Linköpings universitet/Linköping University | ITN
Exjobbsrapport, 16 hp/Kandidatarbete | Högskoleingenjörsprogram i byggnadsteknik
VT 2025 | LiU-ITN-TEK-G--26/001—SE

Tystare vägar: En studie av tekniska åtgärder för att minska buller från vägtrafik

Quieter Roads: A Study of Technical Measures to Reduce Traffic Noise

Eldi Yusupov, ahmys306@student.liu.se

Handledare, Nour Abasi

Examinator, Osama Hassan

LINKÖPINGS UNIVERSITET

Upphovsrätt

Detta dokument hålls tillgängligt på Internet – eller dess framtida ersättare – under 25 år från publiceringsdatum under förutsättning att inga extraordinära omständigheter uppstår.

Tillgång till dokumentet innebär tillstånd för var och en att läsa, ladda ner, skriva ut enstaka kopior för enskilt bruk och att använda det oförändrat för ickekommersiell forskning och för undervisning. Överföring av upphovsrätten vid en senare tidpunkt kan inte upphäva detta tillstånd. All annan användning av dokumentet kräver upphovsmannens medgivande. För att garantera äktheten, säkerheten och tillgängligheten finns lösningar av teknisk och administrativ art.

Upphovsmannens ideella rätt innefattar rätt att bli nämnd som upphovsman i den omfattning som god sed kräver vid användning av dokumentet på ovan beskrivna sätt samt skydd mot att dokumentet ändras eller presenteras i sådan form eller i sådant sammanhang som är kränkande för upphovsmannens litterära eller konstnärliga anseende eller egenart. För ytterligare information om Linköping University Electronic Press se förlagets hemsida https://ep.liu.se/ .

Copyright

The publishers will keep this document online on the Internet – or its possible replacement – for a period of 25 years starting from the date of publication barring exceptional circumstances.

The online availability of the document implies permanent permission for anyone to read, to download, or to print out single copies for his/hers own use and to use it unchanged for non-commercial research and educational purpose. Subsequent transfers of copyright cannot revoke this permission. All other uses of the document are conditional upon the consent of the copyright owner. The publisher has taken technical and administrative measures to assure authenticity, security and accessibility.

According to intellectual property law the author has the right to be mentioned when his/her work is accessed as described above and to be protected against infringement. For additional information about the Linköping University Electronic Press and its procedures for publication and for assurance of document integrity, please refer to its www home page: https://ep.liu.se/.

© År/Year Författar(ens/nas) namn / Author(s) name

Välj licens/Choose licence.

SAMMANFATTNING

Denna rapport undersöker olika tekniska lösningar för att minska buller från vägtrafik i svenska förhållanden. Trafikbuller är ett växande miljöproblem som påverkar miljontals människor i Sverige och kan leda till sömnstörningar, stress, hjärt-kärlsjukdomar och nedsatt livskvalitet. Syftet med studien är att utvärdera effektivitet, hållbarhet och anpassningsbarhet hos etablerade bullerreducerande metoder såsom tyst asfalt, bullerskärmar och vegetationsbaserade barriärer.

Arbetet bygger på en kvalitativ litteraturstudie kompletterad med två fallstudier: Uppsala kommuns bullerhandlingsplan och Trafikverkets åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024–2028. Resultaten visar att tyst asfalt kan reducera buller med cirka 3–5 dB(A), men att dess prestanda försämras i kalla klimat på grund av igensättning och slitage. Bullerskärmar ger den mest pålitliga reduktionen, 5–10 dB(A), men kräver utrymme och underhåll. Vegetationsbaserade lösningar har en begränsad ljuddämpande effekt (2–5 dB(A)), men ger betydande miljömässiga och estetiska fördelar.

Studien drar slutsatsen att en kombination av tekniska och naturbaserade åtgärder, anpassade till lokala klimat- och trafikförhållanden, är mest effektiv för långsiktig bullerreduktion. En integrerad bullerhantering som förenar teknik, stadsplanering och miljöhänsyn är avgörande för en hållbar och tystare stadsutveckling i framtiden.

ABSTRACT

This report investigates technical solutions for reducing road traffic noise under Swedish conditions. Traffic noise is one of the most widespread environmental problems in urban areas, affecting millions of people and contributing to sleep disturbances, cardiovascular diseases, and reduced quality of life. The aim of this study is to evaluate the efficiency, durability, and adaptability of established noise reduction measures such as low-noise asphalt, noise barriers, and vegetation-based solutions.

