

Bullerproblematik och akustisk design

– Projektering som verktyg för att bearbeta högre ljudnivåer

Noise pollution and acoustic design

– Landscape design as an instrument to handle higher noise levels

Fredrik Andersson



Bullerproblematik och akustisk design – Projektering som verktyg för att bearbeta högre ljudnivåer
Noise pollution and acoustic design – Landscape design as an instrument to handle higher noise levels

Fredrik Andersson

Handledare: Gunnar Cerwén, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Examinator: Erik Skärbäck, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Examensarbete för landskapsingenjörer

Kurskod: EX0361

Program/utbildning: Landskapsingenjörsprogrammet

Examen: Landskapsingenjör, kandidatexamen i landskapsplanering

Ämne: Landskapsplanering

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsmånad och -år: April 2014

Omslagsillustration: Tove Hennix

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: buller, akustisk design, ljudlandskap, hållbar utveckling, ljud, grön infrastruktur, projektering, ljudmiljö, ljuddämpning, bullerbekämpning, ytbehandlingar.

Illustrationer är av författaren om inget annat anges.

Tillstånd till publicering av samtliga illustrationer har medgivits.

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

Sammanfattning

Utformningen och projekteringen av offentliga miljöer har länge haft visuella intryck som utgångspunkt och fokus. Den fortlöpande urbaniseringen och förtätningen av städer leder till högre krav på offentliga platsers funktion och utnyttjandegrad. Fler människor ska kunna använda och dra nytta av allt färre områden. Det leder till att utformningen av urbana miljöer blir en mångfacetterad uppgift.

Syftet med examensarbetet är att undersöka vilka val som kan göras i projekteringskedet för att bättre hantera den högre ljudbilden och därmed utveckla en hållbar stadsmiljö. Fokus kommer att ligga på att arbeta med enklare förändringar som kan arbetas in i projekteringsprocessen. Arbetet fokuserar på att studera ljudlandskapet och dess påverkan på urbana miljöer. Buller har väldokumenterade hälsoeffekter och kan förhöja människors stress, irritationsnivåer samt öka risken för sömnsvårigheter. Fokus på god urban utformning bör därmed även ligga på akustisk design och inte endast på visuellt estetiska värden.

Vid arbete med ljud i urbana miljöer utgår man ofta främst från ljud som något negativt. Det är först när ljud blir ett problem – buller, som man gör något åt det. Istället bör man även fokusera på att höja ljudkvaliteten och låta det motivera bullerhanteringen. Genom att arbeta med sammansatta metoder kan man få fram bättre, välprojekterade och långsiktiga lösningar.

Arbetet utgår från en litteraturstudie som grundar sig i forskning kring beräknings- och mätdata på åtgärder som kan förbättra ljudmiljön. I arbetet beskrivs och redogörs för olika verktyg som kan användas vid arbete med bullerproblematiken i urbana miljöer, däribland låga bullerreducerande barriärer, ytbearbetningar och gröna tak. Arbetet fullbordas med tre explorativa studier som har sin grund i litteraturstudien och beskriver utformningsexempel på bullerproblematiken i offentliga miljöer.

I arbetet diskuteras litteraturen i förhållande till den urbana miljöns platsspecifika krav på funktion och lösningar. Åtgärdernas placering och uppbyggnad är lika väsentlig som insatsens storlek och utformning. Genom att arbeta med smarta lösningsförslag kan man få fram en god ljudmiljö med små förändringar i utformningen av en plats. Detta ledde fram till studier med kombinerade lösningsförslag som kan utveckla en bättre ljudmiljö samtidigt som de bullerreducerande åtgärderna inte tar över platsens användningsområde och utformning. Sänkta bullernivåer leder till att området blir mer attraktivt samtidigt som lägre ljudnivåer bidrar till en bättre folkhälsa.

Abstract

The design and planning of public spaces have long had the visual appeal as a starting point and focus. The continuous urbanization and densification of cities leads to higher demands on the public areas at the function and utilization. More people should be able to use and benefit from fewer and fewer areas. This means that the design of urban environments is a multifaceted task.

The purpose of this study is to examine the choices that can be made in the design stage to better handle the higher sound image and thus develop a sustainable urban environment. The focus will be on working with simple changes that can be worked into the design process. The thesis focuses on studying the soundscape and its impact on urban environments. Noise pollution has well-documented health effects and can increase people's stress, irritation levels and the risk of insomnia. Focus on good urban design should thus also be on acoustic design and not only on aesthetic values.

When working with sound in urban environments it is often assumed that higher noise levels is something negative. Not until the sound becomes a problem – noise pollution, is anything done about it. Instead, one should also focus on increasing the sound quality and make that the priority when working with noise pollution. By instead working with combined methods it's possible to produce well designed and long term solutions.

The thesis is based on a literature study and focuses on research, computational data and measures that can improve the sound environment. The tools described and reviewed are instruments that can be used when working with noise pollution in urban environments, including low-height noise barriers, ground treatments and green roofs. The work is completed by three exploratory studies that are based on the literature study and describes the design example of the noise pollution problem in public places.

The thesis discusses the literature in relation to the urban environment's site-specific requirements on functionality and design. The structural design and location is as essential as the objects size and design. By working with smart solution one can create a good sound environment with small changes in the design of the site. This led to studies with combined solutions to develop a better sound environment while noise-reducing measures aren't the overall focus of the sites usage and design. Reduced noise levels will lead to the area becoming more attractive while lower noise levels contribute to better public health.

Förord

Detta examensarbete är avslutningen på min utbildning till landskapsingenjör vid Sveriges lantbruksuniversitet i Alnarp. Arbetet är på 15 hp inom ämnet landskapsplanering.

I nyheterna och forskningsrapporter kommer ständigt nya rön om hur urbaniseringen påverkar världen både globalt och lokalt. På det lokala planet innebär urbaniseringen att större och större krav ställs på hur man ska hantera detta mångfacetterade problem.

Mitt intresse för hur ljud påverkar och formar människors beteende i stadsmiljö samt kopplingen mellan ljud och fortlöpande urbanisering är något som uppstod under min utbildning. Detta intresse utvecklades vidare efter samtal med min handledare, klasskamrater och arbetskamrater på min praktik.

Målet med arbetet är att få fram ett lättanvänt underlag som kan användas vid projektering eller i andra tidiga skeden i utformningen av offentliga miljöer som en hjälp för att arbeta med bullerproblematiken. Som landskapsingenjör får man ofta detaljansvar i projekteringskedet, och en god inblick krävs i hur olika lösningar fungerar med varandra och hur de i sin tur kan ge stora förändringar för platsens upplevelsevärden och ljudmiljö. Eftersom närområdesnaturen och hur den påverkar människors hälsa är angränsande forskning såg jag det som en bonus att få lära mig mer om det.

Jag vill tacka alla som på något sätt gjort detta arbete mer hanterligt och genomförbart. Speciellt vill jag tacka mina klasskamrater som gett mig nya synvinklar och idéer, Jens Forssén för hans expertkunskap inom området samt min handledare Gunnar Cerwén som genom god handledning, kunskap och iakttagelser hjälp till att föra arbetet framåt.

Fredrik Andersson
Alnarp, april 2014

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	1
1.4 Avgränsning	2
1.5 Disposition	2
2. Metod	3
3. Ljudlandskapet	4
4. Vad är ljud?	5
4.1 Ljudets utbredning	5
4.2 Örats egenskaper	6
4.3 Ljudets fysiska egenskaper och utbredning	7
4.4 Reflektion, diffraktion och absorption	8
4.4.1 Reflektion	8
4.4.2 Diffraktion	9
4.4.3 Absorption	9
5. Hälsoeffekter	10
5.1 Bullerkartläggning	10
5.2 Buller och hälsa	12
5.3 Buller och trivsel	12
5.4 Naturljud	14
6. Verktyg för att förbättra ljudmiljön	15
6.1 Bullerskärmar	15
6.2 Träd och buskar	16
6.3 Mark- och ytbearbetningar	17
6.4 Gröna väggar och tak	18
7. Att projektera för ljud – Explorativa studier	20
7.1 Rörsjöparken, Malmö	20
7.1.1 Befintlig utformning	20
7.1.2 Förslagna åtgärder	21
7.1.3 Reflektion	22
7.2 Högevallsgatan, Lund	23
7.2.1 Befintlig utformning	23
7.2.2 Förslagna åtgärder	25
7.2.3 Reflektion	26
7.3 Stortorget, Lund	27
7.3.1 Befintlig utformning	27
7.3.2 Förslagna åtgärder	28
7.3.3 Reflektion	28
8. Diskussion	30
9. Källförteckning	32

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Ända från medeltiden till modern tid har Europas sociala, kulturella och ekonomiska utveckling varit centrerad till städer (Commission to the Council and Parliament, 1990). Att arbeta med stadsmiljö och livskvalitet är av hög betydelse för individens fysiska välbefinnande och dessutom ett uttryck för civilisationens manifestationer på ekonomiska, vetenskapliga och sociala resultat.

Urbaniseringen som skett från 1900-talet och framåt gör att städernas utformning blir allt större och kräver högre grad av helhetstänk. Enligt Delegationen för Hållbara Städer (2012) räknar FN med att den fortlöpande urbaniseringen leder till att stadsbefolkningen i världen kommer att öka från 3,5 miljarder år 2008 till drygt 6 miljarder år 2030. Av Europas befolkning lever i dagsläget 80 procent i urbana miljöer (Delegationen för Hållbara Städer, 2012).

Vår hörsel är ett av våra starkaste sinnen, och ljud är någonting som vi påverkas av dagligen. Buller är, även om det inte är synlig för ögat, den miljöstörning som påverkar flest antal människor i Sverige. Ungefär 2 miljoner människor i Sverige utsätts för trafikbuller som överskrider riksdagens riktvärden, 55 dB LAeq, 24h, vid sin bostad (Boverket, 2004). Buller som miljöpåverkan leder till många hälsoproblem såsom sömnstörningar, irritation och stress. För att kunna förbättra ljudmiljön krävs att man tar en större hänsyn till planeringen av denna än vad som tidigare skett (Boverket, 2004).

Att arbeta med bullerproblematiken på urbaniserade platser kan förhindras av andra åtgärder som bidrar till en hållbar utveckling. Exempelvis är en förtätning av staden önskvärd i vissa avseenden men den kan vara mer problematisk med avseende på buller. Ökad kollektivtrafik kan även bidra till ökade buller- och vibrationsstörningar (Delegationen för Hållbara Städer, 2011).

Idag utformas och planeras städer med utgångspunkt i det visuella, men man bör även fokusera på våra andra sinnen, däribland hörseln. Genom att sätta hörseln i fokus så kan man förbättra ljudmiljön och därmed även utveckla mer hållbara och användbara områden (Tyréns, 2013).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka vilka val som kan göras i projekteringskedet för att bättre hantera den högre ljudbilden och därmed utveckla en hållbar stadsmiljö. Fokus kommer att ligga på att arbeta med förändringar som enkelt kan arbetas in i projekteringsprocessen.

1.3 Frågeställningar

- Vilka metoder för ljudreducering kan användas i projekteringskedet för att utveckla arbetet på ljudutsatta platser?
- Vilka materialval/utformningar kan vara användbara för att tillgodose de högre kraven på bullerdämpning i urbana miljöer?

1.4 Avgränsning

Då ljud och dess påverkan på människor är ett brett område kommer detta arbete endast att fokusera på den högre ljudbilden som finns på offentliga ljudutsatta platser. Inga ljudmätningar kommer att göras utan resultaten grundas i teori, matematiska modeller och upplevda värden. Naturljud och dess fördelar tas upp i kapitlet Hälsoeffekter men ingår på grund av tidsfristen inte i de explorativa studierna. Ekonomiska aspekter har sin betydelse för arbetet men inga kostnadskalkyler beräknas för de olika utformningarna. Akustisk design som begrepp innefattar även tillägg av ljud, men detta behandlas inte i uppsatsen. Arbetet leder inte till specifika växtval för bullerdämpning utan fokuserar istället på hur utformning och gestaltning av ytor kan påverka ljudbilden. Kopplingen mellan de explorativa studierna och litteraturstudien resulteras på grund av tidsbrist i en subjektiv bedömning gjord på inhämtad information.

1.5 Disposition

Uppsatsen är indelad i fem stycken delar: *Ljudlandskapet, Vad är ljud?, Hälsoeffekter, Verktyg för att förbättra ljudmiljön* samt *Att projektera för ljud*. Kapitlen överlappas medvetet i syfte att underlätta läsbarheten. Det första kapitlet *Ljudlandskapet* fungerar som en introduktion till begreppet och hur det uppkom. Det andra kapitlet tar upp grundläggande kunskap om ljudets egenskaper och hur det förhåller sig till olika påverkningar.

Kapitlet *Hälsoeffekter* fokuserar på hur ljud påverkar människan samt hur hälsoeffekter ofta är sammankopplade, exempelvis genom att ljudmiljön förbättras genom välprojekterade grönområden som även bidrar till estetiska och visuella fördelar.

