



# Bullerreducerande strategier

Socialt hållbar gestaltning i urban miljö

---

Henrik Ahlström & Marcus Åkesson

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap  
Landskapsarkitektprogrammet - Uppsala  
Uppsala 2024



# Bullerreducerande strategier. Socialt hållbar gestaltning i urban miljö

*Noise reduction strategies. Socially sustainable design in the urban environment*

Henrik Ahlström, Marcus Åkesson

**Handledare:** Malin Eriksson, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land  
**Examinator:** Daniel Valentini, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land  
**Bitr. examinator:** Helena Nordh, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för stad och land

**Omfattning:** 15 hp  
**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E  
**Kurstitel:** Självständigt arbete i landskapsarkitektur  
**Kurskod:** EX0861  
**Program/utbildning:** Landskapsarkitektprogrammet - Uppsala  
**Kursansvarig inst.:** Institutionen för stad och land  
**Utgivningsort:** Uppsala  
**Utgivningsår:** 2024  
**Omslagsbild:** Henrik Ahlström  
**Upphovsrätt:** Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.  
**Elektronisk publicering:** <https://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** Bullerreducering, immissionsbegränsade bulleråtgärder, socialt hållbar stadsplanering, urban stadsplanering, holistisk stadsplanering, landskapsarkitektur, trafikbuller.

## **Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap

Institutionen för stad och land

Avdelningen för landskapsarkitektur

## Förord

Denna uppsats är ett kandidatarbete gjort av två landskapsarkitektstudenter i årskurs 3 vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Ultuna i Uppsala. Vi vill tacka vår handledare Malin Eriksson samt landskapsarkitektstudenterna Sandra Bellander, Anna-Carin Bleeker, Marie Crona, Nathalie Haars, Malin Nyman och Hilda Persson, som bidragit med råd och struktur gällande vårt arbete. Vi vill även tacka examinator Daniel Valentini samt landskapsarkitektstudenten Emma Haglund som opponerat på vårt arbete, som därmed givit oss feedback kring otydligheter och förbättringspotential.

Student Ahlström och Åkesson har tillsammans planerat och genomfört studien. Båda har deltagit vid datainsamling och skrivandet av rapporten. Student Ahlström har skrivit utkast till sammanfattning/abstract, och avsnitt till avgränsningar samt kapitel 1, 3 och 6 exklusive vegetation. Student Ahlström har även reviderat förord och bildtexter samt kapitel 4, 5 och 6's del kring vegetation. Student Åkesson har skrivit utkast till förord och bildtexter samt kapitel 4, 5 och 6's del kring vegetation. Student Åkesson har även reviderat sammanfattning/abstract, avgränsningar samt kapitel 1,3 och 6 exklusive vegetation. Båda studenterna har deltagit vid skrivande av kapitel 2 och 7 samt aktivt diskuterat kring struktur av hela rapporten gällande vad som bör presenteras. Ahlström och Åkesson har tillsammans reviderat hela rapporten, dels för att åtgärda eventuella stav- och syftningsfel, dels för att bibehålla en god sammanhängande struktur i form av en röd tråd. Student Ahlström har gjort samtliga illustrationer i Illustrator.

## Sammanfattning

Denna kandidatuppsats utforskar immissionsbaserade strategier för reducering av trafikbuller i urbana miljöer som omfattar bullerskärmar, markbehandling, refraktiva ljudkristaller, jordvallar och vegetation. Strategierna undersöks dels utifrån deras bullerdämpande effektivitet, men också utifrån Jan Gehls principer för socialt hållbar stadsplanering. Den bedömer de fysiska egenskaperna och placeringen av vegetation, barriärer och andra material för att minska trafikbuller samtidigt som den beaktar stadsrummet som en plats för människor och sociala interaktioner. Resultaten visar att en kombination av olika vegetationstyper och innovativa strukturella lösningar kan minska städers bullernivåer avsevärt. Dock erkänner uppsatsen strukturella utmaningarna med att implementera dessa lösningar i tätbebyggda stadsmiljöer. Faktorer såsom rumsbildning, tillgänglighet, siktlinjer, estetik, luft- och ljusinsläpp, vindklimat, säkerhet, grönska och årstidsvariationer bedöms som viktiga element att beakta vid etablering av dessa bullerdämpande gestaltungsstrategier. Baserat på dessa överväganden föreslås olika strategiska anpassningar för de nämnda bulleråtgärderna med målet att uppnå en balans mellan minskad trafikbuller och människocentrerad gestaltning i stadsmiljö. Uppsatsen föreslår ett holistiskt tillvägagångssätt till stadsdesign som inte bara adresserar bullerreducering utan också förbättrar social välfärd, i enlighet med Gehls vision om städer gestaltade för människor.

*Nyckelord:* Bullerreducering, immissionsbegränsade bulleråtgärder, socialt hållbar stadsplanering, urban stadsplanering, holistisk stadsplanering, landskapsarkitektur, trafikbuller.

## Abstract

This bachelor thesis explores immission-based strategies for reducing traffic noise in urban environments that include noise barriers, ground attenuation, refractive sound crystals and vegetation. The strategies are examined in terms of their noise mitigation effectiveness as well as Jan Gehl's principles for socially sustainable urban planning. It assesses the physical characteristics and placement of vegetation, barriers and other materials to reduce traffic noise while considering urban space as a place for people and social interactions. The results show that a combination of different vegetation types and innovative structural solutions can significantly reduce urban noise levels. However, the paper recognizes the structural challenges of implementing these solutions in dense urban environments. Factors such as spatial formation, accessibility, sightlines, aesthetics, air and light intake, wind climate, safety, greenery and seasonal variations are deemed important elements to take into account when establishing these noise mitigation design strategies. Based on these considerations, different strategic adjustments are proposed for the aforementioned noise mitigation measures with the aim of achieving a balance between traffic noise reduction and human-centered design in the urban environment. The paper proposes a holistic approach to urban design that not only addresses noise reduction but also improves social welfare, in accordance with Gehl's vision of cities designed for people.

*Keywords:* Noise reduction, noise pollution, noise attenuation, immission-based strategies, socially sustainable urban planning, holistic urban design, urban environments, landscape architecture, traffic noise.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>9</b>
1.1 Hållbar planering	9
<b>2. Syfte och frågeställning</b>	<b>11</b>
2.1 Syfte	11
2.2 Frågeställning	11
2.3 Avgränsning	11
<b>3. Val av material</b>	<b>13</b>
3.1 Jan Gehls teorier	13
3.2 Hosanna-projektet	14
<b>4. Metod</b>	<b>15</b>
<b>5. Bakgrund</b>	<b>16</b>
5.1 Viktiga begrepp	16
5.2 Riktlinjer för acceptabla bullernivåer	17
5.3 Bullerreducerande strategier i Uppsala	18
5.3.1 Bullerplank	18
5.3.2 Grön Tracé	19
5.3.3 Uppsala kommuns hantering av Naturvårdsverkets riktlinjer	20
5.4 Principer bakom bullerreducering	20
5.5 Människocentrerad bullerreglering	21
<b>6. Resultat och analys av bullerreducerande gestaltungsstrategier</b>	<b>23</b>
6.1 Bullerskärmar	23
6.1.1 Högre bullerskärmar	23
6.1.2 Lägre bullerskärmar	25
6.1.3 Bullerskärmar som rumsbildande element	26
6.1.4 Materialval	26
6.1.5 Form	27
6.2 Refraktiva ljudkristaller	28
6.2.1 Utformning	28
6.2.2 Sociala fördelar	29
6.3 Jordvallar	30
6.3.1 Platsspecificitet	30
6.3.2 Bullerreducerande effekt	31
6.3.3 Mångfunktionalitet	31
6.4 Markbearbetning	31
6.4.1 Akustiskt mjuka material	32
6.4.2 Tillgänglighet	32
6.5 Vegetation	33
6.5.1 Växter absorberar ljud	33
6.5.2 Avstånd till ljudkällan	34
6.5.3 Frekvens	34

6.5.4 Bladets egenskaper.....	36
6.5.5 Analys kring bullerreducerande växter.....	36
<b>7. Diskussion.....</b>	<b>37</b>
7.1 Sammanfattning.....	37
7.2 Metodreflektion.....	39
7.3 Etik, samhälle & hållbarhet.....	40
7.4 Ekologi.....	41
7.5 Slutsats.....	41
7.6 Framtida forskning.....	42
<b>8. Referenser.....</b>	<b>44</b>

# Figurförteckning

Försättsblad. Bullerutsatt stadsmiljö.

Figur 1. En illustration hur ljudvågor och frekvenser korrelerar.	16
Figur 2. En illustration av grön tracé	19
Figur 3. En illustration över olika typer av ljud	23
Figur 4. En illustration av fotgängares synfält	24
Figur 5. En illustration på olika former av bullerskärmar	28
Figur 6. En illustration av cylindrar med refraktiva ljudkristaller	29
Figur 7. En illustration av en jordvall	30
Figur 8. En illustration av akustiskt mjukt underlag	33
Figur 9. En illustration av kors- och radplantering	35

# Förkortningar

dB	Decibel
dB(A)	Decibel A-vägning inom trafikbuller
Hosanna	HOListic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means
kHz	kilohertz
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
WHO	World Health Organization



# 1. Inledning

I och med dagens urbanisering och förtätningsideal ökar behovet av transport i form av bil- och kollektivtrafik på grund av ökad befolkning, samtidigt som de sociala vistelseytorna minskar. Den ökade ljudnivån tycks korrelera med ekonomisk tillväxt och urbanisering vilket leder till ökad motordriven transport (W.H.O. 2011). Boverket (2023) miljö kvalitetsmål *God bebyggd miljö* hänvisar till att tillgodose människors och samhällets behov genom att erbjuda livsmiljöer av hög kvalitet och främja hållbar utveckling. Vidare beskrivs hur förtätningen av svenska städer bidrar till ökat buller, samt förtätningens bidragande utmaning kring ökad exploatering av centrala lägen.

Frågan kring trafikbuller och bullerreducerande strategier, framförallt i urban miljö, är därför en alltmer relevant fråga inom landskapsarkitektur. Landskapsarkitekter har traditionellt sett lämnat ljudbehandling till akustikspecialister, men där medvetenheten på senare tid ökat om ljudets påverkan (Cerwén 2017:18). Trots detta förenklas ofta ljudhantering inom branschen på grund av bristande medvetenhet, vilket är oroande med tanke på ljudets påverkan på hälsa och välbefinnande (ibid.). Miljöbuller definieras av WHO (2011) som oönskade ljud genererat från mänsklig aktivitet. Vidare påpekar WHO att det idag inte råder något tvivel om att denna typ av buller har negativ påverkan på människors psykiska och fysiska hälsa. Frågor om hjärt- och lungsjukdomar och förhöjt blodtryck, kognitiv nedsättning hos barn, sömnsvårigheter, tinnitus samt allmän irritation och stress utgör de huvudsakliga hälsoeffekterna listade av WHO. Följaktligen är strävan efter att minska bullrets påverkan på människors hälsa och välbefinnande något som måste tas på största allvar, och hur vi planerar och utformar våra städer blir en allt mer central fråga.

## 1.1 Hållbar planering

Då människors hälsa och välbefinnande står i fokus bör dessa bullerreducerande strategier noggrant beakta det mänskliga perspektivet inom urban planering. Det finns idag en mängd olika landskapsarkitektoniska strategier för att bekämpa trafikbuller i stadsmiljöer, både direkt och indirekt. Men både kunskapen kring strategierna och deras effektivitet, samt deras påverkan på andra stadskvaliteter tycks variera inom branschen. Behovet att fastställa lämpliga verktyg, metoder och strategier för att hantera och integrera ljudlandskapet inom yrket kvarstår därför (Cerwén 2017:19). Landskapsarkitekturen står inför samtida utmaningar relaterade till hållbarhet och resiliens, samt betydelsen av ljudlandskapet för välbefinnande blir allt mer uppenbar i tätt befolkade stadsområden (Cerwén 2017:20). Problematiken med trafikbuller i urbana områden blir särskilt uppenbar i städer som Uppsala, som genomgår en snabb urban utveckling. Detta framgår i Uppsala kommuns (2018) *Åtgärdsprogram mot omgivningsbuller*, där det understryks att det är nödvändigt att tillämpa bullerbekämpningsstrategier i redan bullriga miljöer. Genom att planera nya ljudmiljöer noggrant och att bevara

befintliga, lugna miljöer såsom grönområden, kan städer som Uppsala uppnå attraktiva och hälsosamma platser med miljö kvalitetsmålet *God bebyggd miljö* i åtanke. Gällande vilka åtgärder som erbjuder mest effektiv buller reducering i urban miljö, där människocentrerad och socialt hållbar stadsplanering följs, är ännu inte fastställd inom branschen.

Jan Gehl (2011:6) förespråkar, i sin bok *Cities for People*, visionen om levande, säkra, hållbara och hälsosamma städer. I samband med detta uttrycks missnöje i utvecklingen av arkitektonisk stadsplanering där människan bortprioriteras allt mer i samband med en allt växande fordonstrafik (Gehl 2010:3). Utöver trafikbuller påvisar Gehl även en kamp om utrymme som konsekvens av ökad fordonsanvändning. Utvecklingen leder, enligt Gehl, till generellt försämrade förhållanden för de flesta stadsbor runt om i världen. Att finna åtgärder mot bullerproblematiken kan därför lyftas som ett steg i rätt riktning i strävan att uppnå en mer människocentrerad stadsplanering. Samtidigt kan det argumenteras för att dessa bulleråtgärder bör beakta de övriga problemen som Gehl benämner.

Bulleråtgärder indelas enligt SKL (2015:157–158) huvudsakligen i *immissionsbegränsade* och *emissionsbegränsade* strategier. Det förstnämnda begreppet beskrivs minska buller genom att begränsa ljudets spridning från källan till mottagaren såsom bullerskärmar. Medan emissionsbegränsade åtgärder å andra sidan syftar till att minska mängden ljud som genereras vid själva källan, vilket i sin tur minskar bullret som sprids till omgivningen, exempelvis fordonsfria stadsmiljöer. För att koppla an till landskapsarkitektur samt socialt hållbar gestaltning, kommer detta arbete enbart att beakta de immissionsbegränsade åtgärderna för trafikbuller.

## 2. Syfte och frågeställning

### 2.1 Syfte

Kandidatarbetet ämnar undersöka bullerreducerande strategier och element för landskapsarkitekter, med syfte att finna socialt hållbara gestaltningsåtgärder mot trafikbuller. Undersökningen har som avsikt att informera om och identifiera trafikbuller som ett växande problem i förtätade stadsmiljöer samt klargöra för- och nackdelar med effektiva lösningar tillsammans med eventuella anpassningar i främjandet av att uppnå en hållbar stadsplanering i framtiden.