The research is based on a qualitative literature review combined with two case studies: Uppsala Municipality's Noise Action Plan and the Swedish Transport Administration's Action Programme for Road Traffic Noise 2024–2028. The results show that low-noise asphalt can reduce sound levels by approximately 3–5 dB(A), although its long-term performance decreases in cold climates due to clogging and wear. Noise barriers provide the most consistent reduction (5–10 dB(A)) but require space and maintenance. Vegetation-based solutions offer limited acoustic performance (2–5 dB(A)) but significant environmental and aesthetic benefits.

The study concludes that combining technical and nature-based measures, adapted to local climate and traffic conditions, is the most effective strategy for long-term noise reduction. Integrated noise management that links engineering, urban planning, and environmental considerations is essential for achieving sustainable and quieter urban development in Sweden.

FÖRORD

Detta examensarbete har genomförts under vårterminen 2025 vid Linköpings universitet, Institutionen för teknik och naturvetenskap (ITN), inom ramen för högskoleingenjörsprogrammet i byggnadsteknik. Arbetet omfattar 16 högskolepoäng och behandlar tekniska åtgärder för att minska buller från vägtrafik, ett ämne med stor betydelse för både samhällsplanering och människors livskvalitet.

Arbetet har gett mig möjligheten att fördjupa mig i ett område där teknik, miljö och hälsa möts. Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Nour Abasi för värdefull vägledning, konstruktiva synpunkter och stöd genom hela processen. Ett varmt tack riktas även till min examinator Osama Hassan för givande återkoppling och inspiration till vidare reflektion.

Jag vill också tacka alla de myndigheter och organisationer vars rapporter och offentliga dokument har legat till grund för denna studie, särskilt Trafikverket och Uppsala kommun, vars arbete med bullerreducering har bidragit med viktiga insikter.

Slutligen vill jag tacka min familj och mina vänner för deras stöd, tålamod och uppmuntran under arbetets gång.

Norrköping, maj 2025

Eldi Yusupov

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING 2
ABSTRACT 3
FÖRORD 4
INNEHÅLLSFÖRTECKNING 5
BEGREPPSFÖRKLARING 7
1. INLEDNING 8
1.1 Problembeskrivning 8
1.2 Syfte 9
1.3 Mål 9
1.4 Frågeställningar 9
1.5 Avgränsningar 10
2. TEORI 11
2.1 Buller från vägtrafik – Källor och egenskaper 11
2.2 Tekniska lösningar för bullerreducering 13
2.2.1 Bullerreducerande beläggningar 13
2.2.2 Bullerskärmar och akustiska barriärer 16
2.2.3 Gröna barriärer 18
2.3 Framtida innovationer 19
2.4 Ökad trafik och stadsutbredning orsakar omfattande bullerstörningar i Sverige 20
2.5 Hälsans påverkan av buller 21
3. GENOMFÖRANDE 23
3.1 Litteraturstudie 23
3.2 Fallstudier 24
3.3 Kritik av metoden 24
3.3.1 Val av metod 24
3.3.2 Validitet, reliabilitet och generaliserbarhet i studien 25
3.4 Generativ AI 26
4. RESULTAT 28
4.1 Bullerreducerande åtgärder 28
4.2 Fallstudie: Uppsala kommuns bullerhandlingsplan 29
4.2.1 Tystare vägbeläggning – från teori till verklighet 29
4.2.2 Bullerskydd för skolor och bostäder – tekniska barriärer i människonära miljöer 30
4.2.3 Gröna lösningar – begränsad bullerdämpning men bredare miljönytta 30
4.3 Fallstudie: TVs åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024-2028 31
4.3.1 Inledning och bakgrund 31

4.3.2 Kartläggning av buller och vibrationer....32
4.3.3 Genomförda åtgärder och resultat 2019–2023....33
4.3.4 Planerade åtgärder 2024–2028....34
5. ANALYS....37
5.1 Dataanalys....37
Tabell 2: Sammanställning av bullerreducerande åtgärder och deras effekt (dB(A))....38
5.2 Mest effektiva tekniska lösningar för att minska buller från vägtrafik, och deras implementering i svensk infrastruktur....38
5.3 Tekniska utmaningar vid implementering av bullerdämpande åtgärder....39
6. SLUTSATS....42
6.1 Övergripande slutsatser....42
6.2 Effektivitet hos tekniska lösningar....42
6.3 Utmaningar och begränsningar....43
6.4 Rekommendationer för framtiden....43
7. DISKUSSION....44
7.1 Integrerad bullerhantering som väg mot hållbar stadsutveckling....44
7.2 Kritik av arbetet....45
7.3 Förslag på vidare forskning....46
REFERENSER....47