Verktyg för att förbättra ljudmiljön fokuserar på praktiska exempel och idéer som kan förbättra ljudlandskapet. Fokus ligger på vilka olika utformningar som kan utföras för att förbättra ljudlandskapet, samt vilka förbättringar dessa utformningar ger.

Det avslutande kapitlet *Att projektera för ljud* binder samman föregående kapitel och redovisar genom explorativa studier olika exempel på utformningar som kan användas vid projektering för ljud.

2. Metod

För att uppnå syftet har en litteraturstudie genomförts. Litteraturstudien har fokuserat på praktisk och verktygsbaserad litteratur som beskriver metoder och materialval som kan användas till uppsatsens syfte (Bryman, 2011). Litteraturen har samlats, läst, ställts mot varandra och refererats i litteraturstudien. Frågeställningarna har använts som grund vid litteratursökningen och har haft en avgränsande funktion.

En bred sökning har gjorts på Google, Google Scholar samt SLU-bibliotekets katalog Primo. Först har fokus i sökningen varit på hållbar utveckling och urbanisering, för att därefter begränsas till ljud och dess påverkan i urbana miljöer. Sökorden som jag använt mig av är: *buller, akustisk design, ljudlandskap, hållbar utveckling, ljud, grön infrastruktur, projektering, ljudmiljö, ljuddämpning, bullerbekämpning, ytbehandlingar*.

Efter den breda ämnessökningen blev det snabbt klart att ämnesområdet fortfarande är relativt nytt, och ny forskning och resultat redovisas kontinuerligt. Min plan var initialt att besöka välprojekterade och välbyggda platser som använt sig av tillvägagångssätten i litteraturstudien för att få fram en bra ljudmiljö, men eftersom många av forskningsresultaten är relativt nya finns det inte några riktigt bra studieprojekt att tillgå. Detta bekräftades även efter samtal med Jens Forssén, docent i Teknisk Akustik vid Chalmers tekniska högskola, om möjliga studieprojekt. Istället valde jag att fokusera på explorativa studier av fiktiva situationer. De explorativa studierna är utformade för att visa exempel på lättillgänglig och god akustisk design, och kan på så vis användas som ett avstamp i projekteringsfasen. Tre vitt skilda studieplatser är valda för att exemplifiera olika typer av akustisk design med avseende på bullerproblematik, läge och platsbrist.

En av de största källorna jag använt mig av är HOSANNA-projektet som är ett tvärvetenskapligt EU-finansierat projekt vars mål var att få fram mätdata, beräkningsdata och fakta på goda resurser för bullerdämpning i urbana miljöer. Jag har ansett att projektet är en tillförlitlig och välgrundad källa med bred expertkunskap som även bidragit med ny information inom forskningsområdet. HOSANNA-projektet utgår främst från avancerade matematiska modeller och inte i verkliga situationer, så en icke försumbar osäkerhet finns vid implementeringen av verktygen i verkligheten. En semistrukturerad informantintervju (Kvale, 2009) har även gjorts med projektets koordinatör Jens Forssén vid Chalmers tekniska högskola.

3. Ljudlandskapet

Ljudlandskap som begrepp myntades av den kanadensiske kompositören Raymond Murray Schafer. Begreppet ljudlandskap, *Soundscape*, handlar om de händelser som vi hör, inte om det vi ser (Schafer, 1994). Ljudlandskap beskriver hur ljudbilden ändras i och med världens utveckling och ställer i centrum den kvalitativa, faktiska upplevelsen av ljudmiljön.

Akustisk design är en tvärdisciplinär gren som binder samman musiker, akustiker, psykologer, sociologer och andra vetenskapsgränar för att studera världens ljudlandskap. Genom denna förening av kunskaper kan man utveckla och nå kvalitativa lösningar som är anpassade till de lokala förutsättningarna (Hellström, 2010). Genom att studera skillnader, trender och likheter i ljudbilden kan man lösa ljudproblematiken och få förståelse för hur frågan ska hanteras (Schafer, 1994).

Schafer (1994) argumenterar vidare för hur vi med begrepp som *sightseeing* lägger större tyngdvikt på de visuella aspekterna i vår närvaro och mindre på de akustiska. Han poängterar att det är viktigt att använda alla sinnen för att fullständigt kunna uppleva en hel omgivning, genom att använda alla sinnen unisont.

Buller som begrepp går långt tillbaka. År 1225 definierade The Oxford English Dictionary oönskat ljud - *unwanted sound* (Schafer, 1994). Detta betyder vidare att ljud blir ett subjektivt begrepp (ibid). En person kan tolka ett visst ljud som harmoniskt medan det för en annan är oljud. Schafer (1994) markerar därmed att det är viktigt att poängtera att man ska arbeta mot de ljud som stör allmänheten. Ljud som stör allmänheten definieras som de ljud som stör en betydande del av befolkningen. En studie av De Coensel, et al. (2011) visade korrelation mellan naturliga ljudkällor och upplevd ljudkvalitet. Genom att reducera oönskat ljud, buller, kan man därmed också skapa plats för mer önskade ljud så som fågelkvitter och fontäner.

Ett områdes ljudlandskap förändras beroende på vilka material platsen är uppbyggd av. Alla material, exempelvis trä, tegel och glas reflekterar ljudvågor olika, vilket gör att uppbyggnaden och balansen mellan elementen är viktiga för att förstå platsens ljudlandskap (Schafer, 1994).

I mitten av 1990-talet började man diskutera begreppet transparent arkitektur. Syftet var att diskutera och skifta fokus till arkitektur som inte innefattade synen, såsom ljus, lukt och elektronisk information (Tyréns, 2013).

Ljud- och bullerfrågor är alltför fokuserade på defensiva strategier, att skydda människan från ljud. Miljöforskaren Pascal Amphoux tycker att man istället bör fokusera på hur man kan arbeta med de goda kvalitéerna i ljudlandskapet, och på så sätt utveckla den urbana ljudmiljön (Hellström, 2010).

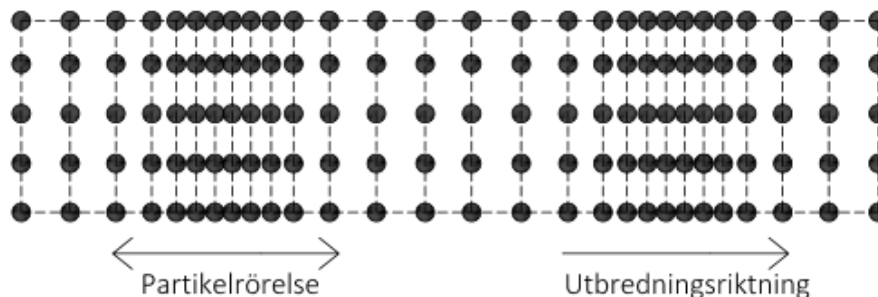
4. Vad är ljud?

Den mänskliga hörseln är en väldigt känslig sensor som behandlar akustiska signaler (Kleiner, 2000).

Ljud som svängningsprocess beskriver utbredning och rörelser i horisontella och vertikala led. Denna svängningsprocess rör sig från källan, exempelvis en bil, till mottagaren, människan. När ljudet når mottagarens upptagningssinne kommer det i kontakt med trumhinnan som vibrerar tillsammans med ljudvågorna, vilket gör att vi kan uppleva ljudet (Scholz & Winroth, 2008). De ljudvågor, eller vågrörelser, som fortplantas när ljudet transporteras genom luften ger svängningar som gör att lufttrycket varierar och det leder till att rörelsen transporteras framåt (Nilsson, et al., 2005).

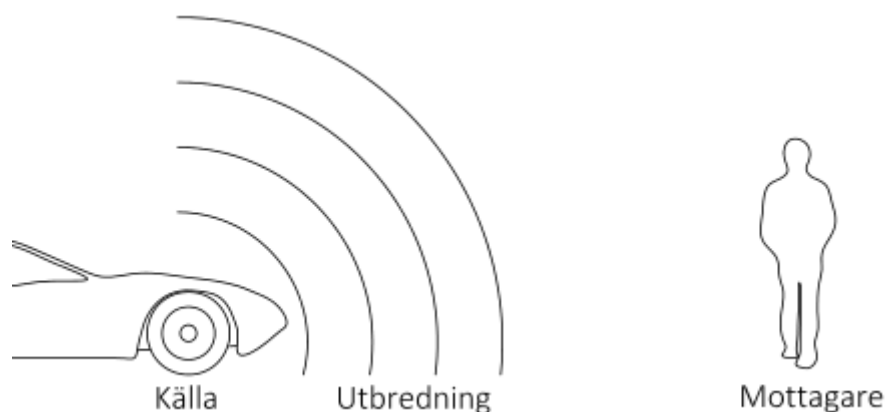
4.1 Ljudets utbredning

När ett ljud uppstår sprids det vidare till andra partiklar från källan till mottagaren genom vågutbredningsriktningen (Nilsson, et al., 2005). För vågor i luft sker detta i samma riktning som utbredningsriktningen, genom så kallade longitudinalvågor, se figur 1. För andra vågor rör sig partiklarna i vinkelrät riktning mot utbredningshastigheten och dessa vågor kallas för transversalvågor. Detta sker exempelvis i vatten. I fasta kroppar består ljudvågorna ofta av en kombination av både longitudinalvågor och transversalvågor (Nilsson, et al., 2005).



FIGUR 1 – EN LONGITUDINALVÅGS PARTIKELRÖRELSE OCH UTBREDNINGSRIKTNING. ADAPTERAD FRÅN (NILSSON, ET AL., 2005).

De longitudinala vågornas utbredning i luft kan ses som en sfärisk utbredning från källan till mottagaren, se figur 2. När ljud utbreder sig över ett medium så har det en viss utbredningshastighet, även kallad våghastighet. Denna våghastighet beror på mediets densitet och styvhetsegenskaper. Detta innebär att hastigheten för ett visst ljud är konstant, därför är det samma ljudsignal som träffar mottagaren som sändes från källan. I luft är ljudhastigheten 340 m/s (Nilsson, et al., 2005).



FIGUR 2 – SFÄRISK UTBREDNING AV DE LONGITUDINALA VÅGORNA I LUFT FRÅN KÄLLA TILL MOTTAGARE.

4.2 Örats egenskaper

När ljudvågor ska beskrivas utgår man ofta från ljudtrycket, eftersom vår hörsel är väldigt känslig för de tryckvariationer som skapas när ljudvågor rör sig (Nilsson, et al., 2005). Skillnaden mellan hur örat uppfattar en ljus och en mörk ton är beroende på hur snabbt dessa tryckväxlingar sker. Dessa variationer i lufttrycket kan ske på långa eller korta tidsmoment. Det finns också gränser för vad det mänskliga örat kan uppfatta, därför beskrivs antalet lufttrycksförändringar, eller svängningar, per sekund (Scholz & Winroth, 2008). Tiden som en fullbordad svängning tar kallas för *periodtiden*, T . *Frekvensen*, f , visar på hur många perioder det går per sekund, det vill säga $f = \frac{1}{T}$ (Nilsson, et al., 2005).

När ett ljud har hög frekvens så betyder det att ljudet har ett större antal ljudväxlingar per sekund än ett ljud med lägre frekvens (Nilsson, et al., 2005). Buller i frekvenser som det mänskliga örat inte kan uppfatta, låg- och högfrekvent buller, inverkar även på vår hälsa (Boverket, 2004).

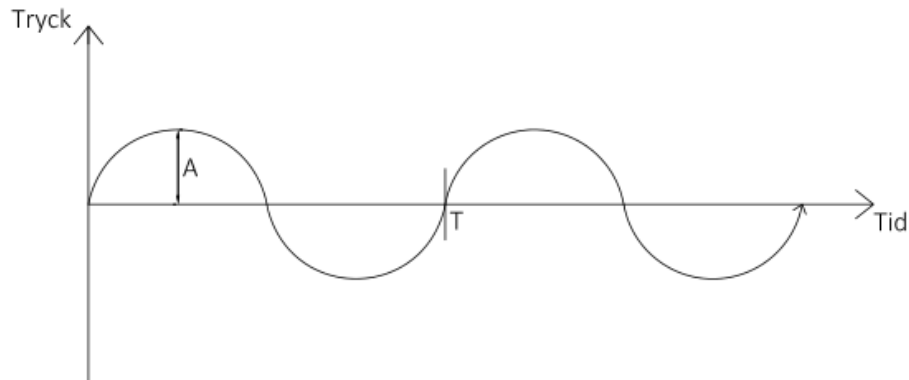
Ett friskt öra kan höra ljud mellan frekvenserna 20-20 000 Hz (Boverket, 2004). Ljudtrycksnivån, även kallad decibelnivån, har en smärtröskel på 120 dB, se tabell 1. Vid sådana ljudtrycksnivåer upplever människor smärta. Detta spann betyder att en person med frisk hörsel kan höra ljud med mellan 20 och 20 000 svängningar per sekund (ibid). Svängningarna påverkar trumhinnan genom att den rör sig från sitt viloläge och tillbaka, alltså innebär en frekvens på 12 000 Hz det nästintill ofattbara att trumhinnan rör sig 12 000 gånger per sekund (Scholz & Winroth, 2008).