### 2.2 Frågeställning

*Hur kan immissionsbegränsande, landskapsarkitektoniska element och strategier effektivt reducera trafikbuller i urbana miljöer och samtidigt implementeras på ett sätt som beaktar Jan Gehls teorier om människocentrerad stadsplanering?*

### 2.3 Avgränsning

Denna uppsats avgränsas till att specifikt beröra trafikbuller i urbana miljöer och de landskapsarkitektoniska strategier som kan tillämpas för att hantera detta problem. Undersökningen begränsas till att utforska fysiska gestaltningsåtgärder som kan implementeras för att minska buller, medan strategier utanför landskapsarkitektens direkta inflytande utesluts. Vidare bortses metoder ämnade att reducera *ljudemissioner* från bullerkällan vilket avgränsar denna studie till endast immissionsbaserade strategier. I undersökningen inkluderas användandet av olika fysiska ingrepp såsom bullerskärmar, refraktiva ljudkristaller, vegetation och markdämpning. Syftet är att presentera metoder för alternativa bullerreducerande lösningar för landskapsarkitekter, snarare än att undersöka medel för att begränsa ljudemissioner från fordon. Vidare utelämnas psykologiska och perceptuella effekter av buller i analysen för att fokusera på konkreta, mätbara bullerdämpande åtgärder. Även om dessa aspekter är viktiga för fullständig förståelse av bullrets påverkan på människors välbefinnande, behandlas de inte inom ramen för denna studie.

Arbetet avgränsas till Jan Gehls principer om människocentrerad stadsplanering. Gehl's böcker *Cities for People* (2010) och *Life Between Buildings - Using Public Space* (1987) utgör tillsammans en bred och väl etablerad teoretisk grund för denna studie som i sammanhanget representerar socialt hållbar urban planering. Vidare definieras begreppet social hållbarhet av Folkhälsomyndigheten (2022) som strävan efter ett jämlikt och rättvist samhälle där alla människors välmående prioriteras och sociala orättvisor minimeras. Det innebär att alla grundläggande behov tillgodoses, att alla inkluderas oavsett bakgrund, samt att samhället anpassas efter de som behöver mest stöd (ibid.). En avgränsning har dock behövt

göras i relation till Gehls generella principer om människoanpassning vid stadsplanering, i strävan efter att utvinna konkreta resultat för gestaltungsförslag. Vidare används allmänna riktlinjer utifrån Naturvårdsverket (2017:14) gällande klassificering av bullernivåer, vilka är generaliseringar och förenklingar av människors funktionsmässiga diversiteter. Andra typer av hållbarhetsfrågor avseende på ekonomi och ekologi har bortprioriterats för att istället noggrant utforska hur landskapsarkitektur, med betoning på gestaltning, kan bidra till både tystare och mer levande stadsmiljöer.

Exempel på aktuell bullerhanteringspraxis kommer uteslutande från Uppsala. Detta med målet att ge läsaren en konkret förståelse för hur man i en snabbt expanderande stad såsom Uppsala bemöter bullerproblematik och vilka riktlinjer, kunskaper och teorier som idag ligger bakom detta bemötande.

Med dessa avgränsningar syftar uppsatsen till att erbjuda en omfattande undersökning med ett tydligt fokus på hur landskapsarkitektoniska strategier kan förbättra ljudmiljön i urbana områden utan att kompromissa stadsrummets sociala kvalitet.

### 3. Val av material

Arbetet tar avstamp från två huvudsakliga perspektiv, den tekniskt och fysiskt inriktade delen om bullerdämpande strategier inom Hosanna-projektet, och den filosofiska och psykologiska delen om människocentrerad stadsgestaltning av Jan Gehl. Hosanna-projektet används i undersökningen som en grundläggande teoretisk faktabas som berör en mängd olika bulleråtgärder i urban miljö, medan Jan Gehl's teorier behandlar olika aspekter av hur en socialt anpassad urban miljö bör utformas. Gehls teorier används som det synsätt var på resultaten presenterade i Hosanna-projektet, tillsammans med andra vetenskapliga källor, observeras utifrån. Nedan följer en ingående beskrivning av de två utgångspunkterna.

#### 3.1 Jan Gehls teorier

I arbetet analyseras principer och teorier beskrivna av den danska arkitekten och urbana designteoretikern Jan Gehl för att utforska ett socialt hållbarhetsperspektiv inom urban planering. Genom sina arbeten har Gehl bidragit till att omdefiniera stadsplanering med ett starkt fokus på mänskliga behov, beteenden och välbefinnande i urbana miljöer. Arbetet tar mer specifikt avstamp från två av Gehl's böcker, nämligen *Cities for people* (2010) och *Life Between Buildings - Using Public Space* (1987).

*Cities for People* (2010) utforskar Gehl principerna bakom skapandet av mer inkluderande, tillgängliga och hållbara städer. Boken lyfter vikten av att planera urbana utrymmen som främjar fotgängares och cyklisters rörelse, tillhandahåller offentliga sittplatser samt skapar trygga och inbjudande offentliga rum som uppmuntrar till social interaktion och gemenskap. Vidare argumenterar Gehl för att städer bör planeras med människans skala i åtanke, varpå arkitektur och stadsutformning ska anpassas till mänskliga aktiviteter och perceptioner.

*Life Between Buildings - Using Public Space* (1987) utforskar istället betydelsen av offentliga utrymmen för det urbana livet. Gehl diskuterar hur välutformade offentliga platser kan underlätta nödvändiga såväl som valfria och sociala aktiviteter, allt från att gå och sitta till att observera och delta i offentliga sammanhang. Boken betonar att tillgången och kvaliteten på offentliga rum direkt påverkar människors möjligheter att leva ett socialt liv i staden.

Dessa verk av Gehl ger värdefulla insikter i urban gestaltning ur ett mänskligt perspektiv vilket kan appliceras på användningen av bullerreducerande gestaltungsåtgärder inom landskapsarkitektur. Jämförelsen mellan aktuell forskning och praktisk användning av immissionsbegränsande bulleråtgärder i stadsmiljö och Gehls sociala aspekt av stadsbyggande leder in till diskussion om hur vi kan skapa tystare städer utan att offra deras sociala väv och levnadskvalitet.

## 3.2 Hosanna-projektet

Hosanna (2013), som förkortas "HOListic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means," är ett forskningsprojekt som syftar till att utveckla verktyg för att minska trafikbuller i utomhusmiljöer. Projektet fokuserar på den optimala användningen av olika material, både naturliga och återvunna, i kombination med artificiella element för att uppnå en hållbar bullerreducering. Genom att studera en rad åtgärder strävar Hosanna-projektet efter att uppnå kostnadseffektiva förbättringar med nya barriärers utformning, plantering av träd, buskar eller buskage samt behandling av mark- och vägyta. Inom projektet bedöms bullerreducering utifrån både faktisk och perceptuell ljudreducering (Hosanna 2013:6-8).

Projektet koordinerades av Chalmers Tekniska Högskola och involverade 13 partners från sju länder. Projektet hade målet att adressera bullerproblematiken och bidra till skapandet av tystare och grönare städer. Den omfattande forskningen inom Hosanna-projektet framhäver nya insikter i hur vi kan använda våra naturliga och artificiella resurser mer effektivt för att förbättra den akustiska livsmiljön i urbana områden.

Projektet Hosanna utgör en teoretisk grund för detta arbete genom att presentera värdefulla forskningsresultat. Första halvan av projektets broschyr (sidorna 5–21), som presenterar både allmänna principer bakom bullerreducering samt mätbara, immissionsbegränsade bullerreduceringsintentioner, används som utgångspunkt i detta arbete. Här sammanfattas stora delar av projektets huvudsynpunkter och en rad innovativa lösningar presenteras för att hantera buller i stadsmiljöer. Genom att tillhandahålla en grundlig översikt över projektets mål, aktiviteter och resultat, fungerar broschyren som en viktig resurs för att förstå olika integrerade strategiers bullerreducerande förmåga och dess tänkta utformning. Genom att analysera hur dessa strategier kan kompletteras med Jan Gehls sociala aspekter inom stadsutveckling, ger broschyren en omfattande inblick i hur vi kan närma oss utmaningen med bullerföreningar på ett holistiskt och socialt hållbart sätt. Detta utgör basen i detta arbete för hur bulleråtgärder kan bidra till att skapa mer hållbara och människovänliga stadsmiljöer. Vidare i uppsatsen kommer Hosanna-projektet enbart benämnas som Hosanna.

## 4. Metod

Studien har genomförts av både en kvantitativ och en kvalitativ forskningsmetod där Olov Aronson (2023) beskriver den kvantitativa metoden som en undersökning av mätetal som kan beskrivas med siffror, till skillnad från den kvalitativa metoden framförallt undersöker sådant som kan beskrivas med hjälp av ord och text. I denna litteraturstudie har två verk av Jan Gehl, nämligen *Cities for People* (2010) och *Life Between Buildings: Using Public Space* (1987) använts som ett teoretiskt ramverk kring socialt hållbar stadsplanering. Denna kvalitativa forskningsmetod har använts som en analys av forskningsresultat kring bullerreducerande åtgärder som Hosanna (2013) samt andra vetenskapliga artiklar presenterat. Vidare har en kvantitativ forskningsmetod använts vid sökandet av bullerreducerande element, för att undersöka mängden reducerad ljudnivå i decibel. Informationssökningen har skett i databaserna SLU-bibliotek, WEB of science, Scopus, JSTOR och Google Scholar. I processen användes sökord såsom; *noise reduction, noise pollution, noise attenuation, socially holistic urban design* och *urban environments*. Orden kombinerades även med *landscape architecture* för att koppla det till utmaningarna landskapsarkitekter står inför. Detta gjordes genom sökkommandon som *AND* och *OR*, som exempelvis kunde se ut som följande; (*noise reduction OR noise pollution\* AND landscape architecture\**). Generellt sett gav sökningarna mellan hundratal och tusental träffar beroende på vilken databas som användes. För ytterligare precision adderades sökord för specifika bulleråtgärder såsom *noise barriers, earth berms, refractive noise crystals* etc, vilket huvudsakligen gav enstaka och mer relevanta träffar.

För att besvara frågeställningen kring socialt hållbara, effektiva bullerreducerande strategier av trafikbuller, inleddes studien med att identifiera bullerproblematiken samt visa hur den behandlas idag. Detta utfördes genom att i inledningen beskriva det växande problemet kring trafikbuller som följt av dagens förtätningideal samt informera om de konsekvenser som uppstår ifall det inte hanteras. Vidare undersöktes den aktuella planhandlingen *Kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A-C*, dels för att identifiera till vilken grad bekämpning av trafikbuller prioriteras, men också för att undersöka ifall Naturvårdsverkets riktlinjer kring hållbara bullernivåer uppfylls eller inte (Naturvårdsverket 2005).

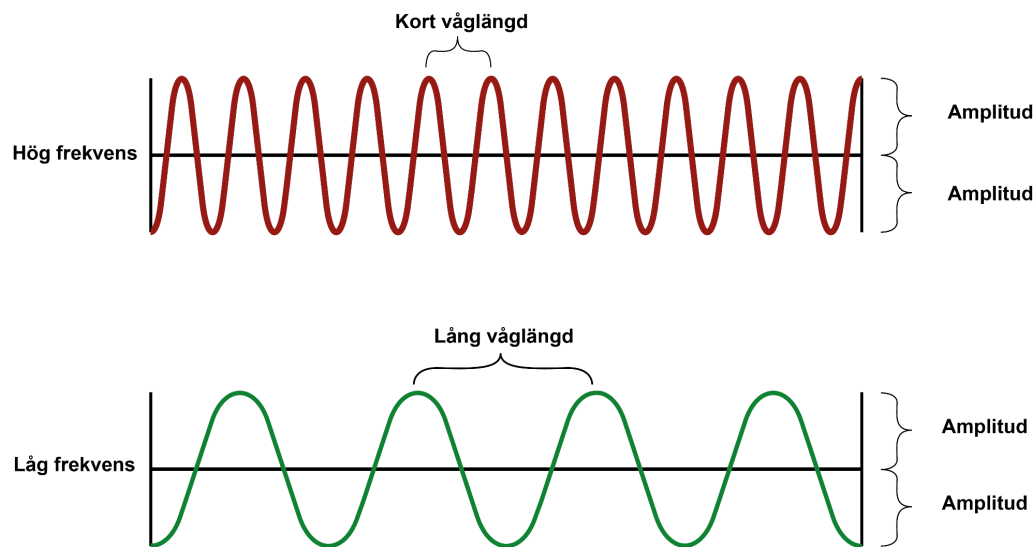
Sedan utfördes litteraturstudier av vetenskapliga forskningsartiklar som behandlade reduktion av trafikbuller, däribland Hosanna broschyren som med omfattande forskning utgjorde en teoretisk grund för detta arbete. Genom Hosanna delades bullerreducerande åtgärder upp i kategorierna; bullerskärmar, refraktiva ljudkristaller, jordvallar, markbearbetning och vegetation. Detta genomfördes för att kunna analysera dessa teorier och tillvägagångssätt utifrån Jan Gehl's tankar för att behandla socialt hållbara stadsplaneringsteorier. Vidare sammanställdes resultatet i en diskussion där val av metod och avgränsningalternativ, resulterade i förslag till möjlig framtida forskning inom området.

## 5. Bakgrund

För att undersöka tillämpbara bullerreducerande strategier krävs kunskap om hur ljud fungerar och interagerar med omgivningen. Följande avsnitt belyser därför vad ljud är och hur vi människor uppfattar det.

### 5.1 Viktiga begrepp

Inledningsvis måste begrepp som decibel, frekvens och amplitud redas ut för att göra vidare diskussioner kring hantering av ljud begriplig. *Frekvens* är antalet svängningar/ljudvågor per tidsintervall och mäts i *Hertz* (Hz) (Vislander, F. u.å.). Höga frekvenser med många svängningar upplevs som ljusare toner och lägre frekvenser med få antal svängningar upplevs som mörkare. Amplituden mäts av höjden på varje svängning/ljudvåg och ju högre amplituden är, desto starkare blir ljudnivån. Ljudnivån är ett mått på ljudets styrka och mäts i decibel (dB) (Se figur 1) (Trafikverket 2023; Vislander, F. u.å.).



Figur 1. Illustration av ljudvågor som visar sambandet mellan våglängd och frekvens. Trafikbuller brukar generellt sett bestå av lägre frekvenser, men där amplituden kan skilja sig åt (Hosanna 2013:16) (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

Vid benämning av trafikbuller används oftast en A-vägning (dB(A)), som främst är framtagen för att efterlikna örats varierande känslighet för olika typer av frekvenser (Trafikverket 2023). Exempelvis är känsligheten för höga frekvenser som spågnissel betydligt högre än låga frekvenser som mullrande motorer (ibid.). Decibelskalan kan generellt sett anses ha ett maxvärde på 140 dB vilket motsvarar människans smärtgräns, samt ett minimivärde på 0 dB som motsvarar människans tröskelvärde (ibid.).



