.

Thorsson, P., Ögren, M. och Kropp, W. (2004). Noise level on the shielded side in cities using a flat city model. *Applied Acoustics* vol 65.

Törsäter, K. (2000). *Håll tyst!* Magasin Chalmers 1, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Vejdirektoratet (2005). *21 miljöprioriterede byggenemfarter*. Vejdirektoratet Rapport nr. 281. Vejdirektoratet, Köpenhamn, Danmark.

Vergote, S. (2001), *Draft position paper on PTW noise*, 21.6.2001, European Commission, DG TREN.

VROM (2004), *Traffic Emissions Policy Document*, The Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM).

Watts, G.R. och Godfrey, N.S. (1999). Effects on roadside noise levels of sound absorptive materials in noise barriers. *Applied Acoustics* 58, s. 385-402.

WHO (2005). *Guidelines for community noise*. <http://www.who.int>, 2005-07-31.

Åkerlöf, L. och Hallin, A. (2005). *Stockholms tysta gröna områden - ljudnivåer och inventering*. Naturvårdsverket Rapport 5441, Stockholm.

Åkerlöf, L. (2001). *Trafikbuller i gårdsmiljöer i Stockholm*. Stockholms stads miljöförvaltning, Stockholm, Sweden.

Ögren, M. (2004). *Prediction of traffic noise shielding by city canyons*. Doktorsavhandling, Rapport F 04-01, Avdelningen för teknisk akustik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.