TABELL 1 – EXEMPEL PÅ OLIKA LJUDSTYRKOR, DESS LJUDKÄLLA OCH LJUDSTYRKANS PÅVERKAN PÅ MÄNNISKANS TRIVSELNIVÅ (BOVERKET, 2008), (NILSSON, ET AL., 2005), (ARLINGER, 1995).

Ljudstyrka (dB, genomsnitt)	Ljudkälla	Ljudets påverkan
145	I närheten av ett jetplan	Smärtgräns
120		
110	Diskotek	Obehagsområde
100		
80	Storstadsgata	Behaglig ljudnivå
75		
65	Samtal	
52	Förrarplats vid landsvägskörning	
50		
35	Svagt vindbrus	Gränsen för uppfattbart ljud
20	Tyst natur	
0-10		

4.3 Ljudets fysiska egenskaper och utbredning

För att förstå ljudets svängningsprocesser behöver man också förstå amplitud. När trumhinnan uppfattar en ljudvåg så rör den sig en distans från sitt viloläge. Denna distans kallas för svängningen, eller amplituden, se figur 3 (Scholz & Winroth, 2008).



FIGUR 3 – KORRELATION MELLAN AMPLITUDEN (A) OCH PERIODTIDEN (T).

Våglängden (λ) för ljud är korrelerat med frekvensen för ljud genom formeln

$$\lambda = \frac{\text{Sträcka tillryggalagd på 1 sekund}}{\text{Antal svängningar under 1 sekunda}} \quad (\text{Scholz \& Winroth, 2008}).$$

Eftersom ljudets utbredningshastighet är 340 m/s kan man räkna ut sambandet mellan frekvens och våglängd, se tabell 2.

TABELL 2 – SAMBAND MELLAN FREKVENSEN FÖR LJUD SAMT DESS VÅGLÄNGD (SCHOLZ & WINROTH, 2008).

Frekvens	Våglängd
20 Hz	17 m
100 Hz	3,4 m
340 Hz	1 m
1 000 Hz	34 cm
10 000 Hz	3,4 cm
20 000 Hz	1,7 cm

I tabellen kan exempelvis utläsas att en meter höga bullerskärmar har en mindre påverkan på ljudvågor med en frekvens på 340 Hz eller lägre. Vid så låga frekvenser avtar skärmens effekt påtagligt:

$$\lambda = \frac{\text{Sträcka tillryggalagd på 1 sekund}}{\text{Antal svängningar under 1 sekunda}} = \frac{340}{340} = 1.$$

Effekten kan visualiseras genom att tänka sig en stolpe i vatten, stora vågor "ser" inte stolpen men små krusningar (med en våglängd mindre än stolpens bredd) kan studsas mot stolpen eller släckas ut bakom.

4.4 Reflektion, diffraktion och absorption

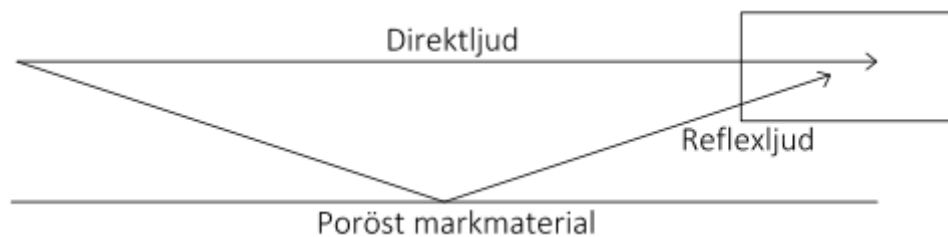
När ett ljud breder ut sig över ett medium så kommer det någon gång att stöta på ett annat medium, d.v.s. ett hinder i ljudets utbredning. När ljudvågen träffar hindret så kan tre saker hända med ljudvågen (Scholz & Winroth, 2008):

- Reflektion
- Diffraktion
- Absorption

4.4.1 Reflektion

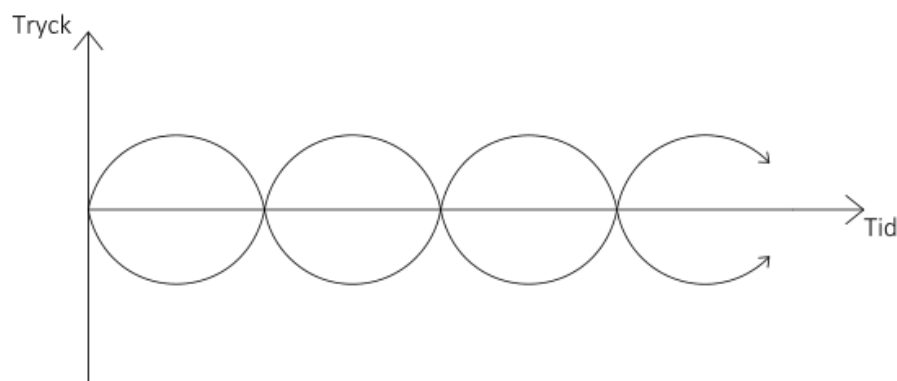
När ljudvågen träffar ett nytt objekt så ändras vågutbredningen eftersom det nya objektets elasticitet, densitet och massa inte är densamma som i det förra mediet (Nilsson, et al., 2005). Reflektion innebär att ljudvågorna reflekteras från objektet tillbaka ut till omgivningen (Scholz & Winroth, 2008).

Ett fenomen som bullerskärmar och andra bullerdämpande objekt kan använda sig av är så kallad destruktiv interferens (Forssén, 2014). Destruktiv interferens, eller total utsläckning, är när en viss andel av ljud från en ljudkälla uppehålls en stund i något medium, exempelvis i ett poröst markmaterial. Denna uppehållstid resulterar i att när ljudvågen sedan transporteras vidare är den inte i samma fas som direktljudet, det vill säga att ljudtrycken är fäsvända i förhållande till varandra, se figur 4 (Nilsson, et al., 2005).



FIGUR 4 – HUR DIREKT LJUD OCH REFLEX LJUD SAMSPELAR NÄR REFLEX LJUDET REFLEKTERAT PÅ ETT PORÖST MARKMATERIAL.

Denna destruktiva interferens gör att ljudvågorna "nollställer" varandra vilket leder till en ljudminskning för mottagaren, se figur 5 (Forssén, 2014). Det som sker är att en förtätning (ökat ljudtryck) från en våg sammanfaller med förtunning (minskat ljudtryck) med en annan våg, vilket ger ett resultat nära noll, det vill säga att varken en förtätning eller förtunning sker (ibid).



FIGUR 5 – DEN DESTRUKTIVA INTERFERENSEN SOM UPPSTÅR. LJUDVÅGORNA ÄR FASFÖRSKJUTNA EN HALV PERIODTID VILKET LEDER TILL ATT VARKEN FÖRTÄTNING ELLER FÖRTUNNING SKER.

4.4.2 Diffraktion

Ett annat sätt att hantera bullerproblematik är arbeta med ljudskuggor. Begreppet ljudskugga beskriver den minskning av ljudnivån som uppnås när man med hjälp av ett hinder, exempelvis en bullerskärm, sätter upp en skiljevägg mellan ljudkällan och mottagaren. Bakom skärmen skapas därmed en ljudskugga där ljudnivån är lägre (Scholz & Winroth, 2008). Ljudskuggans storlek beror på placering samt höjd på bullerskärmen. Denna skugga innebär att direktljudet inte fortplantas till platsen som är under skugga, däremot så kan ljud fortplantas till platsen genom diffraktion, det vill säga att ljudvågorna "kröker" sig runt objektet.

Vilka ljudvågor som diffrakterar är beroende på frekvensen, exempelvis är det mest låga frekvenser som diffrakterar då deras våglängd överensstämmer med bullerskärmens dimensioner (Nilsson, et al., 2005). Tabell 2 ovan belyser hur en bullerskärm som är en meter hög främst kommer att diffraktera ljud med frekvensen 340 Hz, vilket innebär att lågfrekventa ljudvågor kommer påverkas mindre av skärmen än högfrekventa.

Vind påverkar ljudets utbredning och därmed också var ljudnivåerna sänks och höjs. Ljud fortplantar sig med hjälp av luftströmmar vilket gör att ljud uppfattas på längre avstånd med vinden än mot vinden (Nilsson, et al., 2005).

En ökning av ljudtrycksnivåerna med 8-10 dB upplevs som en fördubbling av ljudstyrkan (Delegationen för Hållbara Städer, 2011). Det innebär att 55 dB upplevs som dubbelt så starkt som 45 dB. Därmed kan ändringar på ett fåtal decibel få stora effekter på hur örat och människor upplever ljudmiljön (ibid).

4.4.3 Absorption

Ljud försvinner genom att dess energi övergår till en annan form av energi (Scholz & Winroth, 2008). När ljud absorberas av ett medium så omvandlas den mekaniska energin, rörelseenergi, som sätter ljudet i rörelse till värmeenergi. Ljudvågorna skapar en friktion mellan luftmolekylerna och ytan på materialet vilket ger energiomvandlingen. Denna friktion leder till en värmeökning för materialet, men den är väldigt liten och kan inte leda till eventuell brandfara eller dylikt (ibid).

Hur snabbt ljudet försvinner beror på två saker: hur hög luftens hastighet är relativt till mediet samt hur mycket kontaktyta som ljudvågorna har med den fasta kroppen (Scholz & Winroth, 2008). Genom att ha en större kontaktyta så möjliggör det en större omvandling av rörelseenergin till värmeenergi. Därför är en perforerad bullerskärm mer effektiv än en slät, på grund av den större kontaktytan.

Luftens hastighet påverkar absorptionen genom att den ändrar friktionseffektiviteten, en högre ljudhastighet kräver mer friktion och därmed större kontaktytor för att omvandlas till värmeenergi (Scholz & Winroth, 2008).

5. Hälsoeffekter

God ljudmiljö bidrar till en ökad folkhälsa (Gidlöf-Gunnarsson, et al., 2008). Den fortsatta urbaniseringen och ytoptimeringen i tätorter gör att färre och färre människor får tillgång till goda ljudmiljöer.

Vid nybyggnation så bör inte följande värden överskridas (Naturvårdsverket, 2013):

- 30 dBA ekvivalentnivå inomhus
- 45 dBA maximalnivå inomhus nattetid
- 55 dBA ekvivalentnivå utomhus (vid fasad)
- 70 dBA maximalnivå vid uteplats i anslutning till bostad

Dock säger inte decibeltalet allt om hur människor upplever ljudmiljön. Även små bullerförändringar har stor påverkan på hur människor upplever störelsemomentet. Vid vägrafikljud och störning finns en tumregel som fastställer att störningsmomentet ökar med upp till 20 % för varje dB starkare buller (Vägverket, 2006). Tumregeln vill påvisa att upplevd ljudstyrka inte är korrelerat med upplevd störning. Om exempelvis bakgrundsbullret höjs från 55 dBA till 65 dBA så kan det störa ett samtals uppfattbarhet från 99 % till 90 %. Om däremot bullernivån höjs ytterligare från 65 dBA till 75 dBA så minskar samtals uppfattbarhet från 90 % till 10 %. Även om skillnaden i uppmätt decibelskillnad är densamma påverkas samtalet flera gånger mer i den andra ökningen (Vägverket, 2006). Denna tumregel få ses i sitt samband då den minsta uppfattbara ljudtrycksnivåändringen som människor kan uppfatta ligger på mellan 1-3 dB (Andersson, 1998).

Människor påverkas till hög grad av sin omgivning när de rör sig. Höga barriärer kan ge både en psykologisk och en fysisk effekt (Boverket, 1992). Det medför även att det tar längre tid att förflytta sig på grund av barriärers avgränsande egenskaper. Vidare visar Boverket (1992) att barriärer ger en emotionell påverkan som bör uppmärksammas redan i planeringen. Effekten som barriärer har som avskärmare hindrar människors möjlighet att umgås (ibid).

I Sverige är det beräknat att 1,6–2,4 miljoner av Sveriges befolkning exponeras för buller som överskrider riktvärdet på 55 dBA i ekvivalent ljudnivå vid bostaden (Delegationen för Hållbara Städer, 2011).