En ökning av mängden dB är inte proportionerlig med ökningen av den faktiska ljudvolymen, alltså de ljud som vi människor upplever. *“Vi använder en logaritmisk skala, decibel (dB), [...] En logaritmisk skala innebär att ljudnivån är tio gånger större för varje 10-steg i skalan.”* (Trafikverket 2023). Detta innebär att de bullerreducerande åtgärderna som kommer bemötas senare i rapporten, till en början kan uppfattas som låga, men som i själva verket skulle upplevas som en stor skillnad i ljudvolym. Exempelvis skulle en bullerreducering på 10 dB(A), från 70 dB(A) till 60 dB(A), innebära att vi människor upplever ljudnivån som hälften så stor (ibid.).

Den oproportionerliga decibelskalan fungerar även så att två ljudkällor med samma antal dB, endast ökar den totala decibelnivån med några få enheter. Hosanna (2013:33) hänvisar till ett exempel där två ljudkällor som uppnår 60 dB(A) vardera, resulterar i en total bullernivå på 63 dB(A).

Cerwén (2017:23) redogör tre huvudkategorier för ljud, nämligen naturliga, teknologiska och mänskliga. Dessa uppfattas vanligtvis olika, där naturliga ljud beskrivs som behagliga, teknologiska ljud som irriterande och mänskliga ljud som någonting däremellan (ibid.). Denna kategorisering förklaras i själva verket som varierande beroende på faktorer såsom ljudets fysiska egenskaper, dess källa, mottagarens personliga erfarenheter samt den övergripande kontexten. En viss konkurrens mellan olika typer av ljud menar Cerwén är vanligt och förekommer ofta i urbana miljöer där exempelvis trafikljud maskerar andra mänskliga eller naturliga ljud. Detta kan i sig påverka den sociala kommunikationen och upplevelsen av den naturliga miljön (Cerwén 2017:24).

## 5.2 Riktlinjer för acceptabla bullernivåer

För att kunna åtgärda de bullerutmaningar stadsmiljöer står för idag, krävs mått på vilka ljudnivåer som anses vara hållbara. Därav kommer den föreliggande delen av texten presentera Naturvårdsverkets riktlinjer kring hållbara bullernivåer. Detta för att klargöra mängden dB som anses vara hållbar i olika typer av stadsmiljöer.

Den statliga myndigheten Naturvårdsverket, har i rapporten *God ljudmiljö* sammanställt mått och mätetal på bullernivåer som ej bör överskridas för att uppnå god ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer (Naturvårdsverket 2007:3). I rapporten hänvisar bland annat Naturvårdsverkets forskningsresultat till en grupp företrädare från Trafikverket samt myndigheter ansvariga för miljö och kultur. Slutsatsen av resultatet kring hållbara mått var att *“Ljudnivåerna i stadsnära grönområden och stadsparker bör ligga en bra bit under 50 dB(A) för att man skall uppnå en god ljudmiljö.”* (Naturvårdsverket 2005:7).

Ytterligare beskrivs en slutsats gällande bullerreducering av de teknologiska ljuden (Naturvårdsverket 2005:7). Där förtydligas relevansen av att besökare inte bör störas av buller och att en försäkring om att 80% skall få uppleva en god ljudmiljö bör finnas. Detta kopplas till Naturvårdsverkets femgradiga *bullerklassificeringsskala* från A-E, där A representerar låga ljudnivåer och E

representerar höga nivåer som kan vara problematiska (Naturvårdsverket 2005:8). Vid bullerklass E, som är vanligast förekommande i urbana miljöer, används en *ekvivalent ljudnivå* (Trafikverket 2023). Den ekvivalenta ljudnivån beskriver ljudnivån under ett genomsnittligt dygn. Bullerklass E inträffar vid en ekvivalent ljudnivå på 45-50 dB(A), alternativt vid 10-20 dBA under omgivande ljudnivåer, förutsatt att de högre ljudnivåerna inte är för extrema eller förekommer för ofta (Naturvårdsverket 2013:14). Vid bullermätningar i Sverige kompletteras den ekvivalenta ljudnivån med mätning av den *maximala ljudnivån* för att inkludera ljud som är sällsynt förekommande men mycket kraftiga (Trafikverket 2023).

## 5.3 Bullerreducerande strategier i Uppsala

För att få en bättre inblick i hur bullerreducerande strategier och Naturvårdsverkets riktlinjer hanteras i Sverige idag har ett exempel från Uppsala, och mer specifikt planhandlingarna till *Kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A-C* studerats och analyserats. Detta för att se hur landskapsarkitekter bemöter och gestaltar urbana miljöer idag med hänsyn till att lösa bullerproblematiken.

Planhandlingarna omfattar förslag om byggnation av spårvagn alternativt BRT (Bus Rapid Transit), med hopp att kunna minska biltrafiken och därmed öka kollektivtrafikförbindelser (Uppsala kommun 2023b). För att koppla samman detaljplanen med rapportens syfte har en avgränsning gjorts till att endast titta på området kring Svandammen, detta för att lättare urskilja hur de bullerreducerande strategierna ser ut i den urbana miljön. I förslaget presenteras två bullerreducerande lösningar, nämligen bullerplank och *grön tracé* (Uppsala kommun 2023b).

### 5.3.1 Bullerplank

Bullerplanken presenteras av landskapsarkitektkontoren SYSTRA Nordic och White arkitekter som en av de mest effektiva bullerreducerande lösningarna.

*En fördjupad bullerutredning har gjorts för de fastigheter där det fanns indikationer på att bullerriktvärden överskrids. Fördjupningen syftar till att avgöra vilka åtgärder som är effektivast. Det finns olika tänkbara alternativ såsom bullerplank [...] (Uppsala kommun 2023b:103).*

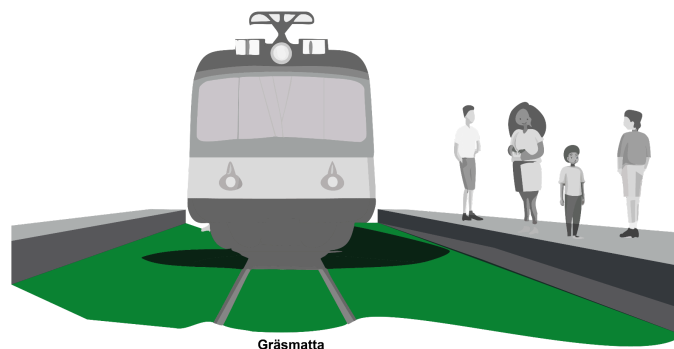
I miljökonsekvensbeskrivningen bör bullerskärmar enligt Norconsult, ett konsultföretag inom samhällsbyggnad och arkitektur, vara placerade i både inner- och ytterkurvor av vägbanan i en ca 10 meter lång genomgående struktur. Vidare diskuteras det att *“Dessa påverkar till viss del stadsbilden, men kan utformas på ett omsorgsfullt sätt för att smälta in i miljön.”* (Uppsala kommun 2023a:20). Utöver det nämns förslag på hur dessa skärmar kan göras vegetationsklädda för att öka de ekologiska- och estetiska värdena (ibid.).

Enligt Uppsala kommun (2023a:103); & Norconsult bilaga 1 (2022) beskrivs hur minskat bilanvändande sänker den maximala ljudnivån och att "I de flesta fall bidrar spårtrafiken med en decibels ökning av den ekvivalenta ljudnivån. Ljudnivån orsakad av bara spårvägen ligger mellan 40 och 60 dBA [...]" (Uppsala kommun 2023a:103), där förslaget av spårtrafik därför inte försämrar dagens bullersituation. Dock framgår det varken beräkningar eller mätvärden på att bullerplanken uppnår Naturvårdsverkets riktlinjer för godkända ljudnivåer under 50 dB(A) inom tätortsnära grönområden som Svandammen (Uppsala kommun 2023a:109).

### 5.3.2 Grön Tracé

Miljökonsekvensbeskrivningen syftar främst till att bullerskyddsåtgärder föreslås där kollektivtrafikstråket ger upphov till överskridanden av riktvärden. (Uppsala kommun 2023a:110). Stadsbyggnadsförvaltningen för Uppsala kommun tar själva upp grön tracé som en bullerreducerande åtgärd som kan dämpa upp mot 3 dB. Grön tracé är en gräsbeläggning i spåren (se figur 2) (Uppsala kommun 2023a:157).

*För att dämpa ljud från spårväg kan exempelvis grön tracé, gräsbeläggning i spår vara ett alternativ. Detta innebär att spåret förses med en övre beläggning av substrat och vegetation. [...] Det är framför allt högfrekventa ljud såsom spårskrik och bromsskrik som reduceras med gräsbeläggning. (Uppsala kommun 2023a:157).*



Figur 2. Illustration av grön tracé som en bullerreducerande åtgärd vid utbyggnad av spårväg. Som bilden visar är detta förslag problematiskt i hänseende på att även bil och busstrafik ska köra på underlaget. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

De menar att marken under spåret blir mjukare vilket resulterar i en absorbering och dämpning av ljudvolymen (Uppsala kommun 2023a:157). Då det ännu inte finns någon reviderad planbeskrivning eller illustrationsplan där grön tracé är tillämplig, tar stadsbyggnadsförvaltningen strategin i beaktning genom att möjliggöra reserverade utrymmen mellan spåren (Uppsala kommun 2023b:17).

### 5.3.3 Uppsala kommuns hantering av Naturvårdsverkets riktlinjer

Sammanfattningsvis bemöts bullerproblematiken väl där förslag på lösningar presenteras. Dock menar Uppsala kommun att förslaget inte bidrar med en ökad mängd buller och att frågan kring hållbara ljudnivåer därför inte behöver lösas, trots att de själva hänvisar till Naturvårdsverkets riktlinjer kring hållbara ljudnivåer (Uppsala kommun 2023a:110). Uppsala kommun påvisar i miljökonsekvensbeskrivningen att det, utmed sträckningen, finns relevans att genomföra bullerreducerande åtgärder vid utbyggnaden (ibid.). Vidare menar de att förslaget till spårtrafik teoretiskt sett skulle leda till minskad biltrafik, vilket skulle få den maximala ljudnivån att sänkas och få den ekvivalenta ljudnivån att endast öka med 1 dB (Uppsala kommun 2023a:103). Miljökonsekvensbeskrivning menar då att Naturvårdsverkets kriterier och riktlinjer inte måste följas då förslaget inte medför en ökad mängd buller (Uppsala kommun 2023a:110). Ifall alla detaljplaner skulle resonera som exemplet ovan skulle i stort sett aldrig Naturvårdsverkets riktlinjer kunna uppnås, vilket skulle leda till en ohållbar gestaltning av stadsmiljöer. Därav krävs bättre förståelse kring hur buller bekämpas samt vilka strategier som är mest effektiva för att lösa problemet.

## 5.4 Principer bakom bullerreducering

För att diskutera bullerreducerande strategier behövs en förståelse av hur buller kan reduceras. Hosanna (2013:7-8) lyfter avståndet mellan ljudkälla och mottagare, luftens egenskaper som ljudets medium, samt egenskaperna hos gränssnitt som markens material och struktur, däribland bullerskärmar och andra hinder, som centrala principer bakom bullerreducering. Det beskrivs vidare att ljud generellt sett avtar med ett större avstånd. Hur detta sker varierar dock beroende på ljudkälla. Ljud från en punktkälla, exempelvis ett enskilt fordon, sprider sig sfäriskt och minskar med 6 dB för varje fördubbling av avståndet. Å andra sidan sprids ljud från en linjekälla, som en trafikerad väg, cylindriskt och minskar med 3 dB vid varje fördubbling av avståndet (Hosanna 2013:7).

Vindriktning och temperaturvariationer beskrivs i Hosanna (2013:8) kunna påverka ljudnivåerna signifikant och leda till att ljudet böjs nedåt eller uppåt, vilket påverkar hur ljudet uppfattas vid olika avstånd och i olika miljöer. Detta bekräftas av Hannah (2007:22) som förklarar att ljud sprider sig mer i medvind när ljudvågorna böjer sig nedåt, medan motvind minskar spridningen genom att böja dessa uppåt. Det tydliggörs samtidigt att vinden endast har en marginell påverkan på ljud sett från kortare avstånd då dessa effekter inträffar på större avstånd över 50 meter. Vidare förklaras även att temperaturskillnader kan medföra liknande effekter på ljudvågornas spridning som vinden. Hastiga variationer i både temperatur och vindförhållanden, även kallat *atmosfärisk turbulens*, kan enligt Hosanna (2013:8) förvanska ljudvågorna och skapa spridningseffekter, vilket är viktigt att beakta i bullerbekämpningsstrategier.

Boverket (2021) diskuterar olika strategier för bullerreglering i stadsmiljö, där naturbaserade lösningar framhålls som både direkta och indirekta åtgärder. Det framgår att grönytor i stadsmiljö har förmågan att minska ljudnivån från omgivande buller genom att växtligheten, istället för att *reflektera* ljudvågorna, *absorberar* dem (ibid.). Genom absorption börjar föremålet svänga i bullrets frekvens, vilket resulterar i att en del av ljudets energi fångas upp och omvandlas till rörelseenergi (Vislander, F. u.å.). Detta till skillnad från reflektion där ljudet byter riktning, utan att förlora energi (ibid.). Boverket (2021) identifierar hög och tät vegetation, bestående av flerskiktade planteringar av träd och buskar, som den mest effektiva naturbaserade strategin. Dessutom betonas gräsmattans bullerdämpande egenskaper, särskilt inom områden med spårvägstrafik. Dessa naturbaserade strategier kräver utrymme och där ytan är begränsad föreslås traditionella bulleravskärmningar som plankor och vallar längs vägar och järnvägar (Boverket 2021).

## 5.5 Människocentrerad bullerreglering

Jan Gehl (2010:153) lyfter i sin bok *Cities for people* hur ljudnivåer påverkar människors möjlighet till interaktion. Bakgrundsljud som överstiger 60 dB nämns här som ett hinder för människor att föra normala konversationer. En trafikerad gata i Köpenhamn tas som exempel där dessa ljudnivåer uppnår mellan 72–84 dB, vilket påverkar människors sociala förhållningssätt. Gehl noterar att det är få konversationer på denna gata, och att konversationerna ofta är korta och sker främst när inga bullriga fordon passerar (ibid.). I kontrast uppger fordonsfria gator vanligtvis en fjärdedel av ljudnivån uppmätta på trafikerade gator, där ljud från bland annat fotsteg, samtal, lekande barn och resonans från byggnaders fasader utgör bullret (Gehl 2010:154).

Utmaningen med trafik omfattar mer än bara dess bullerrelaterade problem. Gehl (2010:6) tar upp dess påverkan på stadens utrymme, vilket i Gehls mening skett på bekostnad av stadslivet med försämrade förhållanden för gående och cyklister. Såväl nya som etablerade städer behöver prioritera människors behov och omvärdera sina planeringsbeslut och prioriteringsåtgärder (ibid.). Gehl hävdar att en prioriterad gångtrafik, integrerad i stadsplaneringen tillsammans med cykling och kollektivtrafik, är avgörande för att skapa levande, trygga, hållbara och hälsosamma städer. Kostnaden för att inkludera den mänskliga aspekten är relativt låg jämfört med andra investeringar, vilket gör det möjligt för städer över hela världen att genomföra förbättringar, oavsett ekonomisk status (Gehl 2010:7).