BEGREPPSFÖRKLARING

Förkortning	Fullständig benämning	Förklaring / Kontext
L_den	*Day-Evening-Night Equivalent Level*	Viktat genomsnitt av bullernivå över dygnet; +5 dB kväll, +10 dB natt. Används som EU-standard för bullerkartläggning.
L_night	*Night Equivalent Level*	Genomsnittlig bullernivå under natten (kl. 23–07). Viktigt mått för sömnstörningar.
Leq24h	*Equivalent Continuous Sound Level over 24 hours*	Ekvivalent ljudnivå under ett dygn utan tidsviktning. Vanligt i svenska bullerutredningar.
dB(A)	*A-vägd decibel*	En ljudnivåenhet anpassad till människans hörsel. Vanlig vid bullermätning.
NMT96	*Nordic Method for Train Noise Prediction 1996*	Modell för beräkning av järnvägsbuller i Norden.
Nord96	*Nordic Prediction Method 1996*	Modell för beräkning av vägtrafikbuller i Norden.

1. INLEDNING

Trafikbuller är ett av de mest utbredda miljöproblemen i tätbebyggda områden, med betydande negativa effekter på människors hälsa och välbefinnande. Enligt European Environment Agency (2020) påverkas över 100 miljoner människor inom EU av vägtrafikbuller som överskrider rekommenderade gränsvärden, vilket motsvarar över 20% av EU:s befolkning. I Sverige uppskattas cirka två miljoner människor vara exponerade för vägtrafikbuller över riktvärdet 55 dB(A), motsvarande ungefär 16.5% av befolkningen (Naturvårdsverket, 2024).

Forskning visar att långvarig exponering för buller kan leda till allvarliga hälsoproblem, såsom sömnstörningar, hjärt-kärlsjukdomar, stressrelaterade besvär och nedsatt kognitiv utveckling hos barn (World Health Organization, 2019). Dessa konsekvenser gör det angeläget att minska bullernivåerna i vårt samhälle, särskilt i bostadsnära miljöer där människor tillbringar stora delar av sin tid. Under de senaste decennierna har ett flertal tekniska och naturbaserade lösningar för bullerreducering utvecklats och prövats, bland annat tyst asfalt, bullerskärmar, vegetationsbarriärer och kombinationer av dessa. Dessa åtgärder har visat varierande grad av framgång i olika länder och klimatzoner. Trots framsteg på området kvarstår viktiga frågor kring hur effektiva och långsiktigt hållbara dessa lösningar är under svenska förhållanden.

1.1 Problembeskrivning

Buller från vägtrafik är ett komplext problem som kräver en mångfacetterad lösning. Tidigare studier har identifierat olika tekniker för bullerreducering, men det råder osäkerhet kring vilka av dessa som är mest effektiva och hållbara i svenska förhållanden. Exempelvis har porös asfalt visat lovande resultat i andra länder (Ahmed, 2015), men dess långsiktiga prestanda under svenska klimatförhållanden är inte fullt utredd. Likaså saknas det tydliga riktlinjer för hur kombinationer av olika åtgärder, som bullerskärmar och gröna barriärer, kan optimeras för att maximera bullerreduceringen.

Trots att tekniska lösningar för bullerreducering, såsom tyst asfalt, bullerskärmar och växtbaserade barriärer, har utvecklats och testats i olika kontexter, finns det fortfarande kunskapsluckor när det gäller deras effektivitet och genomförbarhet under svenska förhållanden. Klimatet, vinterväghållningen och trafikvolymen i Sverige ställer unika krav på bullerdämpande åtgärder, vilket gör det nödvändigt att undersöka dessa lösningar närmare i en svensk kontext. Denna osäkerhet i kombination med Sveriges unika klimat, vinterväghållning och trafikmönster gör det nödvändigt att närmare undersöka vilka bullerdämpande metoder som lämpar sig bäst i

en svensk kontext. Studien kommer att analysera åtgärder såsom porös asfalt, bullerskärmar och vegetationsbaserade barriärer, både var för sig och i kombination, för att identifiera vilka metoder som erbjuder bäst bullerdämpning i tätbebyggda miljöer.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka och utvärdera olika tekniska lösningar för att minska vägtrafikbuller inom svensk infrastruktur, med särskilt fokus på deras effektivitet, hållbarhet och anpassningsbarhet till svenska klimat- och trafikförhållanden. Vidare syftar studien till att ta fram underlag som kan användas av vägplanerare, kommuner och myndigheter i det praktiska arbetet med att utforma, implementera och underhålla bullerreducerande åtgärder. Genom att integrera befintlig forskning med fallstudier och klimatdata för Sverige, strävar studien efter att bidra till utvecklingen av evidensbaserade riktlinjer och rekommendationer som stärker både den akademiska diskursen och det operativa arbetet med bullerbekämpning.