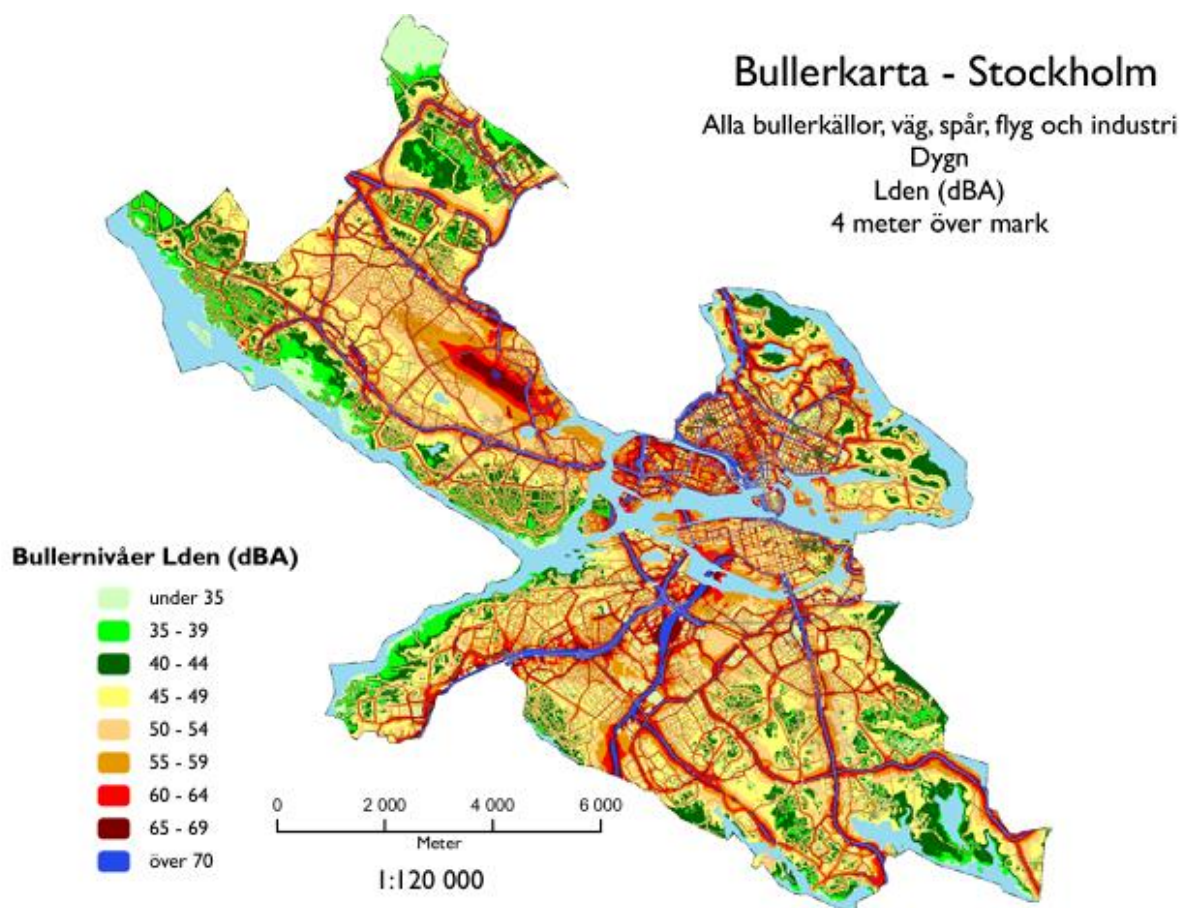
Det är beräknat att den sammanlagda kostnaden för samhället på grund av bullerstörningar från trafiken är mellan 5-10 miljarder kronor per år (Delegationen för Hållbara Städer, 2011). För personer som bott på samma plats i mer än 10 år har man även påvisat ett samband mellan graden av trafikbuller och en ökning av blodtrycket (Albin, et al., 2006).

Det är inte alltid som absolut tystnad är det bästa ur ljudmiljösynpunkt (Naturvårdsverket, 2007). Att höra hjärtat slå och övriga kroppsliga ljud kan verka skrämmande, däremot kan naturliga ljud såsom porlandet från en bäck, suset i löven påverka människor positivt (ibid).

5.1 Bullerkartläggning

I och med urbaniseringen antog EU år 2002 direktivet 2002/49/EG om bedömning och hantering av omgivningsbuller (Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd, 2002). I Europeiska Unionens gemenskapspolitik ingår det att uppnå höga hälso- och miljöskyddsnivåer, och ett av stegen i detta är att öka allmänhetens skydd mot buller.

Enligt fas två i EU-direktivet så ska alla kommuner med fler än 100 000 invånare genomföra en bullerkartläggning, se figur 6.



FIGUR 6 – EXEMPEL PÅ EN BULLERKARTLÄGGNING, I DETTA FALL STOCKHOLMS STAD (STOCKHOLMS STAD, 2013).

Genom att genomföra en bullerkartläggning vill man förhindra, förebygga och minska skadliga effekter av buller (Torsmark, 2012). EU-direktivet resulterade i att Sverige antog en förordning (2004:675) om omgivningsbuller som ska ge en miljö kvalitetsnorm enligt miljöbalken. Förordningens inledande bestämmelser lyder (Rättsnätet, 2013):

Genom kartläggning av omgivningsbuller samt upprättande och fastställande av åtgärdsprogram ska det eftersträvas att omgivningsbuller inte medför skadliga effekter på människors hälsa.

Bullerkartläggningens mål är att påvisa befintlig bullersituation i kommuner och städer, relevanta gränsvärden samt antal berörda personer i ett visst område. Denna information ska sedan spridas till allmänheten tillsammans med handlingsplaner för områden som överskrider gränsvärdena (Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd, 2002).

Bullerkartor kan vid framtida trafikförändringar användas som bedömningsverktyg samt ge vägledning för hur detaljplaneringen av bebyggelse ska utformas (Björn, 2012). Detta kan leda till en bättre byggnadsutformning med bullerproblematiken i fokus och därmed minimera problem längre fram i byggnadsprocessen.

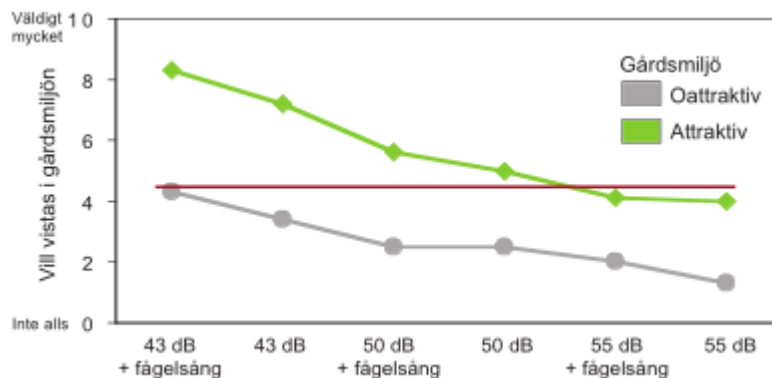
5.2 Buller och hälsa

En annan åtgärd som används för att arbeta med bullerproblematiken är att minska trafiken i bullerutsatta områden. Det medför även den positiva hälsoeffekt som mindre trafik innebär samt att det blir mindre luftföroreningar i området. Uppskattningsvis dör cirka två miljoner människor världen över i förtid som ett resultat av luftföroreningar (Delegationen för Hållbara Städer, 2011).

Grönområden har en direkt effekt på hälsan. De stimulerar till fysisk aktivitet och leder till ökad koncentrationsförmåga och minskad stress (Delegationen för Hållbara Städer, 2011). Genom att arbeta med gröna lösningar för bullerproblem får man även effekter som har flera olika gynnsamma inverkningar på människors hälsa och livskvalité. Det finns även en positiv korrelation mellan människors tillgänglighet till grönområden i sin närhet och deras egen syn på sin hälsa (de Vries, et al., 2003). Studien från De Vries et al. (2003) visar vidare att det finns en starkare korrelation mellan dessa hälsoeffekter och hur mycket tid människorna spenderade i närområdet. Barn och pensionärer hade högre korrelation än andra grupper i studien, något som stärker hypotesen då dessa grupper spenderar mer tid i området.

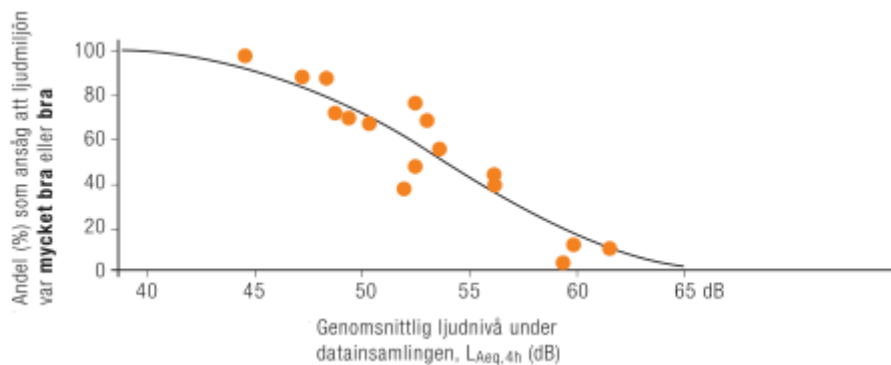
5.3 Buller och trivsel

Korrelationen mellan den visuella upplevelsen och hur gärna man spenderar tid på området är stark (Gidlöf-Gunnarsson, et al., 2006). I en studie där man använde sig av samma ljudnivåer men ändrade den visuella utformningen på området visade det sig att människor är långt mer villiga att spendera tid i en attraktiv gårdsmiljö än en oattraktiv, fastän ljudmiljön är densamma, se figur 7. Denna korrelation stämde även överens på olika ljud och ljudnivåer (ibid).



FIGUR 7 – SAMBAND MELLAN UTFORMNINGEN AV UTEMILJÖN OCH HUR GÄRNA MÄNNISKOR VISTAS I MILJÖN (GIDLÖF-GUNNARSSON, ET AL., 2006)

Exemplet ovan visar att det inte endast är decibelnivån som styr om en miljö är attraktiv eller inte, det finns också en korrelation mellan genomsnittlig ljudnivå och hur bra ljudmiljön anses vara på en plats, se figur 8 (Nilsson & Lindqvist, 2008).



FIGUR 8 – KORRELATION MELLAN GENOMSNIITTLIG LJUDNIVÅ OCH ANDEL INTERVJUADE PERSONER SOM ANSÅG ATT LJUDMILJÖN VAR BRA ELLER MYCKET BRA (NILSSON & LINDQVIST, 2008).

Sveriges Lantbruksuniversitet utförde år 2000 en undersökning om rekreationsvanor på uppdrag från Boverket (Grahn, 2010). Studien baserades på ett frågeformulär från Statistiska Centralbyrån och omfattade 2000 frågeformulär till slumpvis utvalda personer över 18 år, varav 1325 (67 %) svarade. Studiens resultat visade att 47 % av de som ofta störs av buller vid sin bostad också har en minskad trivsel i hemmet, i jämförelse med de som inte störs av buller. Vidare visade studien att det finns en korrelation mellan hur ofta man störs av buller och hur ofta de tillfrågade kände rädsla för våld och skador samt ökad otrygghet i sitt närområde.

5.4 Naturljud

Naturljud och ljud från människor upplevs oftast mer behagliga än trafikljud eller andra tekniska ljud (Gidlöf-Gunnarsson, et al., 2008). I utomhusmiljöer är det önskvärt med naturljud såsom fågelsång eller hur vinden får trädkronor att svaja, vilket stärker betydelsen av väl utformade och funktionella utemiljöer i ett allt mer urbaniserat landskap.

Naturliga ljudkällor som vatten och fågelkvitter blir allt mer ovanliga i urbana miljöer och maskinella ljud tar över mer och mer (Schafer, 1994). Fågelkvitter som ljudkälla är väl förankrat i det mänskliga psyket och upplevs som angenämt, och vid tester i flertal länder hamnar fågelkvitter högst upp i rankingen av trivsamma ljud (ibid).

En studie av Yang & Kang (2005) i Sheffield visade att naturljud var att föredra framför andra urbana ljud, samt att platsens ljudlandskap är korrelerat med hur gärna människor vill använda platsen.

Genom urbaniseringen blir havets påverkan på människor allt mindre (Schafer, 1994). Flygresor har tagit över från båttrafik och vatten ses mer som en avskiljare mellan stads- och landsdelar. Schafer (1994) argumenterar för att vatten som ljudelement ger ro och rytm till rofylldhet och att det på grund av urbaniseringen blir en allt mindre del i människors vardag.

Bullerutsatta områden fungerar inte längre som rekreativa miljöer där människor kan återhämta sig. Bullerstörda människor önskar framförallt att uppleva miljöer med rofyllda, lugnande ljud såsom vindens sus, porlande bäckar och fågelkvitter (Grahn, 2010).

I en studie av De Coensel, et al. (2011) fann man en korrelation mellan de naturliga ljudkällorna fontäner och fågelkvitter och deras påverkan på ljudlandskapet. De naturliga ljudkällorna medför en upplevd minskning av bullernivån (De Coensel, et al., 2011). Studien visar även att de naturliga ljudkällorna, förutom att ge en upplevd minskning av bullernivån, även ökade den generella trivselnivån och händelserikedomen. Vidare visar Grahn & Stigsdotter (2003) att även om en bullerfri park inte är ljudfri, på grund av fågelkvitter, porlande vatten och vindens rörelse, så har dessa ljudkällor likt lugnande musik en positiv påverkan på människors välbefinnande.