Gehl (2010:118) framhåller särskilt vikten av att sträva efter hög kvalitet på den småskaliga nivån. Han betonar att en god stadsmiljö på ögonhöjd bör ses som en grundläggande mänsklig rättighet då det nära mötet mellan staden och människan sker på den mindre skalan. Gehl fortsätter med att konstatera att fokuset på den lilla skalan, det vill säga att skapa förutsättningar för grundläggande mänskliga aktiviteter såsom promenader, stående, sittande, betraktande, lyssnande och samtalande, utgör det främsta verktyget inom stadsplaneringen (ibid.). Genom att uppmärksamma detaljer på småskalig nivå och beakta de mänskliga sinnen kan

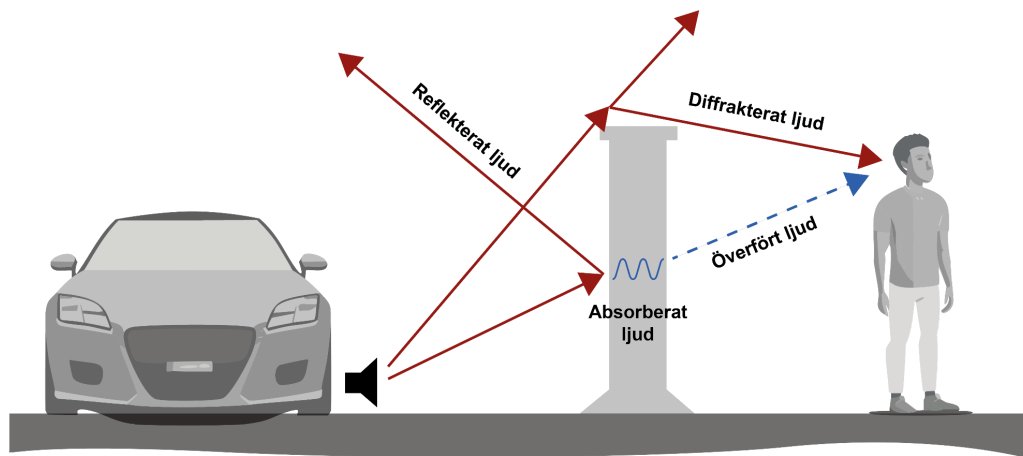
människors livskvalitet förbättras avsevärt (ibid.). Förståelsen för hur sinnena fungerar och när de används betonas av Gehl (1987:63) som viktig kunskap vid planering av uterum, där särskilt hörseln och synen tenderar att vara involverade i de flesta situationer. Detta berör således i högsta grad hanteringen av bullerreducerande gestaltningsstrategier i den urbana miljön, vilka oftast upplevs på ögonnivå.

## 6. Resultat och analys av bullerreducerande gestaltungsstrategier

Följande avsnitt behandlar dels vilka immissionsbaserade bullerreducerande åtgärder som enligt forskning visat sig vara effektiva bullerdämpande strategier i stadsmiljö, samt hur dessa kan utformas för att följa Jan Gehls vision om stadsplanering som främjar sociala urbana utrymmen anpassade för människor. Analys av bulleråtgärderna utifrån Gehls principer sker löpande i texten och även fast Gehls teorier i många fall kan appliceras på flertalet bulleråtgärder görs detta sparsamt, detta för att undvika onödiga upprepningar.

### 6.1 Bullerskärmar

Bullerskärmar är idag en vanlig strategi för att minska buller som fungerar genom att reflektera eller absorbera ljudvågor för att hindra dem från att nå mottagaren (Laxmi et al. 2021). Ljud som inte absorberas kan överföras direkt till mottagaren eller *diffrakteras* över skärmen till mottagaren, beroende på skärmens form, placering och dimensioner samt materialets egenskaper (se figur 3). Ordet diffraction beskriver fenomenet då ljudvågor böjer sig när de möter en skarp kant eller en smal öppning (Vislander, F. u.å.).



Figur 3. Illustration av hur olika typer av ljud rör sig och tar sig fram till mottagaren, det vill säga personen i detta fallet. Trots att många bullerskydd absorberar ljudvågor kan vi människor höra dessa ljud som dova vibrationer, till skillnad från det reflekterade ljudet som helt byter riktning i form av diffraction. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

### 6.1.1. Högre bullerskärmar

För att säkerställa effektiviteten av bullerskärmar föreslår SKL (2015:168) en minimihöjd på 2,5 meter. Detta stöds av Laxmi et al. (2021), som noterar att en ökad höjd på skärmarna markant förbättrar ljudreduceringen. Vidare betonar SKL (2015:168) vikten av att ha minimala glipor i skärmarna för att gynna en effektiv bullerdämpning. Om detta kriterium uppfylls, hävdar SKL (2015:168) att en minskning på 3 dB kan uppnås genom att 90 grader av synfältet som är riktat mot vägen är helt avskärmat, medan den andra hälften av synfältet förblir oskärmat. Placering nära bullerkällan framhålls också som en viktig faktor för skärmens effektivitet. SKL (2015) framför inga specifika förslag gällande material eller form för bullerskärmar.

Även om höga och täta bullerskärmar visar på mest effektiv bullerreducering kan dessa ifrågasättas utifrån ett mänskligt gestaltningsperspektiv. Gehl (1987:63) framhäver att den mänskliga synen är horisontellt dominerad, vilket innebär att det horisontella synfältet är bredare än det vertikala. Vidare framför Gehl att den övre delen av det vertikala synfältet är mindre än den nedre delen, vilket förstärks ytterligare om personen är i rörelse då blicken riktas nedåt en aning (se figur 4). En fotgängares synfält utgörs främst av markplanet på byggnader, trottoaren och vad som pågår i gaturummet självt (ibid.). Att införa bullerskärmar höga nog att täcka en stor del av detta redan begränsade synfält kan således ha en negativ påverkan på människors upplevelse av stadsmiljön.



Figur 4. Illustration av en fotgängares synfält, beskriven av Gehl. Observera att det horisontella synfältet sträcker sig längre än det vertikala, som i sin tur sträcker sig längre nedåt än uppåt. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

Gehl (2010:148–149) betonar vikten av klara visuella linjer i städer för fotgängares säkerhet och upplevelse av offentliga rum. Han understryker behovet av oavbrutna siktlinjer till sevärdheter och att hinder såsom parkerade fordon och felplacerade byggnader begränsar dessa. Gehl lyfter även att siktlinjernas olika höjdnivåer, inklusive för stående, sittande och barn, bör beaktas i planritningar av byggnader och gator för att förbättra stadsmiljön ur ett etiskt perspektiv. Bullerskärmar kan här jämföras med dessa typer av hinder vilket betonar vikten av att beakta deras påverkan på siktlinjer vid gestaltning.

Avståndet mellan bullerskärmen och mottagaren påverkar hur mycket mottagarens synfält begränsas. Eftersom bullerskärmen är mest effektiv när den är nära bullerkällan, vilket ofta kan innebära att den är längre bort från mottagaren, bör synfältet kunna bevaras och den negativa påverkan av skärmen rimligtvis



minskas. Även om detta öppnar upp synfältet för fotgängare, begränsar det samtidigt synfältet för trafikanter. Gehl (1987:71–72) skiljer dock på trafikpassad respektive gångpassad gestaltning där den senare bör prioriteras. Han jämför de korta glimtarna som trafikanter kan få av omgivningen med fotgängarnas mer nyanserade upplevelse av staden. Placeringen av bullerskärmar nära ljudkällan kan därför argumenteras utifrån både ett socialt hållbart och ljuddämpande perspektiv. Säkerhetsaspekter tillhörande trafikanters behov av fri sikt tas inte upp av Gehl men är dock en fråga som rimligtvis bör utforskas mer i framtiden.

### 6.1.2 Lägre bullerskärmar

Hosanna (2013:12) framhäver att lägre ljudbarriärer, begränsade till 1 meter i höjd och 40 cm i bredd, kan minska buller med cirka 9 dB längs tvåfiliga vägar i tätbebyggda områden med begränsade fordonshastigheter. Detta förutsatt att de placeras nära bullerkällan och dess bullerreducerande effekt är märkbar 2–50 meter bakom barriären för mottagare 1–5 meter upp (ibid.). Den ljuddämpande effekten beskrivs dock kunna minska vid fallet av omkringliggande byggnader.

Gehl (2010:155) framför hur ljudnivåer i storstäder tenderar att uppnå högre ljudnivåer än rekommenderat, vilket även kunde visas i planhandlingarna till *Kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A-C* (Uppsala kommun 2023b). Ljudnivån på gator i centrala delar av London, Sydney och New York har mätts över 72–75 dB, där trafikbuller är en betydande faktor. Detta indikerar ett starkt behov av bullerdämpning i dessa urbana områden. Samtidigt beskriver Gehl (1987:77) dessa städer som mer livfulla, där en lägre trafikhastighet ökar antalet människor på gatorna. För att bevara dessa dynamiska offentliga rum, är det viktigt att noggrant överväga placeringen av bullerskärmar, så att de inte begränsar gångkvaliteten eller fotgängares rörelsefrihet. Gehl (2010:121) betonar att gångkvaliteten i staden beror på flera faktorer, däribland utrymme. Här förespråkas tillräckligt utrymme för bekväma och njutbara promenader, utan att behöva trängas med andra eller parera onödiga hinder. En ökad biltrafik tillsammans med fysiska hinder på trottoarer, såsom lyktstolpar och parkeringsmätare, samt stängsel som tvingar fotgängare till omvägar, kritiserar av Gehl (2010:121–122) för att äventyra detta utrymme. Därför kan även lägre bullerskärmar, liksom högre, begränsa fotgängares rörelsefrihet i staden, även om de möjliggör fri sikt på grund av sin låga höjd. För att bevara det sociala stadslivet bör inte dessa installeras på bekostnad av gångvägarnas tillgänglighet. Fotgängares utrymmen bör tas om största hänsyn vid placering av samtliga bullerreducerande element.

För att bevara fotgängares utrymme kan bullerskärmar placeras mellan körfälten. Detta beskrivs av Hosanna (2013:12) som en ytterligare effektivisering gällande bullerdämpning. Vid spårvägar kan detta minska bullret med cirka 8 dB(A) utöver effekten av en ensam spårvägsbarriär, som i sig minskar bullret med cirka 12 dB(A). Här lyfts materiella och strukturella exempel upp såsom en *standardgabion*, byggd av 15–20 cm tjocka stenar med höjden 1 meter, som kan minska bullret med 3–8 dB(A) från en stadsgata, särskilt om stenarna ersätts av

porös lera (ibid.). För ytterligare ljudabsorption kan dessa lägre bullerskärmar kombineras med exempelvis rigida *ljudkristaller* eller *hampabetong* (Hosanna 2013:13).

### 6.1.3 Bullerskärmar som rumsbildande element

Stadens gränser och kanter beskrivs av Gehl (2010:75) ha en stor påverkan på människans spatiala upplevelser. Detta genom att begränsa människans synfält och därigenom definiera separata rum. Platser som saknar tydliga gränser eller har svaga avgränsningar är vanliga på många torg, omgivna av starkt trafikerade vägar åt alla håll (ibid.). Gehl påpekar att sådana platser oftast har en mindre tillfredsställande funktionalitet jämfört med stadsmiljöer där livet aktivt förstärks av en eller flera attraktiva avgränsningar.

Utformningen av den fysiska miljön påverkar var människor väljer att stanna, och vid långvariga aktiviteter blir platsens lämplighet avgörande (Gehl, 1987:147–148). Platser längs gränserna mellan områden eller vid utrymmets kant beskrivs av Gehl (1987:149) som populära uppehållszoner. Dessa kanter beskrivs erbjuda en skyddad rygg och god uppsikt över området genom att avgränsa synfältet till en halvcirkel framför besökaren. Händelser i stadsrummet beskrivs utvecklas från kanterna mot mitten, vilket betonar kantzonernas betydelse för ett levande stadsrum (Gehl 1987:150). Här kan möjligtvis högre bullerskärmar fungera som rumsskapande element vilka bildar dessa typer av kantzoner samtidigt som de sänker ljudnivån för att främja god kommunikation och social interaktion. Samtidigt är säkerhetsaspekten viktig att undersöka vidare när det gäller rumsbildning, eftersom det kan tänkas minska överblicken över området och skapa möjligheter för gömslen, vilket kan öka känslan av otrygghet. Detta går i linje med Gehls (2010:239) säkerhetskriterier där goda överblickar, sk. "*Eyes on the street*", främjar trygghetskänslan i staden.

Även lägre skärmar kan erbjuda ljudreducering samtidigt som de bibehåller öppenheten och möjligheten till visuell kontakt, vilket Gehl (1987:151) identifierar som viktigt för sociala interaktioner. Samtidigt kan dessa, likt lägre pelare vanligt förekommande i sydeuropeiska städer, även användas för att stå nära, luta sig mot eller lägga saker vid. Gehl beskriver hur människor noggrant väljer ståplatser vid uppehållszoner, ofta nära pelare, träd, gatlyktor eller andra fysiska stöd, vilket definierar småskaliga viloplatsområden (ibid.).

Extra viktiga blir dessa element vid skapandet av goda sittplatser, som enligt Gehl (1987:155) möjliggör många av de huvudattraktioner som äger rum i offentliga miljöer. Detta, menar Gehl, gör välutformade sittmöjligheter avgörande för att säkerställa god kvalitet på en stads utemiljö. Gehl fortsätter med att beskriva en god sittplats, vars utformning liknar den av en god ståplats, men där kraven är något högre. Här framhålls att människor vanligtvis väljer att sitta endast när de yttre förutsättningarna är gynnsamma. Både höga och låga bullerskärmar bör därför kunna fylla samma rumsbildande funktion även här, så länge ljudnivån tillåter detta.

#### 6.1.4 Materialval

Vanligen byggs bullerskärmar av trä, betong, akrylglas eller metall vilket enligt Hosanna (2013:9–10) visat sig vara både estetiskt, ekonomiskt och funktionellt underlägsna i jämförelse med vissa alternativa material, både naturliga och återvunna. Metoder som använder granulerat polymeriskt och elastomeriskt avfall, ofta återvunna från olika källor, nämns har utvecklats för att skapa porösa, ljuddämpande material. För att optimera ljudabsorptionen krävs en komplex kombination av låg porositet, hög styvhet och dämpningsförmåga (Hosanna 2013:10–11). Hantering av buller i lägre frekvenser, såsom vid trafikbuller, beskrivs som en utmaning som ofta kräver en skiktad struktur som inkluderar flera homogena lager. Förutom att minska buller har återvunna material visats användbara för att stabilisera marken vid konstruktion av vegetationsklädda bullerskärmar (Hosanna 2013:10–11). Även vegetation planterad på traditionella bullerskärmars övre delar kan enligt Hosanna (2013:15) minska buller med 8–12 dB(A) för en person som befinner sig en meter bakom skärmen, jämfört med en lika hög skärm utan vegetationstopp. Vegetationens bullerdämpande effekt kommer att diskuteras vidare under avsnittet 6.5 *Vegetation*.