1.3 Mål

Målet med denna studie är att undersöka vilka tekniska lösningar som är mest effektiva för att minska buller från vägtrafik, med särskilt fokus på bullrets ursprung och påverkan på omgivningen. Studien syftar även till att identifiera utmaningar vid implementering av bullerdämpande åtgärder i verkliga infrastrukturprojekt, inklusive praktiska och miljömässiga begränsningar. Ett delmål är att utvärdera hur befintliga tekniska lösningar, såsom tyst asfalt, bullerskärmar och vegetationsbarriärer, presterar under varierande förhållanden. Studien ska också bidra med kunskap om hur olika åtgärder kan kombineras för att uppnå synergieffekter och därmed ökad bullerreducering. Slutligen är målet att ta fram rekommendationer för hur bullerdämpande åtgärder kan anpassas och implementeras långsiktigt inom ramen för svensk väginfrastruktur och miljölagstiftning.

1.4 Frågeställningar

1. Vilka tekniska lösningar är mest effektiva för att minska buller från vägtrafik, och hur kan de implementeras i svensk infrastruktur?
2. Vilka tekniska utmaningar finns vid implementering av bullerdämpande åtgärder?

1.5 Avgränsningar

Denna studie avgränsas till att enbart omfatta buller genererat av vägtrafik, vilket inkluderar personbilar, lastbilar och bussar på allmänna vägar. Vidare fokuserar studien på utomhusmiljöer och inkluderar således inte bullerreducerande åtgärder för inomhusmiljöer, exempelvis fönsterisolering eller byggnadstekniska lösningar för ljuddämpning inomhus. En ytterligare avgränsning är att studien endast analyserar etablerade tekniska lösningar som redan används i praktiken, såsom tyst asfalt, bullerskärmar och vegetationsbarriärer. Studien är geografiskt och klimatmässigt avgränsad till svenska förhållanden, vilket innebär att resultaten främst är relevanta inom denna kontext och inte nödvändigtvis applicerbara i andra länder eller klimatzoner. Ekonomiska överväganden, såsom kostnadseffektivitet eller investeringskalkyler, behandlas inte inom ramen för denna undersökning. Slutligen omfattar studien inte effekter av buller på djurliv eller ekosystem, utan fokuserar enbart på påverkan på människors närmiljö.

2. TEORI

Teorikapitlet syftar till att ge en bakgrund och en vetenskaplig ram för studiens fokus på bullerreducerande åtgärder inom vägtrafiken. Här presenteras först de grundläggande mekanismerna bakom buller från vägtrafik, dess källor och akustiska egenskaper, vilket är nödvändigt för att förstå varför olika typer av åtgärder fungerar på skilda sätt. Därefter behandlas de tekniska lösningar som utvecklats för att minska bullernivåerna, såsom bullerreducerande vägbeläggningar, bullerskärmar och gröna barriärer. Dessa kompletteras med en diskussion om framtida innovationer, där bland annat digitala och AI-baserade lösningar kan komma att spela en viktig roll. Vidare sätts problematiken in i en samhällelig kontext genom att belysa hur ökad trafik och stadsutbredning har bidragit till omfattande bullerstörningar i Sverige. Slutligen redogörs för bullrets påverkan på människors hälsa, där både fysiologiska och psykologiska konsekvenser diskuteras. Kapitlet utgör därmed den teoretiska grund som resultaten och analysen i senare delar av rapporten bygger vidare på.