Genom att använda sig av artificiellt projekterat ljud i en urban miljö kan man få en kvalitetsförbättring av ljudmiljön, trots att inte ljudbilden blir lägre. Detta på grund av maskeringen som de naturliga ljuden bidrar med (Tyréns, 2013).

6. Verktøy for å forbettra ljudmiljøen

Vegetative områden og objekt er uppskattade både i urban- og landsbygdsområden (HOSANNA, 2013). Buller er ofta ett komplext problem og kråver därmed också ett samspel av olika faktorer og åtgärder för att nå ett lyckat resultat.

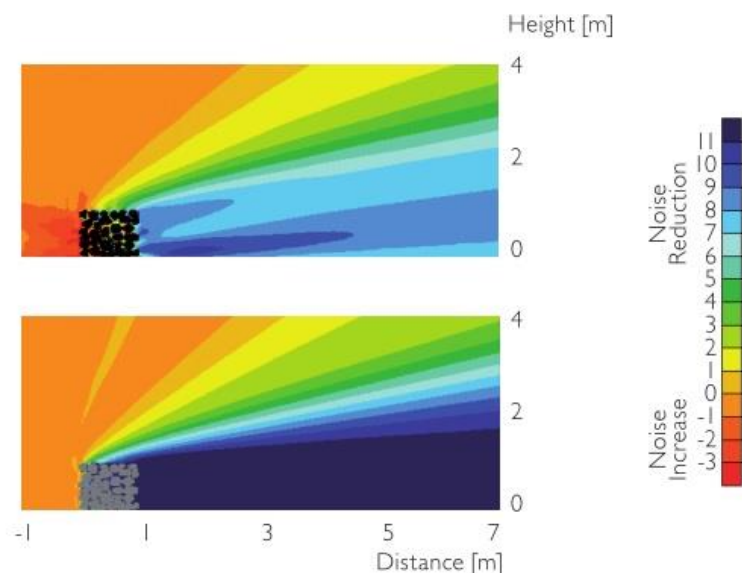
Verktøyen grundar sig i konseptuelle modeller vars syfte er att integreras i stadsmiljøer där de ska hantera bullerproblematik samtidigt som de oppnår god arkitektur i en levande stadsmiljø (HOSANNA, 2013; Tyréns, 2013).

6.1 Bullerskärmar

Ett verktøy att använda för att minska markbuller er att blockera ljudet med en barriär eller annat element. Detta tillvägagångssätt används ofta vid motor- og jernvågar för att skydda bullerutsatta invånare, men fungerer mindre väl i högexploaterade områden på grund av utrymmesbegrænsninger, trafiksåkerhets- eller estetiske skål (HOSANNA, 2013). Dårfor bør man istället använda sig av lågre og mindre invasive element som inte er mer än en meter høge (ibid).

I dagslåget används mestadels traditionelle bullerskärmar som oftast er tillverkede i hårde, icke absorberende material. Dessa skärmar reflekterer ljudvågor istället for å absorbere dem, vilket ger förhöjda ljudnivåer (Tyréns, 2013). Dessutom er det viktig ått skærmen er tillrækkligt høg og står tillrækkligt nærå kållen for ått ge stor skuggzon. Öppningar i skærmen får heller inte förekomma (Gidlöf-Gunnarsson, et al., 2008).

Vid användning av bullerskärmar oppbyggde av substrat og plantor, eksempelvis mindre vertikale trådgårder, er det materialets oppbyggnad som er det viktigaste for hur bra enheten er i akustisk syfte, se figur 9 (HOSANNA, 2013). Ökad bredd på en akustisk mjuk skærmer også en væsentlig parameter for dess luddåmpende fOrmåge.



FIGUR 9 - SKILLNAD I BULLERREDUCERING MELLAN EN BARRIÅR OPPBYGGD AV STENAR I STORLEKEN 15-20CM (ÖVERST) SAMT EN BARRIÅR OPPBYGGD AV PORÖS LERA (NEDERST) (HOSANNA, 2013).

Lågdensitetsjord med hög grad öppna porer där ljudet kan tränga in i har god ljudabsorberande förmåga (HOSANNA, 2013). Vidare fastställer HOSANNA (2013) att växtvalet på barriären kan ge goda ljudreducerande åtgärder, men detta är artspecifikt med avseende på lövform, lövverk och lövdensiteten per kvadratmeter.

Idén bakom en absorberande bullerskärm är dels att minska direktljudets påverkan och samtidigt minska reflektionerna (Tyréns, 2013). Ett utanpåliggande ljudabsorberande lager tillsammans med en hård kärna ger bra möjligheter för detta.

En bullerskärm är att föredra jämfört med en bullervall med samma topphöjd, om skärmen hade placerats vid foten på vallen närmast mottagaren. Däremot är inte bullerskärmar att föredra i vindutsatta lägen, där dess ljuddämpande åtgärder kan bli väldigt minimala på grund av vindens påverkan på ljudvågorna (Van Renterghem & Botteldooren, 2012).

Låga ljudreducerande barriärer, som underskrider 1x1m, är avsedda för användning i urbana miljöer med utrymmesbegränsningar, exempelvis vid vägar och spårvagnar. Det är viktigt att minska avståndet mellan barriär och ljudkälla. Vid en väg kan en barriär på 1 meter hög och 40 cm bred uppbyggd av naturliga fiber- och mineralmaterial med en solid kärna potentiellt minska bullerpåverkan med 9 dBA på 2-50 meter bakom barriären, jämfört med en likadan vägg utan barriär (HOSANNA, 2013).

6.2 Träd och buskar

I urbana miljöer är ytoptimering väldigt viktigt, men samtidigt kan träd- och buskelement fungera som bullerreducerande medel (HOSANNA, 2013). Växtlighets påverkan på ljudreduktion är dock ett komplext område, och kan både förbättra och försämra en plats ljudmiljö (Forssén, 2014).

Ljud och växtlighet interagerar genom reflektion, diffraktion, spridning och absorption av växtelementen (Forssén, 2014). Det är även signifikant hur jordens fraktions- och porstorlek är uppbyggd, exempelvis genom ett humuslager. I vegetation sker multipelspridning av ljudvågor. Ljudvågorna träffar ett växtelement och byter riktning, genom detta övergår en mängd av energin från ljudvågen till växtelementet, vilket minskar ljudenergin. Mängden ljudreduktion av växtmaterial ökar med avseende på lövens densitet, storlek och vikt. Även hur löven är ställda med avseende på ljudkällan spelar roll (HOSANNA, 2013).

Träd i gaturum fungerar tillsammans med huskropparna genom multipelspridning (HOSANNA, 2013). Spridningen kan också leda till att ljudvågor sprids uppåt, från marken och människor, vilket bidrar till ljudreduktionen. Trädens skärmtak kan även medföra en försämrad ljudbild då ett tätt skärmtak reflekterar tillbaka ljudvågor ner till mottagaren. Träd i gaturum kan ge en uppmätt minskning av bullernivåerna på ungefär 2 dBA (ibid).

En studie av Anderson et al. (1984) har visat att människor rapporterar en upplevd ljudminskning av smala planteringar. Grönområden som i sig är för smala för att ha någon verklig påverkan på ljudmiljön i området kan ändå påverka den upplevda ljudmiljön (Anderson, et al., 1984). Detta visar att träd och buskar har psykologiska effekter på ljudmiljöer som överskrider den rent bullerreducerande åtgärden dessa element har.

Vegetationen påverkar det lokala väderförhållandet på mikronivå, vilket i sin tur ändrar hur ljud färdas. Specifikt kan det ändra temperaturprofiler, relativ humiditet samt vindhastigheter (HOSANNA, 2013). Vind påverkar negativt den ljudreducerande förmågan hos träd- samt barriärer, men om de används tillsammans kan detta motverkas. Trädkronor ger vindsydd, vilket vid placering

bakom en bullerskärm kan minska vindens påverkan på ljudreduceringen. Trädens krona bör vara av hög densitet, vilket gör att barrträd är att föredra (ibid).

Buskar och häckar påverkar inte ljud nämnvärt om de inte har en hög biomassdensitet (HOSANNA, 2013). Ett fåtal decibels förbättring kan maximalt förväntas under normala förhållande. Däremot kan en väl uppbyggd jord, med hög porositet och rätt kornstorlek, tillsammans med buskar och häckar ge en bättre ljudreducering (ibid). HOSANNA (2013) beskriver även att det är betydelsefullt att växtmaterialet täcker ända ner till markytan för att förhindra att ljudvågorna transporteras under materialet.

6.3 Mark- och ytbearbetningar

Mark- och ytbearbetningar reducerar bullernivåer genom att utnyttja ljudets egenskaper av destruktiva och konstruktiva reflektioner (HOSANNA, 2013). Bearbetningar som kan bidra till detta är exempelvis artificiell ytråhet som spår eller gropar, att gräva ner resonanskaviteter i jorden eller i vägytan, att göra mjuka områden, exempelvis grusdiken, eller byta valet av ytbearbetning (ibid).

Över akustisk icke optimal ytbearbetning, exempelvis betong eller vanlig asfalt, sker inga destruktiva störningar på ljudvågor som påverkar människans ljudmiljö. Den hårda ytan kan istället försämra ljudmiljön genom reflektioner och därmed öka ljudnivån för mottagaren. Däremot kan mjuka ytbearbetningar, exempelvis gräs, ha en dämpande effekt på bullernivån (HOSANNA, 2013).

Genom att ändra markens utformning och reflekterande egenskaper, exempelvis genom att bygga in små rader av tegel, ökar den mängd ljudfrekvenser som kan påverkas av destruktiv interferens. Hur mycket denna markbearbetning påverkar ljudbilden är beroende på höjd, avstånd mellan raderna, sammansättning samt den totala bredden på området. Exempelvis kan en 2 m bred och 0,3 m hög installation minska bullernivån med minst 3 dB (ibid).

På områden där man är i behov av beläggningar som asfalt är slät asfalt ett alternativ (Tyréns, 2013). Denna tätsläta beläggning är uppbyggd av en mindre kornstorlek som därmed blir effektiv mot däckbuller. Lösningen ger bäst förbättring av ljudmiljön på gator med högre hastigheter, men en förbättring på några decibel är ändå att förväntas i stadstrafik. En nackdel är dock att den släta asfalten lätt slits av dubbdäck och då går den bullerdämpande effekten förlorad (ibid).

Porösa ytmaterial är bättre än täta markbearbetningar på att dämpa ljud genom att ljudvågorna interagerar med materialet under en längre tid (Aylor, 1972). Denna ljuddämpningseffekt minskar om porerna är fyllda med vatten, då interaktionen med materialet blir mindre (ibid). Porösa beläggningar fungerar genom att ytan absorberar en del av ljudet. En enlayers porös asfaltbeläggning som har en porositet på mer än 20 % kan reducera bullret med 4-6 dBA jämfört med standardbeläggning ABS 16 (Sveriges Kommuner och Landsting, 2010). En tvålayerslösning med ett undre lager av grov porös asfalt med stenstorlek på 16-22 mm samt ett finare slitlager med maximal stenstorlek på 8-11 mm kan dämpa buller med upp till 7-9 dBA. En stor nackdel med porös asfalt är att det finns risk att håligheter täpps igen och därmed förlorar ytan sina bullerreducerande kvalitéer. En kontinuerlig rengöring är därför erforderligt (ibid).

Att gräva ner håligheter, så kallade resonanskaviteter, under annan markbearbetning, exempelvis porös asfalt, ger också en förbättrad ljudmiljö, se figur 10. Denna utformnings förbättring beror på exakta dimensioner på håligheter och ytskiktet, man kan förvänta sig en förbättring på ungefär 3 dBA jämfört med en yta med endast porös asfalt (HOSANNA, 2013).



FIGUR 10 – PORÖS ASFALT OVANPÅ EN RESONANSKAVITET (HOSANNA, 2013).

Ofta används vallar som bulleråtgärd på områden där ytoptimering inte är den begränsande faktorn. En normalbyggd vall med dimensionerna 15 m bred, 4 m hög och 3 meter toppbredd i parallelltrapetsform, som ligger bredvid en motorväg kan minska ljudnivån med uppemot 18 dBA i 20 meter på andra sidan vällen (HOSANNA, 2013). Ljudbilden reduceras med ytterligare 7 dBA om små parallella spår läggs i toppen på vällen (0,2 m djupa, 1,25 cm breda och 2,5 cm c/c-avstånd). Den skillnaden är ekvivalent med en 1 m högre vall (ibid).

Genom att infoga grusrader eller andra sektioner i ytor som är uppbyggda av hårda material, exempelvis betong och asfalt, kan en ljudförbättring på 3-9 dBA uppnås (ibid). Det är ingen skillnad på ljudförbättringen på en stor homogen grusyta eller flera mindre rader, så länge totalytan är densamma. Däremot kan det vara fördelaktigt i urbana miljöer att använda sig av mindre rader då man kan ha cykel- och gångvägar mellan grusraderna.