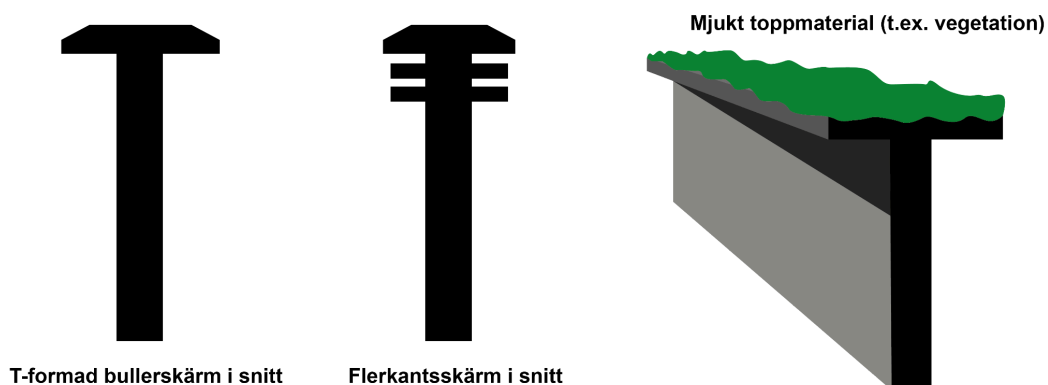
Laxmi et al. (2021) framhåller fördelarna med återvunna material för effektiv ljudreducering, samtidigt som de är mer ekologiskt och ekonomiskt hållbara. Här lyfter författarna både att utformningen och materialvalet för ljudbarriärer kan förväntas kombinera estetiska kvaliteter med effektiva akustiska egenskaper, samtidigt som de bidrar till att minska koldioxidavtrycket från ljudbarriärer och främja en princip om cirkulär ekonomi. Denna kombination av estetik och god funktion lyfts av Gehl (2010:176) som beskriver att stadsrum bör designas för att möta alla praktiska krav samtidigt som det bibehåller en hög estetik standard. Gehl understryker vikten av att integrera viktiga aspekter av stadsutrymmet till en övertygande helhet, där både funktion och estetik samverkar för att skapa kvalitativa och njutbara urbana miljöer (ibid.). Förutom estetiska värden såsom noggrant planerade detaljer och användning av renodlade material lyfter Gehl (2010:178–179) även konst, såsom monument och temporära installationer, som estetiska element. Dessa nämns kunna berika stadslivet och erbjuda en mångfald av upplevelser i stadens allmänna utrymmen. Dessa principer är avgörande för att utforma bullerskärmar som inte bara minskar buller utan också berikar den visuella och funktionella kvaliteten på stadsrummet. Exempelvis skulle bullerskärmar kunna utformas i kreativa och estetiskt tilltalande former, alternativt utgöra offentliga gallerier genom upphängning av tavlor och annan konst på dessa skärmar. Användningen av återvunna material och dess positiva miljöpåverkan kan relateras till vad Gehl (2010:105) uttrycker som ett växande intresse för en hållbar stad, där energikonsumtion och industriell produktion diskuteras som viktiga aspekter av hållbarhet.

#### 6.1.5 Form

Liknande kombination av estetik och funktion kan appliceras på bullerskärmens form, som visat betydande påverkan på skärmens effektivitet mot buller. Två olika utformade bullerskärmar jämförs av Li et al. (2020) som studerade effektivitet hos näst intill slutna bullerskärmar vid järnvägsspår vars böjda form liknar både

vägg och tak med en smal öppning ovanför. Dessa böjda barriärer visade sig reducera buller i mellanregistret effektivare än en motsvarande rak bullerskärm, förutsatt att materialet var tätt och akustiskt rigit.

En ytterligare undersökning genomfördes av Laxmi et al. (2021) på en variation av olika geometriskt formade skärmar där T-formen visade sig vara mest effektiv på att reflektera ljudvågor (se figur 5). Denna utgörs av en enkel vertikal skärm med ett platt horisontellt tak på toppen vars sidor sträcker ut sig på sidorna likt bokstaven T. Här finns dock en möjlighet att argumentera för att olika former kan ha en inverkan på skärmens andra kvaliteter, såsom dess estetiska värde eller dess funktion som ståttöd, som tidigare nämnts.



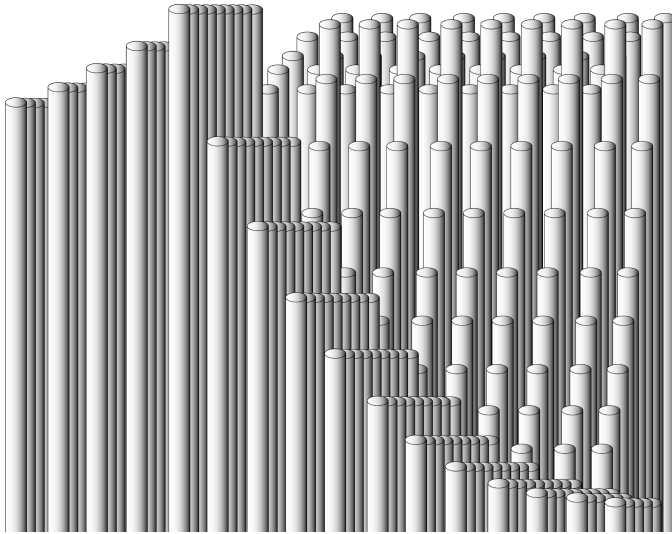
Figur 5. Illustration av T-formad bullerskärm. För bäst effekt framhålls användning av mjukt material på skärmens topp. Även flerkantsskärmar, där extra kanter integreras i den befintliga skärmen, lyfts som ett bra alternativ för att dämpa buller från tung trafik. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

## 6.2 Refraktiva ljudkristaller

En annan strategi för att bekämpa buller är att dirigera ljudvågorna uppåt. Hosanna (2013:14) beskriver hur detta kan åstadkommas med *refraktiva ljudkristaller* (egen översättning från *Refractive noise crystals*) eller *GRIN SC* (se figur 6). Ordet *refraktion* beskrivs av NE (u.å.) som brytning eller ändring av riktning för en ljusstråle. I detta fall handlar det om ljudvågor som omdirigeras uppåt, genom uppåtriktad refraction (Hosanna 2013:14).

### 6.2.1 Utformning

Dessa barriärer består av parallellt placerade, akustiskt hårda, ihåliga cylindrar som placeras på marken för att leda ljudvågorna uppåt. På detta sätt reflekteras mindre ljudvågor tillbaka mot ljudkällan jämfört med traditionella bullerskärmar (Hosanna 2013:15). Refraktiviteten hos dessa barriärer fungerar dock bara inom vissa frekvenser, över vilka andra fysikaliska egenskaper hos barriären bidrar till bullerdämpning. Det beräknas att bullernivån kan minska med 4 dB(A) vid öronhöjd om mottagaren befinner sig 15 meter horisontellt från barriären (ibid.).



Figur 6. Figuren visar förslag på hur de ihåliga cylindrarna kan placeras för att åstadkomma den uppåtriktade refraktionen. Viktigt att notera är att cylindrarna är ihåliga vilket inte tydligt framkommer i figuren. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

För att förbättra kristallers ljudreducerande förmåga har olika metoder utforskats. En sådan metod, undersökt av Fredianelli et al. (2019), innefattar att täcka de yttre ytorna av rören med porösa material eller att fylla de inre hålrummen med material som har hög ljudabsorberande förmåga. Dessutom föreslås det att integrera ljudkristaller med traditionella ljudbarriärer för att förstärka deras effektivitet vid specifika ljudfrekvenser (ibid.).

Fredianelli et al. (2019) nämner att bulleråtgärdens acceptans inom branschen ännu är begränsad, delvis på grund av refraktiva kristallers krav på plats och risken för smutsansamling mellan rören. Dessutom är deras bullerdämpande effektivitet främst begränsad till närområdet runt barriären. För att öka användningen av ljudkristaller som ljudbarriärer föreslås åtgärder såsom höjning av rörstrukturen, integration med naturliga eller konstgjorda höjder, samt kombinerad av ljudreducerande åtgärder med emissionsbegränsande metoder såsom användning av ljudabsorberande vägbeläggningar (ibid.).

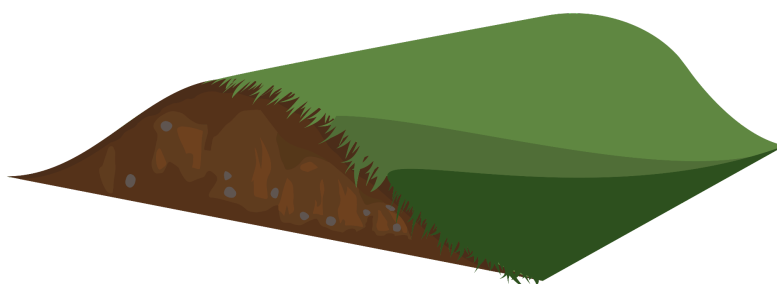
### 6.2.2 Sociala fördelar

Fredianelli et al. (2019) lyfter fram ljudkristallernas förmåga att släppa igenom luft och ljus, vilket skiljer dem från konventionella metoder för bullerdämpning. Författarna noterar att traditionella bullerskärmar ofta kritiserats av medborgare för att blockera synfältet och begränsa ljus och luftflöde. Ljudkristaller erbjuder alltså en bullerreducering som samtidigt tar Gehls (2010:148–149) principer om fria siktlinjer i beaktning. Även ljusets roll lyfts av Gehl (1987:165) som nödvändig, speciellt belysning av socialt relevanta objekt, såsom människor. Här betonas även vikten av riklig och välriktad belysning i gångområden för att främja både njutningen och säkerheten hos allmänheten.

Vidare diskuterar Gehl (2010:129) hur detaljrika och intensiva intryck förbättrar fotgängares upplevelse. Med tanke på detta kan ljudkristallernas unika form och estetik potentiellt tillföra ett estetiskt värde för stadens fotgängare. Frågan om hur människor uppfattar kristallernas utseende bör dock undersökas närmare.

## 6.3 Jordvallar

Jordvallar utgör en effektiv ljudreduceringsstrategi som utnyttjar flera mekanismer, däribland spridning av ljudvågor, minskad diffraktion vid dess övre yta och ljudabsorption via vegetationen som täcker jordvallen (Laxmi et al. 2021)(se figur 7).



Figur 7. Illustration av en jordvall i genomskärning. För ytterligare bullerreducering kan mer vegetation adderas på jordvallens ovansida. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

### 6.3.1 Platsspecificitet

Hosanna (2013:15) framhåller jordvallarnas särskilda effektivitet i vindutsatta områden, där de visar sig vara mer resistent än traditionella bullerskärmar, vars ljudreducerande kapacitet avsevärt försämras under medvindsförhållanden. Dock beskrivs vallarna ha ett genomsnitt mer omfattande platskrav än exempelvis bullerskärmar (Hosanna 2013:15). En minskad lutningsvinkel på vällen förklaras också kunna förstärka denna motståndskraft ytterligare och för en ökad bullerreducerande effekt förespråkas vallar med ojämna ytor och toppar.

Gehl (2010:171) identifierar vindutsatta miljöer som en utmaning vid skapandet av behagliga zoner i staden där gestaltningar med terräng och därmed hög friktion förklaras kunna minska vindens hastighet. Ytterligare vindskydd beskrivs kunna uppnås i områden med många träd och grupper av låga byggnader där vind tenderar att riktas uppåt över byggnaderna istället för på gatorna. Även långa, raka gångvägar beskriver Gehl (1987:141) som mer vindutsatta än slingrande utformningar. Med tanke på jordvallarnas platskrav tillsammans med deras effektivitet även i vindutsatta områden, bör förslagsvis dessa prioriteras i öppnare, rakare och med vindutsatta gatu- och stadsrum, i exempelvis utkanten av städer. Vallarna kan även tjäna som effektiva avdelare i dessa stora utrymmen, vilket Gehl (2010:166–167) påpekar kan bidra till att skapa fler zoner anpassade för den mänskliga skalan.

### 6.3.2 Bullerreducerande effekt

I en studie genomförd av Burton et al. (2016:2) jämfördes jordvallar och bullerskärmars effektivitet mot bullerreducering vilket visade att 1 fot (ca 30,5 cm) av jordvall i höjd motsvarar 1,15 fot (ca 35,1 cm) av bullerskärm i höjd. Utmaningar med jordvallar lyfts även fram som begränsat markutrymme, konstruktionsproblem som el- och belysningskonflikter, dräneringseffekter och vegetationshantering (Burton et al. 2016:14). Dessa utmaningar nämns kunna öka kostnaderna och försena bygget om inte tillräckligt med utrymme finns tillgängligt, vilket pekar på vikten av platsspecifika utvärderingar innan implementering.

En undersökning genomförd inom Hosanna (2013:23) visar att en 15 meter bred trapezformad vall intill en motorväg kan minska bullret betydligt, med upp till 18 dB(A), i ett område upp till 20 meter bakom vallen. Genom att tillämpa ojämnheter i marken med ytterligare strukturer såsom smala, djupa parallella spår på vallens topp kan bullret minskas ytterligare med 7 dB (ibid.). Dessutom kan insättningen av små mängder grus, sand eller jord i mellanrummen mellan låga parallella väggar förstärka deras bullerreducerande effekt (ibid.).

### 6.3.3 Mångfunktionalitet

SKL (2015:168) lyfter jordvallarnas mångfunktionalitet, inte bara som en barriär mot ljud utan även som ett skydd mot urspårningar. För ytterligare skydd föreslås införandet av en skärm eller mur som komplement, vilket erbjuder ett alternativt skydd längs med järnvägsspår. Detta skulle kunna bidra till en känsla av säkerhet för fotgängare i staden, vilket Gehl (2010:91) anser som avgörande för en stads sociala hållbarhet. Gehl betonar att städer, i samband med allt mer fordonstrafik, bortprioriterat fotgängare och cyklister, lett till allt fler olyckor och rädsor (Gehl 2010:92). Värt att tillägga är att människors siktlinjer även i detta fall bör tas i beaktning.

Jordvallarnas mångfunktionalitet inkluderar även dess miljömässiga fördelar. Dessa lyfts av SKL (2015:168) som integration av vegetation och återanvändning av överskottsmaterial. Vikten av att inkorporera träd, växter och grönområden för att förbättra stadsmiljöer diskuteras av Gehl som viktiga (Gehl 2010:179–180). Här lyfts inte bara grönskans estetiska värde utan också dess förmåga att förbättra luftkvaliteten, ge skugga och minska värmeöar i städer.

## 6.4 Markbearbetning

Spridningen av buller påverkas även av markens egenskaper där olika bullerdämpande strategier kan tillämpas. Implementering av mjuka markpartier, såsom gräs eller annan plantering mellan bullerkällan och mottagaren är vanliga sådana strategier vilka enligt SKL (2015:167) kan reducera upp mot 3 dB(A) för varje fördubbling av avståndet, mätt utifrån både maximal och ekvivalent ljudnivå.