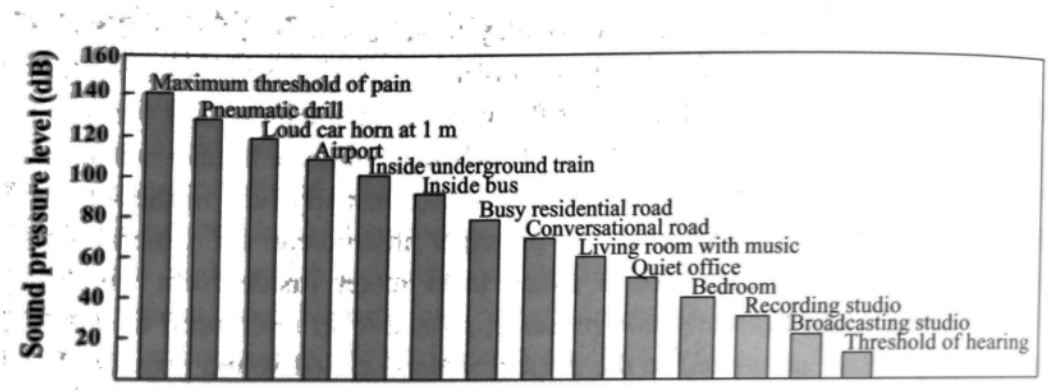
2.1 Buller från vägtrafik – Källor och egenskaper

Buller definieras som oönskade eller störande ljud som kan påverka människors hälsa och välbefinnande negativt. Det kan leda till stress, koncentrationssvårigheter, sömnproblem och i värre fall även hörselskador (Hassan, 2009). Ofta uppstår buller som en oavsiktlig bieffekt av mänskliga aktiviteter, särskilt inom transport och industri. Exempelvis är trafikbuller från bilar, tåg och flygplan vanliga källor, liksom ljud från byggarbetsplatser eller maskiner i drift. Eftersom buller inte bara påverkar individer utan även bidrar till en försämrad ljudmiljö i samhället, ses det som en form av miljöförstöring som behöver begränsas och hanteras (Naturvårdsverket, 2024).

När man bedömer buller som en miljöfaktor bör man utgå från att människan i grunden är anpassad för en tyst omgivning. Bullrets påverkan på människan kallas för effekt eller respons och kan yttra sig som hörselskador, sömnproblem, försämrad inlärningsförmåga och nedsatt prestation. Hur individer påverkas varierar dock från person till person. För att minska ljudnivåerna bör buller få en mer central roll i stadsplaneringen. Det kan till exempel handla om att införa gränsvärden för hur höga ljudnivåer kan vara. Myndigheter brukar beskriva buller i A-vägd decibel, dB(A), vilket är en enhet som tar hänsyn till hur människans hörsel uppfattar olika frekvenser, låga och höga ljud viktas olika (Boverket, 2024).

Vägtrafikbuller genereras främst av två källor: däck-vägbana-interaktion och fordonsmotor (Blom, 2004). Däckbuller, som uppstår när däck rullar på vägytan, dominerar vid hastigheter över 30–40 km/h, medan motorljud är mer framträdande vid lägre hastigheter (Cesbron & Klein, 2017). Buller kan klassificeras efter frekvens (låg- vs. högfrekvent) och spridningsmönster, vilket påverkar valet av bullerdämpande åtgärder (Didkovskyi et al., 2020).

Buller uppstår antingen som luftburet buller, som sprids genom luften (t.ex. samtal eller musik), eller som strukturburet buller, som är ljud som sprids genom byggnadens konstruktion snarare än genom luften. Det uppstår från vibrationer orsakade av exempelvis fotsteg, tvättmaskiner, diskmaskiner eller ljudsystem. Denna typ av buller upplevs ofta som mer störande än luftburet ljud, eftersom det vanligtvis har en låg frekvens och kan kännas som en djup vibration (Hassan, 2009). Buller uppstår oftast när hårda ytor vibrerar utan tillräckligt ljudabsorberande material. Bullerindex bedöms utifrån ljudets frekvens, varaktighet, styrka och hur det fördelas över tid. Det kan komma från olika källor och variera i olika miljöer. Olika ljudkällor som vägtrafik, spårtrafik, fläktar och kompressorer kan upplevas som mer störande tillsammans än var för sig, även om den A-vägda ljudnivån är densamma. Det beror på att olika ljudkaraktärer påverkar upplevelsen. Ibland kan ett ljud maskera ett annat och minska störningen. När flera ljudkällor kombineras bör man noga överväga åtgärder med hänsyn till helheten. Ur ett juridiskt perspektiv är det utmanande att ställa krav på enskilda verksamheter om bullernivåerna inte överskrider fastställda gränsvärden (Folkhälsomyndigheten, 2014). Figur 1 illustrerar olika ljudnivåer för vanliga ljudkällor.