Denna ändring av materialval mellan ljudkällan och mottagaren fungerar även med andra markbearbetningar, exempelvis gräs (HOSANNA, 2013). Jordens sammansättning samt vilken typ av gräs som används spelar dock roll i vilken ljudförbättring man får på platsen. En ängsliknande plantering med större porer i jorden kan ge uppemot 3 dBA högre ljudminskning jämfört med en kompakterad gräsyta på samma område (ibid).

6.4 Gröna väggar och tak

Väggar och tak kan i tätbebyggda urbana områden reflektera ljudvågor vilket leder till att platsen får en högre bullernivå än om den varit beklädda med växter (HOSANNA, 2013). Gröna väggar och tak förbättrar ljudmiljön i staden genom ljudabsorption, ljuddiffusion samt ljudtransmission. Ljuddiffusion innebär att ljudvågor penetrerar vegetationen och sedan reflekteras till baka, men med mindre energi än förut. Ljudtransmission är när en ljudvåg passerar igenom vegetationen (ibid).

Genom att beklä väggar och tak med jord eller annat poröst material uppnås en avsevärd minskning av bullerpåverkan på området, då det hindrar reflektionerna av ljudvågorna. (HOSANNA, 2013). Ljudabsorptionsförmågan på gröna väggar är beroende av bredden på gatan eller torget – desto smalare gata desto effektivare absorptionsförmåga. En utformning av den gröna fasaden är att använda sig av en fasadskärm. Skärmen är uppbyggd av växtkassetter som inte får sitta tätt på huset för att undvika fuktskador. I fasadskärmen planteras växtmaterial men det är skärmens utformning och porösa material som ger den dämpande funktionen, inte växterna (Tyréns, 2013).

Bostadsgårdar med klädda fasader får en minskad ljudnivå på gården, som därmed minskar effekten av buller som kan leda till sömnproblem hos människor. Beklädnad av växter eller annat akustiskt

absorberande material i bostadsgårdens entré till gatan leder också till en minskad bullernivå med 4 dBA jämfört med en obeklädd entré (HOSANNA, 2013). Däremot kan denna åtgärd vara svår att uppnå i och med ljusbegränsningen på platsen.

Gröna tak absorberar ljud från gator till bostadsgårdar, men denna ljudminskning är beroende av husens höjd, bredd och utformning. En utformning på 10 cm substratsdjup på ett tak kan ge ungefär 2 dBA ljudförbättring på plana tak samt upp till 8 dBA för lutande taknockar (HOSANNA, 2013). Vid en studie gjord av Van Renterghem & Botteldooren (2008) med simulerade ljudutbredningar över tak framkom det att extensiva gröna tak gav bäst bullerdämpande åtgärder om substratet hade en variabel tjocklek, men en tjocklek på 15-20 cm gav överlag bra resultat. En minskning med upp till 10 dB i jämförelse med akustiskt styva tak kunde därmed uppnås (ibid).

7. Att projektera för ljud – Explorativa studier

De explorativa studierna är tänkta att ge exempel på avstamp i projekteringskedet och att visa typexempel på lösningar i urbana miljöer. Utformningarna är skapade för att visa lättillgänglig och god akustisk design med avseende på bullerproblematik, läge och platsbrist.

7.1 Rörsjöparken, Malmö

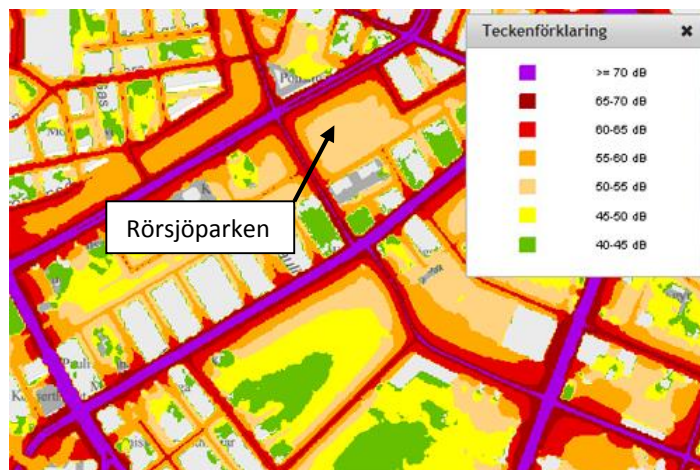
7.1.1 Befintlig utformning

Rörsjöparken ligger i de centrala delarna av Malmö och stod färdig år 1903 men fick redan år 1895 sitt namn Rörsjöparken (Malmö Stad, 2014), se figur 11.



FIGUR 11 - BEFINTLIG UTFORMNING AV RÖRSJÖPARKEN. BILDKÄLLA ÖVERSIKTSFOTO UPPE TILL HÖGER (GOOGLE, 2014).

Drottninggatan som leder längs parkens västra sida är en centralt vältrafikerad väg med både lokal- och persontrafik. Den höga trafikintensiteten samt platsens minimala bullerreducerande åtgärder resulterar i att parken som rekreationsområde inte uppfyller sitt syfte så väl som den hade kunnat göra, se figur 12.



FIGUR 12 - BULLERKARTA ÖVER MALMÖ STAD MED RÖRSJÖPARKEN ANGIVEN (MALMÖ STAD, 2012).

7.1.2 Förslagna åtgärder

Då området är centralt placerat och samtidigt ett rekreationsområde är förutom buller även trivsel och trygghet viktiga sakfrågor att ha i åtanke. För att ge platsen en god ljudmiljö samt behålla trygghetsaspekten väljs därmed åtgärder som bibehåller de visuella aspekterna på platsen, se figur 13.



FIGUR 13 – SCHEMATISK VISUALISERING AV FÖRSLAGNA ÅTGÄRDER TILL RÖRSJÖPARKEN.

7.1.2.1 Låg ljudreducerande barriär

En barriär med måtten 1x0,5 m placeras mellan väggkroppen och trottoaren. Barriären är uppbyggd av naturliga fiber- och mineralmaterial och har en solid kärna. Barriären kan ge en bullerpåverkan på upp till 9 dBA på 2-50 m bakom barriären (HOSANNA, 2013).

7.1.2.2 Bullerreducerande allé

En allé längs längs trottoaren. Trädskronorna bidrar med vindskydd vilket gör att bullret har svårare för att transporteras med vindhastigheten in i parken. Trädskronorna bör inte vara en alltför hög densitet, dels för att ge de vindskyddande effekterna men även minskar risken för att skärmtak bildas som därmed reflekterar ljudvågorna tillbaka till trottoaren (HOSANNA, 2013).

7.1.3 Reflektion

Åtgärderna är valda för att parkens befintliga utformning och upplevelse inte ska påverkas nämnbart. Träden minskar dels vindhastigheten och gör genom sin multipelspridning att en del av ljudvågorna sprids uppåt och därmed minskar ljudbilden för mottagaren. Denna minskning får dock främst ses som marginell, då man ska upp i ett bälte på 15 m bredd för att få en tydlig effekt av trädbälten (Forssén, 2014).

Barriären och alléns höjd och täthet är väsentlig för att inte hindra människors siktlinjer då detta kan leda till en känsla av instängdhet och otrygghet (Boverket, 1992).

Ett problem med studiens föreslagna utformning är ur skötselsynpunkt. Eftersom det är en central gata med hög belastning kommer det krävas vinterväghållning och den föreslagna låga ljudreducerande barriären gör att snöplogar inte längre kan ha en del av trottoaren som temporärt upplag. Jag tror dock detta går att lösa, exempelvis genom att istället använda vägremsans mitt som upplag, men det är en sak att ha i åtanke vid projektering av liknande platser.

En låg avskiljande barriär mellan vägtrafiken och fotgängare medför även att trottoaren inte känns lika utsatt. Ett vidare utvecklande av åtgärden kan till exempel innefatta att man gör om trottoaren till en gemensam gång- och cykelled, och genom den bullerreducerande åtgärden även understryker betydelsen av säkerheten för gång- och cykeltrafik.

7.2 Högevallsgatan, Lund

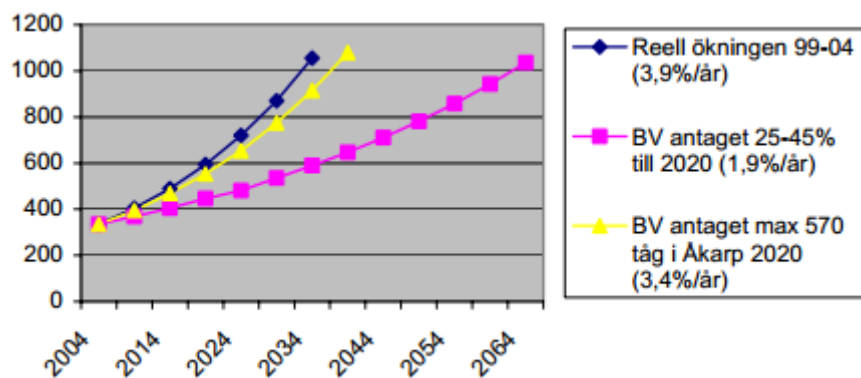
7.2.1 Befintlig utformning

Platsen ligger i centrala delarna i Lund och avgränsas av tågrälsen i väst och stadsparken i öst, se figur 14.



FIGUR 14 – BEFINTLIG UTFORMNING AV PLATSEN. BILDKÄLLA ÖVERSIKTSFOTO UPPE TILL HÖGER (GOOGLE, 2014).

I en forskningsstudie gjord 2004 åkte det dagligen 335 tåg på tågrälsen (Skärbäck, 2006). Denna siffra är troligtvis ännu högre idag då tågtrafiken enligt antaganden från Banverket (BV) förväntas öka markant till år 2064 på sträckan, se figur 15.

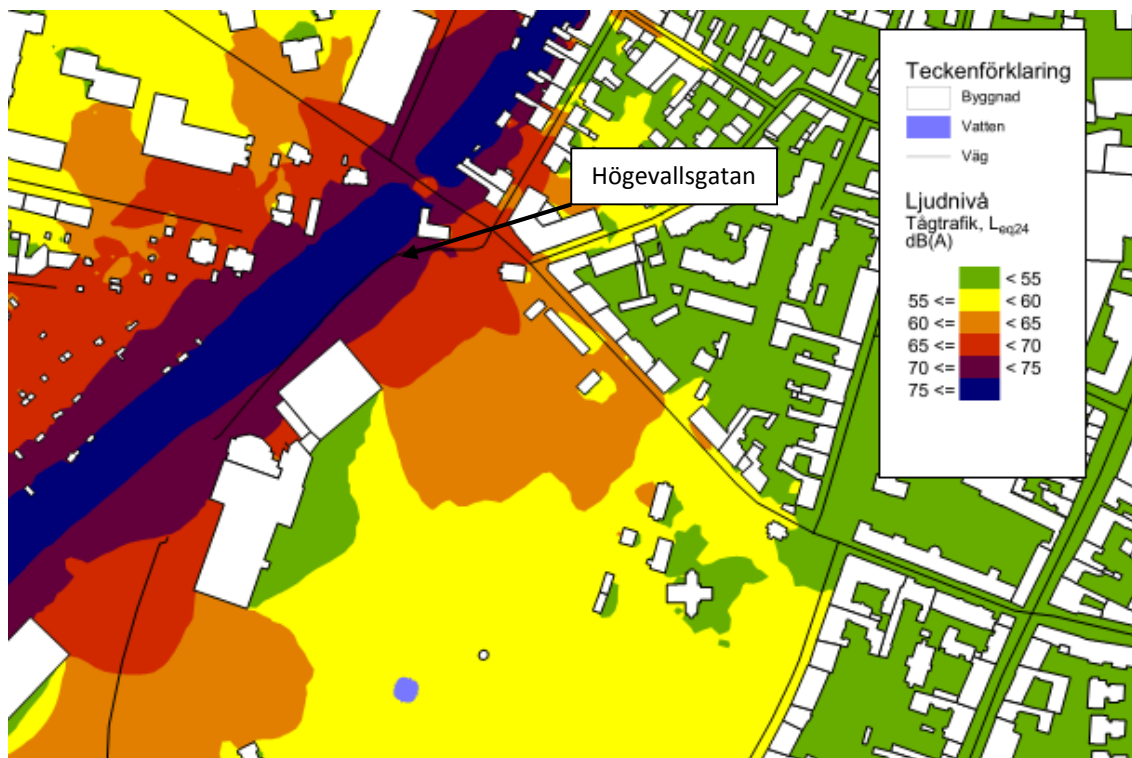


FIGUR 15 – TRAFIKÖKNING ANTAL TÅG/DYGN I ARLÖV OCH ÅKARP (SKÄRBÄCK, 2006).

Denna trafiktäthet innebär att närområdet utsätts för en timmes högbuller per dygn (Skärbäck, 2006). Med högbullertid syftas på den tid per dygn som ett tåg passerar i hög fart där bullernivån är mellan 90-100 dBA (ibid). Avståndet från tågrälsen där högbuller uppmäts är till en person på tågplattformen.