### 6.4.1 Akustiskt mjuka material

Markbehandlings, enligt Hosanna (2013:21), används för att minska bullernivåerna genom att utnyttja markens akustiska egenskaper. Det innefattar att skapa ojämnheter i annars hårda ytor genom olika ingrepp. Placering av små objekt på dessa ytor, som tegelstenar parallellt längs en väg, är en strategi. Enligt Attenborough et al. (2014:27–28) kan en minst 3 meter bred remsa av 0,3 meter hög ojämnheter medföra en bullerreducering på upp till 10 dB. Här betonas även att ojämnheten konstruerad av ett rutnätsmönster mer effektivt bidrar till minskat buller än om konstruktionen endast är parallell med vägen (ibid.). Den mönstrade konstruktionen är mindre platskrävande då den enligt Hosanna (2013: 22–23) kan bidra med liknande bullerreducering som en dubbelt så bred, parallellt uppbyggd konfiguration. Dessutom är mottagarens vinkel gentemot konstruktionen inte lika viktig i sammanhanget som den endast parallella konstruktionen (ibid.).

En annan strategi innebär att ersätta ett akustiskt hård material mot ett akustiskt mjukt material. Detta kan enligt Hosanna (2013:24) antingen ske med hjälp av grus som antingen i form av grusremсор varvas med den hårdgjorda ytan, eller att större hela gruspartier ersätter de hårdgjorda partierna helt. Hosanna (2013:24) förtydligar här att ett större antal smala grusremсор inte ökar bullerreduktionen jämfört med en enda bred remsa. Bullerreduktionen förbättras inte heller efter att den enskilda remsan överstigit 25 meter i bredd. Bullernivån beräknas här kunna sänkas med mellan 2–6 dB för en mottagare på 50 meters avstånd (ibid.). Enligt Hosanna (2013:25) kan gräs fungera som komplement för ytterligare bullerreducering. En 45 meter bred gräsyta med mjuk mark som börjar 5 meter från bilvägen kan minska bullernivåer med 5-9 dB(A) för en mottagare 1,5 meter hög och 50 meter från vägen (ibid.). Valet av gräsart kan i detta fall påverka den ljudabsorberande förmågan (ibid.).

### 6.4.2 Tillgänglighet

Dessa åtgärder bör dock inte ske på bekostnad av god tillgänglighet. Enligt Gehl (2010:132–133) bör jämna och halkfria gångvägar och ytor prioriteras i en värld med fler äldre och personer med nedsatt rörlighet, rullstolsbundna och fler som önskar ta med barn till staden. Även fast varken grus eller gräs nämns, framhävs här andra akustiskt mjuka underlag såsom kullersten och brutna naturstenar. Underlag som ofta anses som visuellt tilltalande men sällan funktionella. För att behålla den historiska känslan som dessa underlag ofta medför förespråkar Gehl en integration av släta granitremсор för att underlätta för rullstolar, barnvagnar och fotgängare (ibid.). Denna blandning av traditionellt och modernt, menar Gehl, skapar inte bara praktiska utan även estetiskt tilltalande ytor som bevarar stadens historiska karaktär. Liknande tillgänglighetsåtgärder kan ses applicerbara även vid användningen av mjuka material som bullerreducerande strategier (se figur 8). Även Hosanna (2013:24) lyfter de eventuella praktiska och estetiska fördelarna som följer denna varvade struktur, där hårda partier i ett annars akustiskt mjukt underlag erbjuder praktiska gång- och cykelvägar. Specifika mått på dessa remсор nämns dock inte.





Figur 8. Illustration av akustiskt mjukt material (grus) varvat med akustiskt hårt underlag av god tillgänglighet (asfalt). (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

För att behålla en god tillgänglighet för fotgängare på en större yta kan nedgrävda resonatorer fungera som ett alternativ till akustiskt mjuka ytor. Dessa beskriver Hosanna (2013:26) som ihåliga behållare som placeras under den hårdgjorda ytan och kalibreras till specifika ljudfrekvenser (ibid.). Om tillgänglighet inte är huvudfokus kan resonatorer fördelaktigen kombineras med en porösare och akustiskt mjukare vägyta för ökad bullerdämpning (ibid.). Detta för att dels fånga upp ljud med specifika frekvenser som sprids över vägytan, men också för att minska ljudförstärkningen från däckens kontakt med vägen (ibid.). Mätningar visar att den ljudabsorberande förmågan hos tvålagars porös asfalt med resonatorer kan förbättras med cirka 3 dB(A) (Hosanna 2013:27).

## 6.5 Vegetation

Idag finns det ingen studie som påvisar att en särskild växt eller hur många växter det krävs för att motverka en viss bullernivå. Dock har det visat sig att det finns egenskaper hos växter som är bullerreducerande, som också är applicerbara i täta urbana stadsmiljöer. Flertalet studier, oberoende av varandra, har visat på att avståndet till ljudkällan, typ av frekvens samt bladets egenskaper har en viss påverkan på den bullerreducerande förmågan. Nedan följer en sammanställning av bullerreducerande egenskaper som enligt Jan Gehl också är socialt hållbara ur en stadsplaneringsynpunkt.

### 6.5.1 Växter absorberar ljud

Växter kan utöver att reflektera ljudvågor och frekvenser, bland annat också absorbera dem (Fan et al. 2010; Hosanna 2013). Kang och Mengmeng (2018) diskuterar hur ljudets energi på två olika sätt kan absorberas av växter och därmed reducera buller.

*One is changing the sound energy into the kinetic energy by leaf vibration. The other is changing the sound energy into the thermal energy by leaf friction.*  
(Kang & Mengmeng 2018:2)

Genom absorption av ljudvågorna interfererar växterna med ljudets frekvens och därmed omvandlar en del av ljudets energi till rörelseenergi genom vibrationer istället för att endast reflektera iväg det (Vislander, F. u.å.). Genom bladets låga vikt kan ljudvågorna från exempelvis trafikbuller få bladen att börja vibrera och absorbera upp energi från trafikbullret (Kang & Mengmeng 2018:2-3).

### 6.5.2 Avstånd till ljudkällan

Som tidigare nämnts visar Hosanna att buller från en linjekälla, som exempelvis en bilväg, sprider sig cylindriskt och minskar bullernivån med 3 dB(A) vid varje fördubbling av avståndet på bilvägen (Hosanna 2013:7). Dock uppstår problem att öka avståndet mellan ljudkälla och människa i och med att förtätningidealet i svenska städer idag inte alltid möjliggör stora avstånd mellan bilvägarna och de urbana vistelseytorna. Därav kommer istället avståndet mellan ljudkälla och vegetation att undersökas vidare.

Akay och Önder (2021) studerade hur uppsättningen av växter samt dess avstånd till ljudkällan påverkade den bullerreducerande förmågan. De fann bland annat resultatet att växten *Pyracantha coccinea* minskade ljudvolymen med 2 dB(A) på 1 meters avstånd, samt 3 dB(A) vid 2 meters avstånd, sett från ljudmottagarens perspektiv (Akay & Önder 2021:12051). Vidare förklarar de hur resultaten från samtliga försök visar att bullerreduceringen ökar med minskat avstånd mellan ljudkällan och vegetationen.

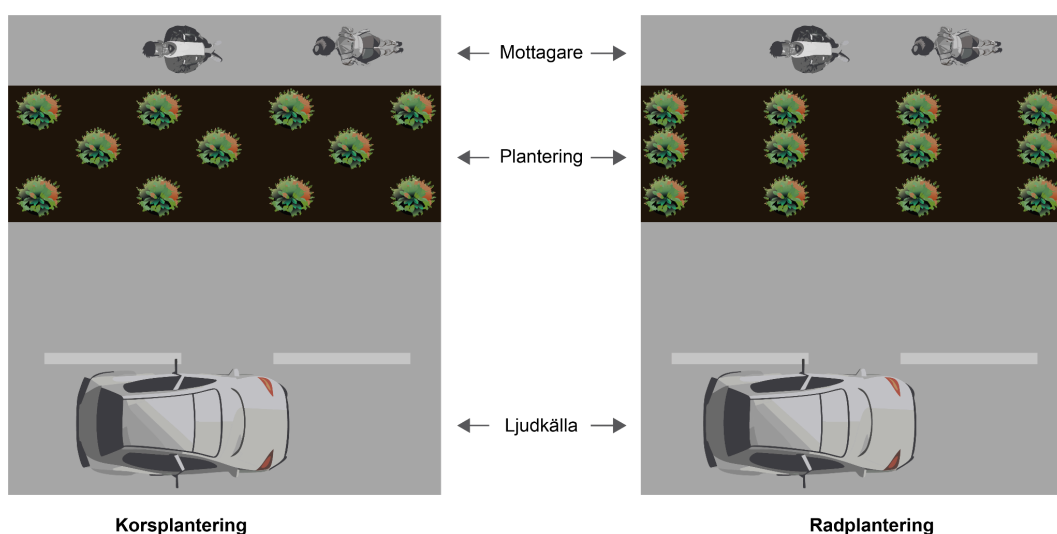
Hosanna hänvisar till samma slutsats när det gäller att lägre vegetation kan skydda fotgängare och cyklister mot buller, förutsatt att den är väl designad och placerad nära ljudkällan (Hosanna 2013:12). Vidare påpekar de hur lägre vegetation mellan vägbanorna kan reducera upp till 2 dB(A) (Hosanna 2013:29). Trots vegetationens positiva påverkan på bullerreducering vid minskat avstånd till ljudkällan, nämner Gehl hur längden och avståndet från vägen på närliggande barriärer ändå bör ses över (Gehl 2010:148–149). Trots att Gehl betonar vikten av grönska i staden, finns det enligt honom behov av översikts- och sittmöjligheter för fotgängaren (ibid.). Som tidigare nämnts betonar Gehl vikten av klara visuella linjer i städer för fotgängares säkerhet och upplevelse av offentliga rum (ibid.). Vidare påpekar han siktlinjernas betydelse i olika höjdnivåer och hur stående, sittande och barn bör ses över vid planritningar. Därav, som tidigare diskuterats vid bullerplank, bör vegetation i många fall enligt Gehl inte överstiga höga höjder som påverkar visuella siktlinjer negativt. Dessutom bör placeringen av vegetationen i förhållande till ljudkällan också se över möjligheten till sociala interaktioner (ibid.).

### 6.5.3 Frekvens

Frekvensen på bullret har också visat sig påverka typen av växtmaterial. Som tidigare nämnts kan vegetation absorbera ljud, men för att en växt ska kunna börja vibrera och därmed absorbera ljud, krävs det att den kan svänga i samma frekvens som frekvensen på ljudvägen från trafikbullret (Vislander, F. u.å.). Enligt Hosanna kan växter vibrera i spannet 2-4 kHz, där buller från bilvägar oftast genererar frekvenser i det lägre spektrumet (Hosanna 2013:16).

Fan et al. (2010) studerade sex olika växter vid olika tillfällen i försök att kunna jämföra vilken växt, som i olika uppsättningar, påverkade den bullerreducerande förmågan mest. I undersökningen konstaterades att olika växter absorberar olika frekvenser, där lösningen att kombinera växter med olika bullerreducerande spektrum är mest effektivt (Fan et al. 2010:15).

Akay och Önder (2021) som tidigare nämnts undersökte placeringen och avståndets påverkan. De fann att den mest bullerreducerande platsen, belägen i anslutning till en bilväg, var platsen med dels störst antal och dels störst variation av växter (Akay & Önder 2021:12051). I studien testades aldrig aspekten av växter planterade i rad- respektive korsplantering som i Fan's studie. Dock noterades växternas placering, varvid de mest bullerreducerande platserna hade mer varierade och slumpmässiga platsval av växter, snarare än planterade i raka rader (Akay & Önder 2021:12043). Detta överensstämmer med resultatet i Fan's studie som menade att korsplantering är mest effektivt mot bullerreducering av lägre frekvenser (se figur 9) (Fan et al. 2010:15). Fenomenet med att en varierad växtlighet är effektivt mot bullerreducering skulle kunna bero att trafikbullret varierar i frekvens beroende på fordonstyp och hastighet. Därför skulle en variation av växter behövas för att täcka det större spektrumet av ljudvågor.



Figur 9. Illustrationen visar skillnaden mellan korsplantering och radplantering intill en bilväg. Enligt Fan's studie visade sig korsplantering vara effektivare mot bullerreducering av lägre frekvenser, oberoende av typ av vegetation. (Illustration: Henrik Ahlström 2024).

Gehl betonar i *Cities for people* vikten av en mer varierad växtlighet och möjligheten att skapa en större känsla av välbefinnande genom en större variation av grönska och synintryck (Gehl 2010:179-180). Utöver den ekologiska fördelen med ökad biologisk mångfald och större artrikedom, menar Gehl att fler platser i staden, ur det sociala perspektivet, skulle kunna upplevas som mer attraktiva och besöksvänliga med mer varierad växtlighet.

#### 6.5.4 Bladets egenskaper

I rapporten Kang och Mengmeng (2018) studeras hur olika växter påverkar bullerreducering genom att jämföra bladets amplitudförändring vid påverkan från en bullerkälla. Undersökningen visade att högre amplitud innebar en högre absorption av ljudfrekvensen och därmed en ökad bullerreducerande förmåga (Kang & Mengmeng 2018:3-4). Slutsatsen av resultatet indikerade att bladmassan och dess area hade en positiv påverkan med ökad amplitud, men där tjockleken på bladet istället påverkade amplituden avsevärt lite (Kang & Mengmeng 2018:5).

Hosanna kunde i sina studier också konstatera att växtens egenskaper som storlek och vikt hade en påverkan på vilket spektrum av frekvenser den kunde absorbera (Hosanna 2013:16). Dock hävdar de, till skillnad från Kang´s studie, att även densitet har en positivt korrelation med ökad bullerreducering. Detta kan bero på att olika växter använts i undersökningarna och att absorptionen av ljudfrekvensen därför varit olika på grund av skillnaden i frekvensspektrumet. Hursomhelst visar samtliga undersökningar att ökad bladyta och vikt har en effektiv bullerreducerande förmåga mot lägre frekvenser som biltrafik (Kang & Mengmeng 2018; Hosanna 2013:16).

Fastän vegetation visar på god reducerande förmåga kvarstår problemet med att majoriteten av växter i Sverige, under stora delar av året, saknar blad (Gehl 1987:179). Lösningen skulle kunna vara att i variationen av växter, även inkludera städsegröna växter som behåller bladen även under vinterhalvåret. Gehl diskuterar i *Life between buildings* Skandinaviens behov av grönska under vinterhalvåret, då årstiden inte erbjuder en stor variation av färg (Gehl 1987:179-180). Vidare fortsätter Gehl att belysa vikten av grönska under större delar av året för att möjliggöra skydd mot exempelvis kraftiga vindar. Därav skulle städsegröna växter inte bara erbjuda en större färgvariation under vintern, utan skulle också innebära att växtligheten kan absorbera buller från trafiken och skydda mot väder under större delar av året.