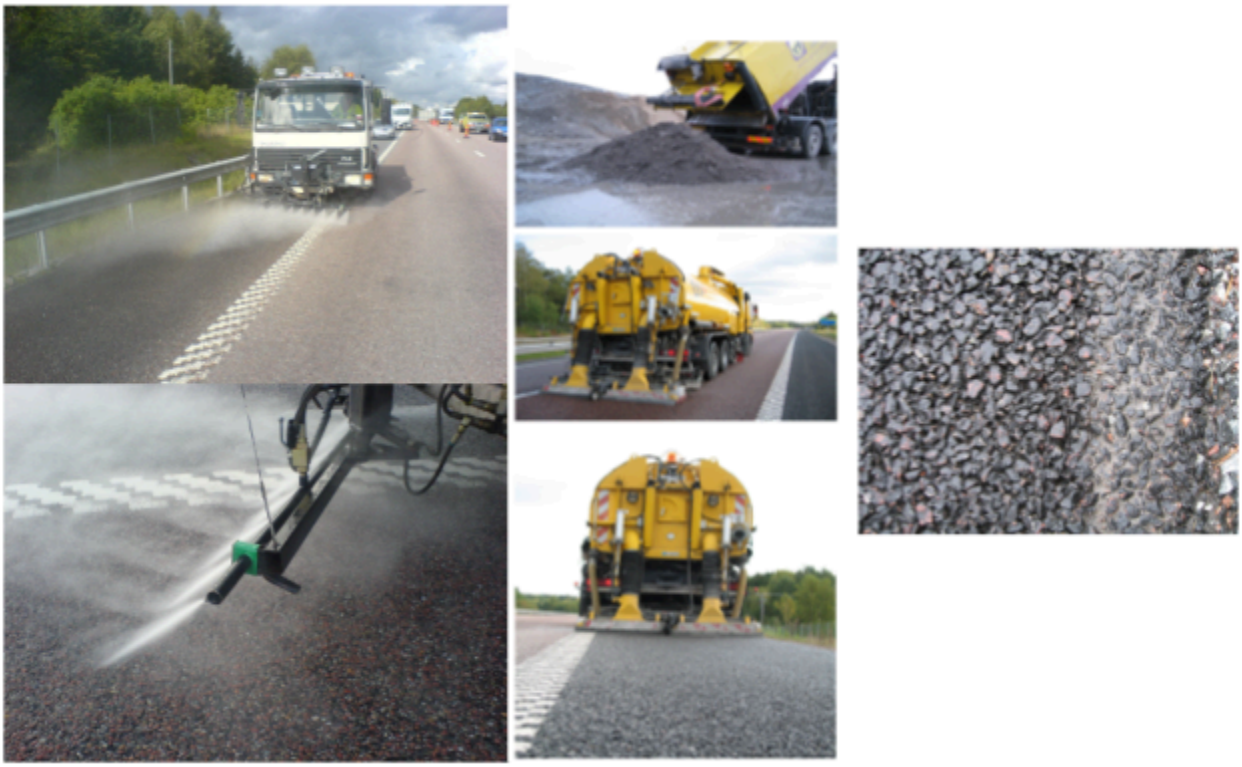


Figur 1: *Illustration olika ljudnivåer i decibel (dB) för vanliga ljudkällor, från de högsta ljudnivåerna, som "maximum threshold of pain" (maximalt smärtgräns), till de lägsta, som "threshold of hearing" (hörseltröskel). Ljudkällor som pneumatiska borrar, ljudet från en bilhorn, och tåg i tunnelbana är exempel på höga ljudnivåer, medan ljud från en tyst kontorsmiljö eller ett sovrum representerar lägre ljudnivåer.* (Hassan, 2009)

2.2 Tekniska lösningar för bullerreducering

För att minska vägtrafikbuller har ett flertal tekniska lösningar utvecklats och implementerats i olika delar av världen. Dessa åtgärder syftar till att dämpa ljudet vid källan, längs vägen. I detta avsnitt presenteras några av de vanligaste tekniska metoderna för bullerreducering inom vägtrafikinfrastruktur, med särskilt fokus på deras funktion, användningsområden och relevans för svenska förhållanden. Sådana lösningar kan exempelvis bestå av tyst asfalt, bullerskärmar eller barriärer baserade på vegetation.