Den befintliga utformningen har inga specifika bullermedvetna materialval och avgränsningen mellan vägen och tågrälsen är i form av ett skyddsstängsel. Vidare har de använt standard fyllnadsmaterial till tågrälsarna, makadam 32-64 eller liknande, och ingen annan bullerdämpning finns. Troligtvis har den befintliga utformningen gjorts med tågtrafikens framfart som högsta prioritet, samt ett tillhörande skyddsstängsel för att hindra åtkomst till spåren.

Områdets centrala placering och läge intill det stora rekreationsområdet Stadsparken samt avsaknaden av ljudmiljöförbättrande åtgärder visar att behovet av åtgärder är stort, se figur 16.



FIGUR 16 – BULLERKARTA ÖVER LUND MED HÖGEVALLSGATAN ANGIVEN (LUNDS KOMMUN, 2011)

7.2.2 Förslagna åtgärder

Eftersom området är centralt placerat och utsatt för höga bullernivåer fokuseras de förslagna åtgärderna på bullerreducerande åtgärder, se figur 17. Åtgärderna är avsedda att både förbättra ljudnivån på Högevallsgatan och den intilliggande Stadsparken.



FIGUR 17 – SCHEMATISK VISUALISERING AV FÖRSLAGNA ÅTGÄRDER TILL HÖGEVALLSGATAN.

7.2.2.1 Bullerskärm

En hög bullerskärm, 2,5x0,5 m, uppbyggd av växtkassetter med lågdensitetjord och hög grad porer placeras där det nuvarande skyddsstängslet står. Skärmen kan bekläs med klättrväxter och kan därmed på sikt även minska graden av diffraktion över skärmen (Tyréns, 2013). Det är även betydelsefullt att skärmen är absorberande mot tågsidan så att multipla reflexer mellan tåg och skärm inte förstör insättningsdämningen på bullerskärmen (Forssén, 2014).

Höga skärmar kan fungera som visuella hinder samt få människor att känna sig instängda och avskärmande samt att de hindrar människors möjlighet att umgås (Boverket, 1992). Risken för dessa psykologiska effekter får på platsen ses som minimala med tanke på platsens läge och därmed väger de bullerdämpande åtgärderna avsevärt tyngre. En signifikant förbättring av ljudmiljön kan uppnås med en väl konstruerad skärm, i optimala fall upp emot 30 dB på skärmens läsida (Tyréns, 2013).

7.2.2.2 Spårbeläggning

Rälsområdet beläggs med lågdensitetjord samt en friväxande gräsyta (HOSANNA, 2013). Den akustiskt mjuka marken fungerar väl på området på grund av närheten till källan. En ljudförbättrande minskning upp emot 3 dB jämfört med hård beläggning är trolig att uppnå (Tyréns, 2013).

Rälsområdet har minimal risk för markkompaktering vilket understödjer att spårbeläggning är en bra ljudförbättrande åtgärd på platsen.

7.2.3 Reflektion

De föreslagna åtgärderna resulterar i en avsevärd förbättring av ljudmiljön på platsen. Åtgärderna leder även till en förbättrad ljudmiljö i den angränsande Stadsparken, något som varit prioriterat i problembeskrivningen. Som man ser på Bullerkartläggningen över Tågtrafiken i Lunds Kommun så kommer ljudnivån upp i mellan 65-70 dBA L_{eq24} i de norra delarna av Stadsparken, men hela parken har en relativt hög ljudnivå. Parken är ett välbesökt och centralt rekreativområde som lockar besökare från alla åldersgrupper vilket gör att åtgärderna borde ha hög prioritet.

De föreslagna åtgärderna kräver ett högre skötselbehov än de nuvarande. Bullerskärmens klättrväxter kan behöva etableringsskötsel samtidigt som viss skötsel av spårbeläggningen kan behövas, vilket är problematiskt eftersom tågtrafiken måste stängas av.

För att uppnå en bra akustisk design är det viktigt att bullerreducerande åtgärder sträcker sig längst hela objektet utan uppehåll, vilket fungerar bra på platsen. Tågresenärer får även en höjd visuell upplevelse med spårbeläggningen och bullerskärmens gröna väggar.

Ur projekterings- och anläggningssynpunkt är bullerskämsåtgärden avsevärt lättare än spårbeläggningen. För att ändra spårbeläggningen och anlägga lågdensitetsjord krävs att man stundtals stänger av tågtrafiken på sträckan. Då sträckan är väldigt högtrafikerad kan det få som effekt att insatser på spårbeläggningen troligtvis är lågprioriterade. Spårbeläggningens åtgärder bör istället göras i samband med andra åtgärder, för att minimera avbrott i trafiken.

Bullerskärmen är en enkel åtgärd som både ur projekterings- och anläggningssynpunkt är lätt att genomföra. Då den bullerreducerande förmågan är prioriterad i studien och inte den visuella upplevelsen kan en standarddimensionerad bullerskärm användas vilket håller nere konstruktionskostnaden.

7.3 Stortorget, Lund

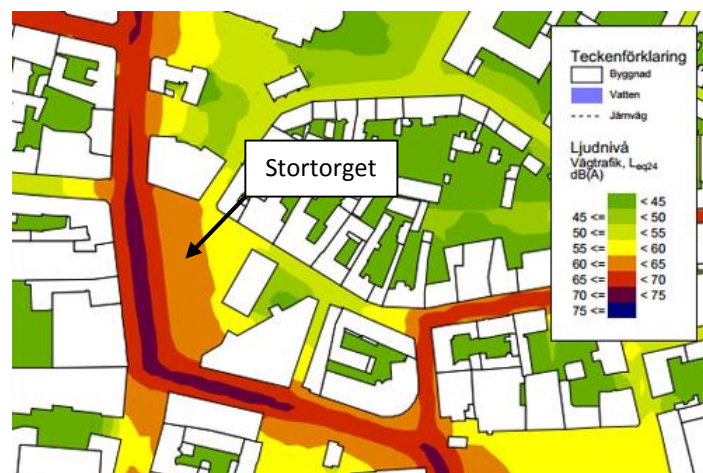
7.3.1 Befintlig utformning

Stortorget är ett välbesökt torg i Lunds stadskärna. Det har en triangulär form och avgränsas i väster av en buss- och nyttotrafikgata, se figur 18. Gatan och torget är belagd av främst smågatsten men även andra format på natursten förekommer.



FIGUR 18 - BEFINTLIG UTFORMNING AV STORTORGET. BILDKÄLLA ÖVERSIKTSFOTO UPPE TILL HÖGER (GOOGLE, 2014).

Som en av de få torgytorna i Lund är besöksstrycket stort på Stortorget och en populär plats med många sittplatser. Smågatstensbeläggningen på gatan ger trots den begränsade trafiken ändå upphov till relativt höga bullernivåer, se figur 19.



FIGUR 19 - BULLERKARTA ÖVER LUND MED STORTORGET ANGIVET (LUNDS KOMMUN, 2011).

7.3.2 Förslagna åtgärder

Torgetets popularitet gör att fokus ligger på att bevara platsens utformning och minska de avskärmande och visuella aspekterna på bulleråtgärderna, se figur 20. Utformning och läget i Lunds stadskärna gör att en icke skrymmande bulleråtgärd är att föredra.



FIGUR 20 – SCHEMATISK VISUALISERING AV FÖRESLAGEN ÅTGÄRD TILL STORTORGET.

7.3.2.1 Låga inbyggda vertikala bullerrader

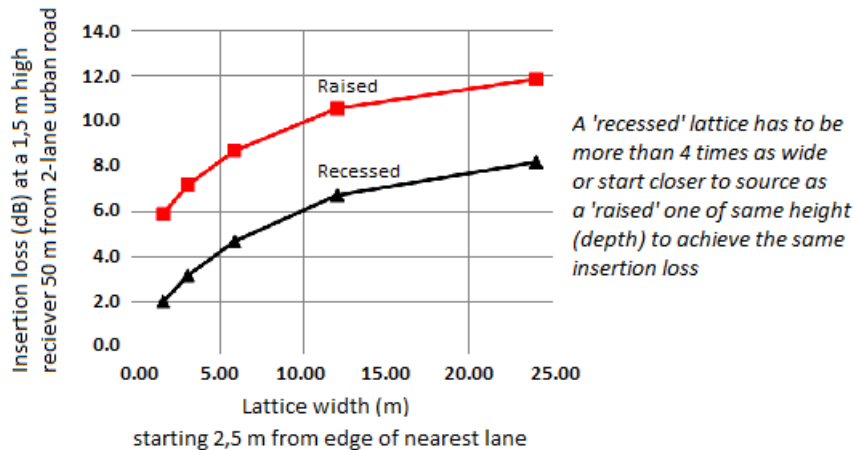
10 stycken låga inbyggda vertikala rader i granit med dimensionerna 0,3 m höga och 0,06 m breda byggs in med ett c/c-avstånd på 0,26 m (HOSANNA, 2013). De 9 hållrummen mellan raderna fylls med makadam 4/8.

7.3.3 Reflektion

Torg och andra välbesökta ytor är ofta problematiska ur bullersynpunkt då ytoptimering och framkomlighet har hög prioritet. De låga bullerraderna fungerar dock bra ur denna synvinkel då de inte påverkar rörelsemönstret något nämnvärt.

Bullerradens djup, bredd och avstånd till ljudkällorna är viktigt vilket gjorde att jag valde att ta bort trottoarkanten och utformade en gradvis uppförsbacke med bullerraderna. Det medför även att kanten mellan torget och gatan blir diffusare vilket kan leda till att fokus ännu mer skiftas till fotgängare och cyklisterna än bil- och kommunaltrafiken.

Att ha infällda bullerrader istället för upphöjda leder till en mindre påverkan på ljudmiljön, se figur 21.



FIGUR 21 – SKILLNADEN I LJUDMINSKNINGEN MELLAN EN UPPHÖJD (RAISED) OCH NEDSÄNKT (RECESSED) BULLERRAD (HOSANNA, 2013).

I figuren ovan beskrivs hur åtgärden kan leda till en bullerreducering på upp till 3 dB, att jämföra med en 7 dB minskning om bulleraden varit upphöjd.

Denna åtgärd, även om den inte påverkar rörelsemönstret och framkomligheten, ger en relativt liten reduktion av ljudmiljön. Det kan jämföras med en 1x0,4 m bullerskärm som om den placerats tätt intill väggkroppen hade kunnat ge upp till 9 dB i ljudminskning (HOSANNA, 2013). Problem kan även uppstå med att fyllnadsmaterialet i raderna (makadam) börjar leta sig ut på vägen och torget och att det därmed blir en högre skötsel av denna lösning.

Valet av bullerreducerande åtgärder på välbesökta platser med krav på bra ytoptimering är komplexa frågor och det handlar ofta om att man behöver väga för- och nackdelar mot varandra, men om man vill ha hög grad av framkomlighet och fri rörlighet får man leva med de högre ljudnivåerna.

Åtgärden påverkar torgets designuttryck med kullerstensstuket och smågatstensbeläggningen med utvecklad patina. En avvikelse från uttrycket behöver inte vara negativt men man bör ändå ha det i åtanke.

Jag tror att denna åtgärd har potential men vidare forskning behövs för att lösningen ska bli optimerad för offentliga platser. Till exempel kan man istället för fyllnadsmaterial använda sig av perforerade plåtar och har ljudabsorberande material mellan raderna, eller med någon annan lösning hålla fyllnadsmaterialet på plats.

8. Diskussion

Ljud påverkar oss ständigt och på många olika sätt beroende på var ljudet kommer ifrån och i vilken ljudnivå. Ljudbilden som omger oss har utvecklats från att vara mer naturliga ljud såsom fågelkvitter och havsbris till mekaniska ljud som motorbuller och jetplan. I städer och urbana miljöer blir ljudmiljön ännu mer komplex vilket gör att det sällan finns ett enkelt svar på ljudproblematiken.

Bullerkartläggningen (Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd, 2002) och andra nationella och internationella direktiv och riktlinjer (Rättsnätet, 2013) bidrar med en på sikt större insikt i bullernivåer i städer. Detta kan leda till att både politiker och allmänhet får upp ögonen för problematiken och det krävs mer fokus på åtgärder för att nå lösningar på bullerproblematiken.

Utgångspunkten när det gäller gestaltning och projektering börjar vid det synliga. De andra mänskliga sinnen kommer på efterkälken eller glöms helt och hållet. Resultatet blir därför ofta att ljudbilden inte ingår i det utvecklande eller förebyggande arbetet. Först när ljudet blir ett problem görs aktiva åtgärder.