#### 6.5.5 Analys kring bullerreducerande växter

Enligt studierna ovan finns det egenskaper hos växter som är bullerreducerande och som enligt Gehl´s teorier kring social hållbarhet är tillämpbara i urbana stadsmiljöer. Fördelen med vegetation ur ett bullerperspektiv är dess absorptionsförmåga i ett större frekvensspektrum. För att reducera de lägre bullerfrekvenserna som skapas av biltrafiken bör varierande vegetation med större bladyta och vikt placeras så nära bullerkällan som möjligt. Genom att undvika att plantera i raka rader samt se över växter med längre växtperioder, exempelvis städsegröna växter, blir de bullerreducerande förmågan som mest effektiv. Dock bör höjden och möjligheten till sittplatser för fotgängaren ses över för att öka den sociala aspekten.

## 7. Diskussion

Under följande kapitel sammanfattas och diskuteras de resultat som tidigare framkommit i undersökningen. Resultaten diskuteras utifrån metodval samt andra viktiga etik- och hållbarhetsaspekter som bör uppmärksammas vid stadsplanering för bullerreducering. Vidare presenteras en slutsats av studien samt framtida forskningsfrågor som förslagsvis bör studeras vidare inom ämnet.

### 7.1 Sammanfattning

Syftet med denna studie var att undersöka effektiviteten hos immissionsbaserade bullerreduceringsstrategier mot trafikbuller inom urbana miljöer, med särskilt fokus på deras integration och praktiska tillämpning i urbana stadsrum, detta på ett socialt hållbart sätt enligt Gehl. Uppsatsen utforskade systematiskt olika bullerreducerande strategier, inklusive användningen av bullerskärmar, jordvallar, refraktiva ljudkristaller, markbearbetning och vegetation, i en bedömning av deras påverkan på de omgivande urbana bullernivåerna samt den övergripande levnadsstandarden i staden.

Den genomförda undersökningen besvarar frågeställningen genom att lyfta effektiva bullerreducerande gestaltungsstrategier i urbana miljöer och hur dessa kan implementeras i stadsrum på ett sätt som tar Jan Gehls teorier om människocentrerad stadsplanering i beaktning. Resultaten indikerar samtidigt på att varje strategi har sina unika fördelar och begränsningar, både gällande ljuddämpande förmåga och som gestaltande element i stadsmiljö. Med detta i åtanke framställs resultatet i form av övergripande tumregler då framförandet av ett tydligt ramverk, i form av exempelvis en tabell, i detta fall är svårdefinierad. Då Gehl's tankar kring socialt hållbar gestaltning ofta förändrar utseendet och placeringen av det bullerreducerande föremålet, skiftar också mängden dB som reduceras. Till följd av detta skulle en tabell med faktiska mätvärden kräva vidare undersökning. Följande avsnitt presenterar resultatets huvudpunkter tillsammans med lämpliga exempel från resultatdelen.

Ett exempel på olika åtgärders individuella användningsområden kan ses i hur jordvallar bidrar till god bullerreducering, särskilt i vindutsatta områden (Hosanna 2013:15) samtidigt som jordvallar integrerar växtlighet och återvinner överskottsmaterial (SKL 2015:168). Som tidigare nämnts har jordvallar å andra sidan ett platskrav (Hosanna 2013:15). Detta krav gör dem mindre lämpliga i stadsutrymmen där platsåtkomst är begränsad. I linje med rapportens syfte kan bullernivåer bevisligen minskas på ett socialt hållbart sätt med hjälp av olika immissionbegränsade bulleråtgärder. I utforskandet av hur detta går till visar denna studie på vikten av en nyanserad förståelse för både bullerreducering och människocentrerad urban gestaltning. Vikten av att noggrant analysera stadsrummet och beakta platsspecifika krav, både gällande bullerexponering och social användning, kan utifrån detta inte underskattas. Designbeslut bör därmed

främst inte baseras på allmänna antaganden, utan istället fokusera på den specifika kontexten.

Ett exempel på när en sådan avvägning kan genomföras är vid val av bullerskärmar som ljuddämpande åtgärd. Dessa visar på hög effektiv bullerdämpning korrelerat med dess högre höjd (SKL 2015:168). Samtidigt kan bullerskärmar till följd av höjdkravet i flera sammanhang utgöra hinder för fri sikt, vilket enligt Gehl (2010:148–149) är en viktig aspekt som främjar den sociala hållbarheten. Å andra sidan kan synfältet anses mindre viktigt i situationer såsom medvetet skapande av tydliga gränser för rumsbildande effekter, där detta hinder istället kan utgöra ett viktigt stadselement enligt Gehl (2010:75). Resultaten visar således på en nödvändig strävan efter att integrera och utnyttja de mångfunktionella användningsområdena som bullerdämpande åtgärder kan erbjuda utöver deras bullerreducering i sig.

För att möjliggöra välgrundade gestaltningsval pekar resultatet av studien på nyfunnen kunskap i form av särskilda aspekter som bör ses över. Detta för att säkerställa att förbättringar av ljudmiljön inte sker på bekostnad av stadens anpassning till människors behov och aktiviteter. Mot denna bakgrund kan det konstateras att vid utformningen av sociala urbana rum bör visuella och estetiska aspekter, liksom rumsbildande attribut, prioriteras tillsammans med bullerreducerande funktioner. Markbearbetning som bulleråtgärd, vilket SKL (2015:167) beskriver som införande av akustiskt mjuka markunderlag för bullerreducerande effekt, kan utgöra goda bullerdämpande alternativ i fall där minimal påverkan på övrig stadsutformning är önskvärd. Detta så länge en god tillgänglighet bevaras för fotgängare och cyklister (Gehl 2010:132–133). Liknande slutsatser kan dras gällande bevarandet av siktlinjer, förutsatt att en sådan öppen spatial design är önskvärd i sammanhanget. I enlighet med Gehls (2010:121–122) principer bör bulleråtgärder samtidigt inte skapa fysiska barriärer som hindrar människors rörelse, utan i stället främja god tillgänglighet i stadslandskapet. Vidare bör åtgärderna i tillämpliga fall bidra till förbättrad trafiksäkerhet, var jordvallar betonas och uppges kunna åstadkomma detta genom att motverka exempelvis urspårningar (SKL 2015:168). Skapandet av säkrare städer går i linje med Gehls (2010:91–92) idéer där dessa stadselement kan bidra genom att begränsa fordonen till körbanan. Gällande överväganden avseende strategiers luft- och ljusinsläpp samt vindresistens kan det argumenteras för att dessa inte bör ignoreras utan snarare anpassas efter de specifika förhållandena och klimatet på platsen. I områden som naturligt är mörkare och kvavare, där både behovet av bullerdämpning och ökad ljus- och luftinsläpp är nödvändiga, kan användningen av refraktiva ljudkristaller vara ett lämpligt alternativ (Fredianelli et al. 2019). Å andra sidan, i områden som är utsatta för vind och har mer öppna gaturum, vilket enligt Gehl (1987:141) ofta kan innebära en rakare utformning, rekommenderar Hosanna (2013:15) användning av jordvallar för effektivt bullerskydd.

Vegetationens användning för bullerreducering är genomgående, något som i studien framgår givande. Den bör så långt som möjligt främjas, givet dess ekologiska och hälsofrämjande fördelar i urbana miljöer. Årstidsvariationer spelar

här en viktig roll, både utifrån grönskans bullerreducerande egenskaper och dess estetiska kvaliteter, där städsegrön växtlighet bör prioriteras (Gehl 1987:179-180). I och med genomförandet av studien påträffades också att en variation av olika typer av växter, utöver fördelen kring ökad biologisk mångfald, dessutom ökade bullerreduceringsförmågan. Den nya kännedomen kan bidra till ytterligare argumentation kring att använda mer växter vid gestaltning av urbana utemiljöer.

## 7.2 Metodreflektion

Den formulerade frågeställningens relevans kan diskuteras. Hanteringen av bullerproblematiken är en aktuell samhällsutmaning som bör behandlas för att säkerställa en god levnadsstandard (Boverket 2023). Vidare forskning inom ämnet kan därför anses berättigat givet problemets fortsatta närvaro. I försök att bemöta miljö kvalitetsmålet för *God bebyggd miljö* (Boverket 2023), vilket värdesätter hållbarhetsfrågor, sociala liksom ekonomiska och miljömässiga, blir undersökning av de strategier som behandlar bullerproblemet särskilt intressant. Här ingår främjandet av människors hälsa och välmående vilket ligger som grund till valet att införa Jan Gehls perspektiv på social hållbarhet. Att offra en väl utformad och människocentrerad stadsplanering, med alla dess fördelar, för att åstadkomma tystare miljöer, kan anses vara en förlust lika stor som att bibehålla bullret självt. Ett aktuellt exempel på detta är planhandlingarna till *Kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A-C* (Uppsala kommun 2023b), där bullerskärmar placerats ut varefter de högsta bullernivåerna beräknats vara. Detta utan tydlig beaktning av dess inverkan på människors upplevelser av stadsrummet. Därför är frågeställningen utformad för att införliva Gehls sociala och människocentrerade tillvägagångssätt i den framtida planeringen för bullerreducering.

Det bör noteras att medan Gehl har bidragit signifikant till förståelsen av social hållbarhet, finns det ytterligare dimensioner som behöver utforskas, där metoden i denna undersökning är begränsad. Att enbart utgå från Gehls sociala perspektiv är en avgränsning som innebär en vinkling av vad som betraktas som socialt hållbart, vilket i sin tur påverkat resultatet. I detta arbete har denna avgränsning varit nödvändig men i fortsatt forskning kan det vara fördelaktigt att bredda perspektivet för vad som anses inkluderas i social hållbarhet. Som Folkhälsomyndigheten (2022) beskriver bör den sociala hållbarhetsaspekten inkludera en mängd olika anpassningar utifrån människors varierande behov. Detta utgörs av en komplex väv av faktorer, där många interagerar med varandra på sätt som kan tänkas vara svåra att förutsäga. Att navigera i denna väv och bedöma vad den totala sociala nyttan blir kräver förslagsvis en jämförelse mellan olika åtgärder och deras inverkan. Mot denna bakgrund saknar bullerproblematiken i urbana miljöer en universell lösning utifrån människans heterogenitet. Här kan individuella egenskaper såsom ljus- och ljudkänslighet samt längd i stor grad variera vilket kan utgöra begränsningar som inom ramen för denna studie förblir odiskuterade. Detta till följd av behovet av att använda generella mått. Samtidigt som teoretisering inom sociala frågor är nödvändigt, innebär det oundvikligen generaliseringar av den oftast komplexa och tämligen subjektiva verkligheten. Denna rapport belyser en aspekt av hur design av

bullerskydd kan bidra till social hållbarhet, men ytterligare tester är nödvändiga för att fullständigt förstå de reella konsekvenserna av sådana åtgärder.

Med Gehls principer i åtanke är det även viktigt att kritisera den potentiella vinklingen mot västerländska, bilfria stadsideal, som kanske inte universellt är tillämpbara eller önskvärda i alla stadskontexter. Medan Gehls människocentrerade tillvägagångssätt erbjuder värdefulla insikter i utformningen av offentliga utrymmen, bör en mer inkluderande urbanism som erkänner mångfalden av stadsupplevelser och de varierande behoven hos olika befolkningsgrupper förespråkas.

Vidare kan studien anses innehålla metodologiska begränsningar, inklusive beroendet av sekundärdata och bristen på empirisk testning av specifika bullerreduceringsinterventioner. Trots den breda forskningsbasen som använts i arbetet kan det påpekas att mätningar från olika forskningsstudier skett på olika sätt vilket försvårar sammanställandet av datan. Framtida forskning kan adressera dessa begränsningar genom att införliva primär datainsamling, såsom bullermätningar och samhällsenkäter, för att validera effektiviteten hos olika strategier och kombinationer i verkliga fall.

### 7.3 Etik, samhälle & hållbarhet

Ur ett samhällsperspektiv illustrerar forskningen hur bullerförorening inte bara är ett irritationsmoment utan en betydande hälso- och socialfråga, som oproportionerligt påverkar tätbebyggda stadsmiljöer (WHO 2011). Den genomförda studien utgår därför från detta faktum varpå åtgärder riktas till dessa typer av områden. Resultaten förespråkar således för rättvisa bullerreduktionsinterventioner som prioriterar behoven som uppstår inom de mest utsatta platserna, vilket främjar social rättvisa och inkludering i stadsutvecklingen.

I strävan efter att uppnå ett socialt hållbart samhälle, i enlighet med Folkhälsomyndighetens (2022) definition, samt miljö kvalitetsmålet om *God bebyggd miljö* beskriven av Boverket (2023), förekommer en mängd etiska överväganden som en landskapsarkitekt behöver ta ställning till. Då allmänna ytor skapas för samtliga medborgare bör rimligtvis en inkluderande gestaltning av stadsrum eftersträvas i största möjliga mån, vilket är ett ansvar som delvis hamnar på landskapsarkitekter. I många situationer kan vistelsen på en plats vara en fråga om nödvändighet snarare än valmöjlighet, där utformningen av platsen är någonting som människor oundvikligen upplever. Av detta kan det anses följa ett stort etiskt ansvar hos landskapsarkitekter där människors upplevelser, såväl nödvändiga som rekreationella, behöver beaktas. Som tidigare nämnts kan användning av allmänna teorier inom sociala hållbarhetsfrågor resultera i generaliseringar och antaganden om människors subjektiva upplevelser, vilket kan leda till exkluderande och i vissa fall tämligen oetiskt utformade platser. Barn, rullstolsbundna samt syn- och hörselnedsättning är endast ett fåtal exempel på där etiska ställningstaganden bör beaktas i stadsplaneringen. Forskning inom



samhällsfrågor bör därmed sträva efter att uppnå en så bred och samtidigt detaljerad förståelse för människor och deras individuella preferenser som möjligt.

Det etiska ansvaret kan tyckas omfatta mer än bara människors välbefinnande. I samband med vår gemensamma existens på denna planet med andra arter, uppstår frågor om skyldigheten att även beakta deras behov. Detta kan inkludera dels olika varelsers uppfattning av ljud, men också gestaltningens påverkan på stadslevande arters habitat och livsmiljöer. Denna hänsyn kan i sin tur integreras med den ekologiska aspekten där dessa beaktanden, liksom vegetation beskriven av Gehl (2010:179–180), kan bidra till ökad biologisk mångfald.

## 7.4 Ekologi

Det ekologiska perspektivet har hittills inte behandlats, huvudsakligen för att det främst berör avsnittet om vegetation. Utöver att integrationen av vegetation påvisat en effektiv bullerreducerande förmåga i urban miljö, uppstår även fördelar som temperaturreducering, förbättring av luftkvaliteten samt ökningen av den biologiska mångfalden (Gehl 2010:179–180). Ytterligare bullerreducerande faktorer, såsom varierad vegetation (Akay & Önder 2021:12051), samt fördelarna med städsegröna växter korrelerar också med ökningen av biologisk mångfald där fler växt- och djurarter skulle kunna samspara med staden. Resultatet kring den positiva bullerreducerande förmågan stärker därmed argumentationen kring att använda mer växtlighet vid gestaltningen av urbana miljöer för att följa en mer holistisk hållbarhetssyn.