2.2.1 Bullerreducerande beläggningar



Figur 2: *Spolutrustning för rengöring av bullerreducerande asfalt på E18 och E4. Utrustningen som visas har hämtats från bland annat Holland och Norge för att utvärderas inom Skanskas koncept "Tyst Asfalt".* (Nilsson, 2009)

Vägbeläggningar som är särskilt utformade för att minska buller från vägtrafik, framför allt så kallad tyst asfalt, har visat sig vara en av de mest effektiva metoderna för att reducera buller vid källan, det vill säga i direkt anslutning till ljudets uppkomst. Denna typ av asfalt innefattar främst porös asfalt och dubbelporös asfalt, som båda har en struktur med luftfyllda porer. Dessa porer

fungerar som ljudabsorberande håligheter, vilket minskar ljudreflektioner från vägytan och dämpar bullret som uppstår vid kontakten mellan däck och vägbana. Enligt fältstudier kan dessa beläggningar sänka ljudnivån med omkring 3–5 dB(A) jämfört med konventionella täta asfaltbeläggningar, en reduktion som motsvarar en halvering av den upplevda bullernivån för det mänskliga örat (Ministry of Transport – Denmark, 2005).

En av de största fördelarna med tyst asfalt är dess bullerreducerande effekt utan att påverka trafikflödet eller kräva fysiska installationer som bullerskärmar. Det gör tekniken särskilt användbar i tätbebyggda miljöer där utrymme för skärmar eller barriärer kan vara begränsat. Ytterligare en fördel är att bullerreduktionen sker direkt vid källan, vilket innebär att både omgivningen och trafikanterna själva gynnas av lägre ljudnivåer. Den visuella påverkan är också minimal, vilket kan vara viktigt ur stadsbilds- och landskapsperspektiv. I kombination med andra åtgärder, som exempelvis bullerskärmar, kan tyst asfalt ge en synergistisk effekt och ytterligare sänka bullernivåerna. Trots sina fördelar är tyst asfalt inte utan begränsningar, särskilt i ett nordiskt klimat. En central utmaning är att porerna i asfalten med tiden riskerar att sättas igen av smuts, partiklar, snö och is, särskilt under vintern, vilket kan minska den bullerdämpande effekten markant. I Sverige, där vinterväghållning med sandning, saltning och plogning är vanligt, kan detta leda till snabb försämring av asfaltens ljudabsorberande egenskaper (Bichajło och Kołodziej, 2018).

Därutöver kräver tyst asfalt mer frekvent underhåll än traditionella beläggningar, både för att behålla sina bullerdämpande egenskaper och för att förlänga livslängden, se Figur 2. Underhållskostnaderna är därmed ofta högre. Porösa beläggningar har även visat sig vara mer känsliga för mekaniskt slitage, vilket kan förkorta deras livslängd vid hög trafikbelastning eller tung trafik. Bullerdämpande vägbeläggningars effektivitet, särskilt porös asfalt, påverkas i hög grad av yttre faktorer. I svenska klimatförhållanden med kalla vintrar uppstår flera utmaningar. Forskning visar att snö och is gradvis kan blockera de luftfyllda porerna i asfalten, vilket inte bara försämrar dess ljudabsorberande förmåga utan också dess vattendränande funktion. Ytterligare komplicerande är risken för frostskador i äldre beläggningar vid långvarig kyla. För att motverka dessa effekter krävs ett omfattande vinterunderhållsprogram med bland annat ökad saltning och regelbundna kontroller för att säkerställa att beläggningen behåller sina bullerdämpande egenskaper över tid (Conference of European Directors of Roads, 2017).

Trafikens sammansättning och hastighet spelar en avgörande roll för bullergenereringen från vägbeläggningar. När fordonens hastighet eller vikt ökar, sker en markant ökning av bullernivåerna från däck-vägkontakten. Särskilt tunga lastbilar bidrar till högre ljudnivåer, där mätningar visar en tydlig korrelation mellan ökad hastighet och ökad bullerproduktion. Denna effekt gör att bullerdämpande beläggningars prestanda kan variera avsevärt beroende på

trafikmängd och fordonssammansättning. Därför är det avgörande att ta hänsyn till dessa faktorer vid val av vägbeläggning för att uppnå optimal bullerreduktion (Winston et al., 2016).

För att porös asfalt ska behålla sin bullerdämpande funktion krävs kontinuerligt och noggrant underhåll. Ett särskilt problem är att partiklar från vägslitage, inte minst från dubbdäck under vintermånaderna, gradvis fyller de luftfyllda porerna i beläggningen. Denna igensättning minskar både ljudabsorptionen och vattengenomsläppligheten över tid. Forskning och praktisk erfarenhet visar dock att moderna underhållsmetoder som specialiserad vakuumsugning och högtryckstvätt kan vara mycket effektiva för att återfå asfaltens ursprungliga egenskaper. Dessa metoder lyckas ofta ta bort upp till 80-90% av de partiklar som blockerat porerna, vilket i praktiken innebär en återställning av både dräneringsförmåga och bullerdämpande effekt (Winston et al., 2016).