Bullerskärmar och andra avskärmande lösningars effekt är starkt beroende av avståndet till ljudkällan samt uppbyggnaden av skärmen. Att ha skärmen så nära källan som möjligt samt i ett absorberande material gör att man kan arbeta med mycket lägre skärmar än om man använt sig av hårda, reflekterande material längre ifrån ljudkällan. Det betyder att bullerskärmar som lösning är mångfacetterad och kan användas på en mängd olika platser i urbana miljöer. Namnet bullerskärm motverkar dock vidare utveckling av denna metod. Den mentala bild som många får när de hör ordet bullerskärm är höga betongskärmar som omfamnar motorvägsinfarter till storstäder, även om låga ljudabsorberande lösningar med klätterväxter är per definition bullerskärmar.

Träd och buskar är en väldigt komplex åtgärd och dess påverkan på ljudmiljön är svår att förutspå då de både kan förbättra och försämma en plats ljudmiljö. Träd och buskars effekt är beroende på en mängd faktorer, däribland stamomfång, bladform och krondensitet. Däremot kan växtlighet fungera genom att mottagaren inte ser ljudkällan och därmed upplever att platsen har en bättre ljudmiljö än vad den faktiskt har.

Marken under växtlighet har med sin högre porositet, i jämförelse med hårdare beläggningar, stora möjligheter till bra ljudreducerande förmåga. Mikrouppbyggnad och sammansättning av markytor är också något som jag tror behöver större fokus vid arbete i urbana miljöer. Bullerreducerande lösningar som kommer i efterhand sker allt som oftast ovan jord, vilket gör att sammansättning och uppbyggnad av markytor är något som ska planeras in tidigt i processen, annars riskerar de lösningarna att utebli.

Att arbeta med olika sorters mark- och väggbearbetningar tror jag är åtgärder som har stor potential att utvecklas och användas mer frekvent i offentliga miljöer. Genom arbete med flertal olika materiallösningar tillsammans kan goda bullerreducerande åtgärder utvecklas, samtidigt som det höjer en plats visuella utformning trots att de inte påverkar rumsligheten eller tillgängligheten på något betydande sätt.

För att skapa en bra ljudmiljö är det viktigt att man utgår från den specifika platsens förutsättningar. Ofta är det inte en enda bullerreducerande åtgärd som krävs utan man behöver se över helheten och därmed få fram en långsiktig lösning. Exempelvis kan man placera en låg bullerskärm nära ljudkällan och även arbeta med gröna väggar och fasader för att minska multipelspridning av ljudvägor.

Det är även betydelsefullt att inte stirra sig blind på decibelnivåer vid arbete med en plats fullständiga ljudlandskap. Genom att arbeta med positiva aspekter av ljud såsom porlande fontäner, fågelkvitter och andra naturljud kan man förbättra en plats ljudlandskap trots att den totala decibelnivån inte blir lägre. Att fokusera på totalupplevelsen och inte enstaka aspekter är fundamentalt för att skapa en välfungerande slutprodukt.

De explorativa studierna användes för att återkoppla till litteraturstudien och exemplifiera hur man på många olika sätt kan arbeta med bullerreducerande åtgärder. Utformningar är exempel och idén är att man ska få upp ögonen för hur även mindre ändringar kan förbättra ljudmiljön på befintliga utformningar. Det är viktigt att se varje plats som unik och utgå från platsens specifika utformning och miljö för att därmed kunna arbeta fram en lösning. Vidare bör man vara medveten om att bullerkartorna som studierna till viss del grundar sig i är baserade på beräkningar där en mängd antaganden är gjorda, därför bör endast ses som en indikation för ljudmiljön på områdena.

De åtgärderna som finns för bullerproblematik utger ett brett utbud för hur bullerfrågan ska angripas. Problemet med många av insatserna är att de i dagsläget främst är teoretiska och ännu inte konstruerats vilket gör det svårt att veta hur de skulle fungerat i verkliga offentliga miljöer. Det leder till att det blir svårare att argumentera för en viss lösning till beställaren då det inte finns något reellt projekt att hänvisa till. De explorativa studierna åskådliggör att denna sorts problematik finns med en del av åtgärderna. En vidareutveckling, exempelvis av de låga inbyggda vertikala bullerraderna, krävs för att de ska fungera och tåla den högre grad av slitage som finns i offentliga miljöer. Vidareutveckling och finjustering ser jag som nästa viktiga steg i utvecklingen till att få vidare spridning och användning av nämnda åtgärder.

Vid implementering av ny teknik i befintliga eller nya projekt så finns risk att beställare inte vill satsa på pilotprojekt med tanke på den ekonomiska chanstagnning som det innebär om inte tekniken skulle fungera. En vidareutveckling och optimering är därför av högsta vikt för att inte avskräcka användning av idéerna. Åtgärdernas teoretiska grund är välförankrad i mät- och beräkningsdata på både teoretiska och riktiga modeller vilket innebär att deras påverkan är väl förankrad i verkligheten, men det som krävs nu är att denna kunskap kommer ut i yrkesverksamheten.

I yrkeslivet som landskapsingenjör kan man både arbeta på projekterings- och beställarsidan vilket gör att man kan arbeta från båda hållen i ljudfrågan. Jag tror att det som projektör är viktigt att arbeta in ljudförbättrande åtgärder i den visuella utformningen och inte överdrivet fokusera på en av frågorna. Genom att arbeta med ett samlat grepp om utformningens många olika fördelar tror att det är lättare att sälja in det till beställare. Framtida fokus och mål med arbetet kring ljudproblematiken i offentliga miljöer bör därmed främst vara fokuserad på hur man kan arbeta med forskningsresultat och få in dem i praktiska, faktiska projekterade ytor.

Bulleråtgärderna som föreslagits och analyserats i arbetat går ofta hand i hand med de andra huvudpunkterna som definierar en välutformad offentlig miljö. Genom att arbeta samtidigt med visuell, auditiv och subliminal perception kan man få fram välfungerande miljöer vars lösningar stärker varandra och tillsammans ger bra slutresultat.

9. Källförteckning

- Albin, M., Ardö, J. & Björn, J., 2006. *Trafikbuller och hälsa i Skåne*, Lund: Lunds Universitet.
- Anderson, L., Mulligan, B. & Goodman, L., 1984. Effects of Vegetation on Human Respons to Sound. *Journal of Arboriculture*, Utgåva 10, s. 45-49.
- Andersson, J., 1998. *Akustik & Buller*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.
- Arlinger, S., 1995. Det utsatta örat. i: H. Karlsson, red. *Svenska ljudlandskap - om hörseln, bullret och tystnaden*. Taberg: Bo Ejeby Förlag, sid. 21-31.
- Aylor, D., 1972. Noise Reduction by Vegetation and Ground. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Volym 51, sid. 197-205.
- Björn, C., 2012. *Översiktsplanering och buller*. Stockholm, Länsstyrelsen i Stockholms Län.
- Boverket, 1992. *Storstadsuppdraget - En förstudie om storstädernas miljö*. 1a uppl. Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2004. *Hållbara städer och tätorter i Sverige - Förslag till strategi*, Karlskrona: Boverket.
- Boverket, 2008. *Buller i planeringen - Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik*, Karlskrona: Boverket.
- Bryman, A., 2011. *Samhällsvetenskapliga metoder*. 2a uppl. Malmö: Liber.
- Commission to the Council and Parliament, 1990. *Green paper on the urban enviroment*, Brussels: Comission of the European Communities.
- De Coensel, B., Vanwetswinkel, S. & Botteldooren, D., 2011. Effects of natural sounds on the perception of road traffic noise. *Acoustical Society of America*, Volym 129, sid. 148-153.
- de Vries, S., Verheij, R., Groenewegen, P. & Spreeuwenberg, P., 2003. Natural enviroments - Healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning*, Utgåva 35, sid. 1717-1731.
- Delegationen för Hållbara Städer, 2011. *Hållbara städer - med fokus på transporter, boende och grönområden*, Stockholm: Riksdagstryckeriet.
- Delegationen för Hållbara Städer, 2012. *Femton hinder för hållbar stadsutveckling*, Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- Europaparlamentet och Europeiska Unionens Råd, 2002. Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/49/EG. *Europeiska gemenskapernas officiella tidning*, Utgåva 189, sid. 13-25.
- Forssén, J., 2014. *Docent, Teknisk Akustik, Bygg- och Miljöteknik - Chalmers Tekniska Högskola*. Intervju (12 Februari 2014).
- Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E., Berglund, B., Kropp, W., Kihlman, T., Nilsson, M., & Forssén, J., 2008. *Ljudlandskap för bättre hälsa*, Göteborg: Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs Universitet.
- Gidlöf-Gunnarsson, A., Öhrström, E. & Ögren, M., 2006. Goda gårdsmiljöer och uteplatser - samspel mellan ljudlandskap och utformning. *Ljudlandskap för bättre hälsa - Årsrapport 2006*, sid. 7-9.
- Grahn, P., 2010. Om stödande miljöer och rofyllda ljud. *Ljudmiljö, hälsa och stadsbyggnad*, Volym Rapport nr. 9, sid. 43-57.

- Grahn, P. & Stigsdotter, U. A., 2003. Landscape planning and stress. *Urban Forestry & Urban Greening*, Utgåva 2.
- Hellström, B., 2010. Akustisk design och hållbar stadsutveckling. *Ljudmiljö, hälsa och stadsbyggnad*, Volym rapport nr 9, sid. 25-36.
- HOSANNA, 2013. *Novel solutions for quieter and greener cities*, Bandhagen: European Union Seventh Framework Programme.
- Kleiner, M., 2000. *Audioteknik och akustik*. 7e uppl. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Kvale, S., 2009. *Den kvalitativa forskningsintervjun*. 2a uppl. Lund: Studentlitteratur.
- Lunds kommun, 2011. *Kartläggning*.
Hämtad från: <http://www.lund.se/Medborgare/Trafik--infrastruktur/Trafik-och-gator/Trafikbuller/Flikar---trafikbuller/Bullerkartlaggning/>
Tillgänglig: 2014-02-27.
- Malmö Stad, 2012. *Bullerkarta*.
Hämtad från: <http://www.malmo.se/Medborgare/Miljo--hallbarhet/Bostad--narmiljo/Buller/Bullerkarta.html>
Tillgänglig: 2014-03-03.
- Malmö Stad, 2014. *Rörsjöparken*.
Hämtad från: http://webapps2.malmo.se/evenemang/EventGuide/View/Arena/Rorsjoparken_48955
Tillgänglig: 2014-03-03.
- Naturvårdsverket, 2007. *God ljudmiljö - Mer än bara frihet från buller*, Stockholm: Naturvårdsverket.
- Naturvårdsverket, 2013. *Naturvårdsverket*.
Hämtad från: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning-amnesvis/Buller/Buller-fran-vagar-och-jarnvagar/>
Tillgänglig: 2014-02-15.
- Nilsson, E. o.a., 2005. *Grundläggande Akustik*. 3e uppl. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Nilsson, M. E. & Lindqvist, M., 2008. *Upplevd ljudkvalitet i parker i grönområden i Stockholm*, Stockholm: Stockholm stad.
- Rättsnätet, 2013. *Notisum*.
Hämtad från: <http://www.notisum.se/rnp/sls/lag/20040675.HTM>
Tillgänglig: 2014-03-08.
- Schafer, R. M., 1994. *The Soundscape - Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. Rochester: Destiny Books.
- Scholz, M. & Winroth, J., 2008. *Ljudlandskap för bättre hälsa*.
Hämtad från: http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=nyfikna&kapitel=kapitel_3
Tillgänglig: 2014-02-22.
- Skärbäck, E., 2006. Svagheter i den nuvarande bullerhanteringen, forskningsbehov. *Lyssnande Lund - Buller och Hälsa*, Utgåva 1, sid. 3-16.
- Stockholms stad, 2013. *Bullerkartor*.
Hämtad från: <http://www.stockholm.se/TrafikStadsplanering/Trafik-och-resor-/Trafik-och-miljo/Trafikbuller/Bullerkartor/>
Tillgänglig: 2014-03-03.

Sveriges Kommuner och Landsting, 2010. *Tysta gatan - Om bullerdämpande beläggningar*, Stockholm: Sveriges kommuner och Landsting.

Torsmark, U., 2012. *Sveriges Kommuner och Landsting*.

Hämtad från:

http://www.skl.se/vi_arbetar_med/tillvaxt_och_samhallsbyggnad/miljo/konferenser_1/flygbuller-och-kommunernas-roll

Tillgänglig: 2014-03-08.

Tyréns, 2013. *Stadens ljud - Akustisk design & Hållbar stadsutveckling*, Stockholm: Exploateringskontoret, Stockholm Stad.

Van Renterghem, T. & Botteldooren, D., 2008. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration*, Utgåva 317, sid. 781-799.

Van Renterghem, T. & Botteldooren, D., 2012. On the choice between walls and berms for road traffic noise shielding including wind effects. *Landscape and Urban Planning*, Utgåva 105, sid. 199-210.

Vägverket, 2006. *Ny tumregel om trafikljud och störning*, Borlänge: Vägverket.

Yang, W. & Kang, J., 2005. Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares. *Journal of Urban Design*, Utgåva 10, sid. 61-80.