Som tidigare nämnts i bakgrunden skulle de naturliga ljuden från vegetationen i form av prasslande löv och fågelkvitter även kunna maskera de teknologiska ljuden från bilmotorer (Cerwén 2017:23). Samtidigt som detta skulle innebära en ökning av den totala ljudvolymen anses de naturliga ljuden upplevas som behagliga (Cerwén 2017:24). Användningen av växtlighet kan därför argumenteras utifrån ett hälsoperspektiv, vilket identifierades i inledningen (WHO 2011). Behagligare ljud, bättre luftkvalitet och mer färgvariationer skulle, i och med detta, kunna minska stress och irritation samt hjärt- och lungsjukdomar.

## 7.5 Slutsats

Sammanfattningsvis kan denna forskningsstudie bidra med nya kunskaper och tankesätt till bullerreducering och social hållbar stadsplanering. Genom flertalet exempel på fysiska element och teoretiska perspektiv, föreslår studien effektiva tillvägagångssätt för landskapsarkitekter och stadsplanerare att skapa tysta och mer människocentrerade städer, kopplade till Naturvårdsverkets riktlinjer (Naturvårdsverket 2013:14). Med dagens förtättningsideal av urbana miljöer kan detta resultat ge värdefulla insikter hur vi idag och i framtiden kan ta oss an Boverkets miljö kvalitetsmål *God bebyggd miljö*, för att erbjuda bovänliga livsmiljöer samt en socialt hållbar gestaltning (Boverket 2023).

Dock kvarstår ännu utmaningarna kring huruvida dessa förslag är genomförbara när det gäller de ekonomiska, ekologiska och praktiska aspekterna. Trots att många av förslagen visat sig vara både bullerreducerande och socialt hållbara, återstår frågan hur stort utrymme detta bör ta i gestaltningen av stadsmiljöer. Med begränsad ekonomi samt skilda målsättningar och prioriteringar från olika beställare, vilket utgör några av många aspekter landskapsarkitekten måste beakta, kan reduktionen av buller med stor sannolikhet hamna lite i skymundan. Däremot har denna studie berört många alternativa tillvägagångssätt som också visat sig besitta fler positiva fördelar utöver en socialt hållbar bullerreduktion. Bland annat vegetation som har många ekologiska fördelar, eller jordvallar som effektivt reducerar buller i vindutsatta områden. Med detta sagt skulle en ökad kunskap kring området inom landskapsarkitekturen innebära nya möjligheter för gestaltning och planering av urbana miljöer, där även bullerproblematiken kan inkluderas.

Denna undersökning kring immisionsbaserade bullerreducerande åtgärder är en relativt översiktlig studie. Detta för att dels kunna identifiera problematiken kring trafikbuller, men också för att finna lösningar som enligt Jan Gehl anses sätta människan i fokus. Trots att effektiva lösningar har kunnat identifieras och presenteras, kvarstår många fler aspekter som bör utredas för att uppnå en fullt hållbar stadsplanering där bullerreducerande åtgärder kan implementeras. Med det sagt finns och behövs ytterligare forskning på hur det växande problemet kring buller i stadsmiljöer kan lösas på fler hållbara sätt än det sociala.

## 7.6 Framtida forskning

Studien leder till slutsatsen att framtida forskning bör vara tvärvetenskaplig och integrera aspekter från stadsplanering, akustik, hälsa och psykologi, utöver de tidigare nämnda insikterna. Detta för att ge en mer omfattande förståelse för den komplexa natur trafikbuller har och dess inverkan på människors liv. Dessutom, vilket nämns i metodreflektionen, utgör denna undersökning inte någon universell lösning av samtliga sociala aspekter. Det krävs fortsatta studier dels för att klargöra hela det sociala spektrumet, men också andra diskurser som bemöter gestaltning av stadsmiljöer.

Vidare krävs forskning kring hur dessa resultat ska kunna appliceras i dagens förtätade stadsrum. Ekvationen av att fler funktioner, däribland bullerreducerande element, också bör tillämpas på de allt minskande ytor går inte jämnt ut. Som tidigare visats i planhandlingarna till *Kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka A-C*, är prioriteringarna kring bullerreduktion idag ganska låga. Därav skulle beprövade metoder av de bullerreducerande strategierna behöva finnas som ett ramverk, för att förstå de sammanhang dessa strategier kan tänkas kunna tillämpas. Ramverket skulle kunna fungera som en mall av de alternativa lösningar som platsen i fråga kan erbjuda, där de olika lösningarna kategoriseras utifrån deras tillämpbarhet, kopplade till värdediskurser inom ekologi och estetik.

Studien är begränsad såtillvida att den enbart fokuserar på immissionbegränsade bulleråtgärder, i enlighet med studiens syfte att bland annat frambringa lösningar applicerbara på redan befintliga gestaltningar. Däremot spelar även emissionsbegränsade strategier en viktig roll i bekämpning av trafikbuller, vilket understryker vikten av vidare forskning även avseende dessa bulleråtgärder, var förslagsvis bilfria stadskärnor och tystare fordon inkluderas som alternativa lösningar.

Med varje strategis unika fördelar och begränsningar, kan deras kombinerade tillämpning leda till betydande förbättringar i stadsmiljön. Trots att denna studie kortfattat behandlar kombinerade lösningar såsom vegetationsklädda bullerskärmar, och att Hosanna undersöker kombinerade bullerreducerande strategier, behövs ytterligare forskning kring den totala mängden buller som faktiskt reduceras när förutsättningarna på platsen förändras

## 8. Referenser

### Bildreferenser

- Försättsblad. Ahlström, H. (2024). Bullerutsatt stadsmiljö. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-03-17]
- Figur 1. Ahlström, H. (2024). Ljudvågor. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-29]
- Figur 2. Ahlström, H. (2024). Grön tracé. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-28]
- Figur 3. Ahlström, H. (2024). Olika typer av ljud. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-29]
- Figur 4. Ahlström, H. (2024). Fotgängares synfält. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-03-17]
- Figur 5. Ahlström, H. (2024). Skiftande form på bullerskärmar. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-28]
- Figur 6. Ahlström, H. (2024). Cylindrar med refraktiva ljudkristaller. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-28]
- Figur 7. Ahlström, H. (2024). Jordvall. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-03-17]
- Figur 8. Ahlström, H. (2024). Markbearbetning av skiftande material. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-03-17]
- Figur 9. Ahlström, H. (2024). Korsplantering och radplantering. [Egen illustration gjord i Illustrator]. [2024-02-29]

### Bokreferenser

- Gehl, J. 2010. *Cities for People*. Washington, DC: Island Press.  
[https://umranica.wikido.xyz/repo/7/75/Cities\\_For\\_People\\_-\\_Jan\\_Gehl.pdf](https://umranica.wikido.xyz/repo/7/75/Cities_For_People_-_Jan_Gehl.pdf)  
[2024-02-23]
- Gehl, J. 1987. *Life Between Buildings: Using Public Space*. Köpenhamn: Danish Architectural Press.  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/slub-ebooks/reader.action?docID=3317590>  
[2024-02-23]

### Webbsidor

- Akay, A., Önder, S. (2021). Environment, Development and sustainability - *An acoustical landscaping study* ( Vol 24. page. 12036-12058). Springer.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01930-y> [2024-02-22]
- Hosanna. (2013). *Summary Brochure January 2013*. [Broschyr].  
[http://www.hosanna.bartvanderaa.com/includes/upload/DELIVERABLES/HSNN\\_A\\_SUMMARY\\_BROCHURE\\_JANUARY\\_2013HQ.pdf](http://www.hosanna.bartvanderaa.com/includes/upload/DELIVERABLES/HSNN_A_SUMMARY_BROCHURE_JANUARY_2013HQ.pdf) [2024-01-25].
- Attenborough, K. Bashir, I., Hill, T., Taherzadeh, S., Defrance, J., Jean, P. (2014) *Noise reduction using surface roughness*. Environmental methods for transport noise reduction, eds. M. E. Nilsson, R. Klæboe, and J. Bengtsson. Oxford, U.K.: Spon Press 2014 Chapter 6.  
[https://www.researchgate.net/publication/309644485\\_Noise\\_reduction\\_for\\_surface\\_roughness](https://www.researchgate.net/publication/309644485_Noise_reduction_for_surface_roughness) [2024-02-15]

- Boverket. (2021). *Reglering av buller*.  
<https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/ekosystemtjanster/verktvg/rakna/buller/> [2024-01-25]
- Boverket. (2023). Sveriges miljömål - *God bebyggd miljö*.  
<https://www.sverigemiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/> [2024-02-15]
- Burton, K., Pinckney, J., Kubitz, J., Miller, J., Burris, M. (2016). *Earthen berm noise reduction analysis*. <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/32016> [2024-02-03].
- Cerwén, G. (2016). *Urban Soundscapes: A Quasi-experimental Study on How Soundscapes Affect People's Well-being*. Sveriges lantbruksuniversitet. Epsilon.  
[https://pub.epsilon.slu.se/14586/3/Cerwén\\_g\\_170927.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/14586/3/Cerwén_g_170927.pdf) [2024-01-24]
- Fan, Y., Zhiyi, B., Zhuyun, Z. Jiani, L. (2010). *The Investigation of Noise Attenuation by Plants and the Corresponding Noise-Reducing Spectrum* - Vol. 72, No.8. JSTOR - Journal of Environmental Health. <https://www.jstor.org/stable/26328102?seq=8> [2024-02-22]
- Hannah, L. N. (2007). *Wind and Temperature Effects on Sound Propagation*. New Zealand Acoustics Vol. 20.  
[https://www.acoustics.org.nz/sites/www.acoustics.org.nz/files/journal/pdfs/Hannah\\_L\\_NZA2007\\_\(a\).pdf](https://www.acoustics.org.nz/sites/www.acoustics.org.nz/files/journal/pdfs/Hannah_L_NZA2007_(a).pdf) [2024-01-25].
- Folkhälsomyndigheten. (2022). *Vad är social hållbarhet för oss?*  
<https://www.folkhalsomyndigheten.se/motesplats-social-hallbarhet/social-hallbarhet/> [2024-03-06]
- Fredianelli, L., Ginerva del Pizzo, L., Licitra, G. (2019). *Recent Developments in Sonic Crystals as Barriers for Road Traffic Noise Mitigation*. *Environments* 2019, 6(2). MDPI <https://doi.org/10.3390/environments6020014> [2024-02-07]
- Kang, J., Mengmeng, L. (2018). *Plant Species Selection Based on Leaf Vibration Experiments*. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 371 012038.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/371/1/012038/pdf> [2024-02-22]
- Laxmi, V., Thakre, C., Vijay, R. (2021) *Evaluation of noise barriers based on geometries and materials: a review*. *Environ Sci Pollut Res* 29, 1729–1745 (2022).  
<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16944-2> [2024-01-27].
- Li, Q., Duhamel, D., Luo, Y., Yin, H. (2020) *Analysing the acoustic performance of a nearly-enclosed noise barrier using scale model experiments and a 2.5-D BEM approach*. *Applied acoustics*. Vol 158.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X19303469> [2024-01-27].
- Naturvårdsverket. (2013). *Handbok för bullerutredningar*.  
<https://www.naturvardsverket.se/4ac336/globalassets/media/publikationer-pdf/5700/978-91-620-5709-x.pdf> [2024-01-24].
- Naturvårdsverket (2007). *Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer - God ljudmiljö*. (ISSN 0282-7298 ; 5709). DiVA.  
<https://www.naturvardsverket.se/4ac336/globalassets/media/publikationer-pdf/5700/978-91-620-5709-x.pdf> [2024-01-28]
- Naturvårdsverket (2005). *Ljudkvalitet i natur- och kulturmiljöer - Upplevd ljudmiljö i stadsnära grönområden och stadsparker*. (ISSN 0282-7298 ; 5442). DiVA.  
<https://naturvardsverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1638428/FULLTEXT01.pdf> [2024-01-28]
- Nationalencyklopedin (u.å.) *Refraktion*. Uppslagsverket.  
<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/refraktion> [2024-03-04]
- Norconsult (2022). *Uppsala Kapacitetsstark Kollektivtrafik - Buller - Uppdaterade ljudutbredningsberäkningar och fastighetsinventering*. (Uppdragsnr: 107 55 94). Uppsala kommun.

- <https://www.uppsala.se/contentassets/816ce04907e74b33a4ea1930b1649904/bullerutredning-25-augusti-2022.pdf> [2024-01-28]
- Olov Aronson. (2023). *Kvantitativ metod*. Kvantila.  
<https://www.kvantila.com/kvantitativ-metod> [2024-03-06]
- SKL (2015). *Trafik för en attraktiv stad* – underlag till handbok.  
[https://bransch.trafikverket.se/contentassets/347f069e6d684bfd85b85e3a3593920f/trast3\\_underlag\\_till\\_handbok.pdf](https://bransch.trafikverket.se/contentassets/347f069e6d684bfd85b85e3a3593920f/trast3_underlag_till_handbok.pdf) [2024-02-01]
- Trafikverket. (2023). *Fakta om buller och vibrationer*.  
<https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/buller-och-vibrationer---for-dig-i-branschen/Fakta-om-buller-och-vibrationer/matt-for-ljudnivaer/> [2024-01-24].
- Trafikverket (2015). *Trafik för en attraktiv stad*. Trafikverket. Underlag för handbok. Utgåva 3.  
[https://bransch.trafikverket.se/contentassets/347f069e6d684bfd85b85e3a3593920f/trast3\\_underlag\\_till\\_handbok.pdf](https://bransch.trafikverket.se/contentassets/347f069e6d684bfd85b85e3a3593920f/trast3_underlag_till_handbok.pdf) [2024-01-25].
- Uppsala kommun (2023a). Miljökonsekvensbeskrivning - *detaljplan för kapacitetsstark kollektivtrafik delsträcka a-c*. (Diarienummer PBN 2019-002806). Uppsala kommun.  
<https://www.uppsala.se/contentassets/816ce04907e74b33a4ea1930b1649904/miljokonsekvensbeskrivning-4-maj-2023.pdf> [2024-01-28]
- Uppsala kommun (2023b). Planbeskrivning - *Detaljplan för kapacitetsstark kollektivtrafik, delsträcka a-c*. (Diarienummer PBN 2019-002806). Uppsala kommun.  
<https://www.uppsala.se/contentassets/816ce04907e74b33a4ea1930b1649904/planbeskrivning2.pdf> [2024-01-24]
- Uppsala Kommun. (2018). *Åtgärdsprogram mot omgivningsbuller*.  
<https://www.uppsala.se/contentassets/c3e4dd01a565486ab50fe456f1b60ca0/1-atgardsprogram-mot-omgivningsbuller.pdf> [2024-01-24]
- Vislander, F. (u.å.). Fysik 2 - *Pulser och vågrörelser*. Eddler.  
<https://eddlar.se/lektioner/pulser-och-vagrorelser/> [2024-02-23]
- World Health Organization. (2019). *Guidelines for Community Noise*.  
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/326424/9789289002295-eng.pdf?sequence=1> [2024-01-24]

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.
  
- JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.
  
- NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.