2.2.2 Bullerskärmar och akustiska barriärer

Lokal skärm vid en förskola. Foto: Stockholms stad.

Bullerskärm invid väg. Foto: Polyplank.

Skärm av trä och glas vid uteplats. Foto: Marie Lundqvist, Trafikverket.

Figur 3: *Tre olika exempel på hur bullerskärmar kan utformas för att dämpa ljud i varierande miljöer. Exemplen inkluderar en lokal skärm vid en förskola, en längre bullerskärm längs en trafikerad väg samt en variant i trä och glas vid en privat uteplats.* (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017)

Bullerskärmar är en av de mest etablerade och utbrett använda tekniska lösningarna för att minska trafikbuller i bostadsnära miljöer, se Figur 3. De tillverkas vanligtvis av material såsom trä, betong, stål, plexiglas eller ljudabsorberande kompositer, och fungerar genom att bryta, reflektera eller absorbera ljudvågor som annars skulle nå fram till närliggande byggnader och utemiljöer. Deras effektivitet beror främst på tre faktorer: skärmarnas höjd, deras materialegenskaper samt hur de är placerade i förhållande till både bullerkällan (vägen) och mottagaren (t.ex. bostäder, skolor eller kontor). Enligt rapporter från det danska Vejdirektoratet kan väl utformade bullerskärmar reducera ljudnivån med 5–10 dB(A), vilket motsvarar en tydlig minskning av den upplevda bullerstörningen (Danish Road Institute, 2009).

En av bullerskärmarnas största fördelar är deras dokumenterade effektivitet, särskilt i situationer där det finns tillräckligt med utrymme mellan väg och bebyggelse. De är ofta snabba att installera och kan placeras relativt flexibelt längs vägkanter. Dessutom kan skärmar utformas för att samtidigt fungera som säkerhetsbarriärer, insynsskydd eller vindskydd, vilket gör dem till en multifunktionell komponent i stads- och trafikmiljöer. Nyare teknologier, såsom ljudabsorberande material (t.ex. mineralull) och vegetationsbeklädda ytor, har också förbättrat deras akustiska prestanda och samtidigt bidragit till att förbättra det visuella och ekologiska intrycket i urbana miljöer (Renterghem et al., 2012).

Trots sina fördelar är bullerskärmar inte utan nackdelar. De kräver ofta stort utrymme för att kunna placeras korrekt, vilket kan vara en utmaning i tät stadsbebyggelse. I vissa fall kan de även upplevas som visuellt störande eller skapa en känsla av instängdhet, särskilt om de är höga och massiva. En annan begränsning är att skärmar i huvudsak skyddar de som befinner sig bakom dem. Ljudet kan fortplanta sig över eller runt skärmarna och orsaka fortsatt störning för andra områden. För att undvika detta krävs ibland mycket höga eller långsträckta konstruktioner, vilket ökar både kostnad och teknisk komplexitet. Underhåll är också en viktig aspekt, särskilt för trä- och vegetationsbeklädda skärmar, som är känsliga för väderpåverkan och kräver regelbunden skötsel för att bevara både funktion och estetik (Renterghem et al., 2012).

2.2.3 Gröna barriärer

Figur 4: *Olika typer av "gröna" bullerskydd som kombinerar ljudisolering med levande växtlighet. Exemplen inkluderar nätkonstruktioner för klätterväxter (Noistop), biobarriärer som fungerar som gröna vallar (Naturawall) samt skärmar uppbyggda av modulära växtkassetter (Urban Green). Den nedersta delen illustrerar tekniken med växtvajrar och murgröna, där diagrammen visar hur vegetationen inte bara dämpar buller utan även påverkar luftflödet och hjälper till att filtrera bort partiklar från trafiken.* (Stockholms stad, 2018)

Grön infrastruktur längs vägar, i form av trädrader, buskage eller växtklädda ytor, kan fungera som naturliga bullerdämpande barriärer, se Figur 4. Denna vegetationszon bidrar till att reducera trafikbuller genom flera fysikaliska mekanismer: ljudabsorption genom blad och grenar, ljuddiffraktion när ljudvågarna böjs runt vegetationen, samt ljudinterferens där ljudvågor delvis tar ut varandra. Dock är denna bullerreducerande effekt vanligtvis mer begränsad jämfört med traditionella tekniska lösningar som bullerskärmar. Forskning indikerar att för att uppnå en mätbar bullerreduktion på 2-5 dB(A) krävs vegetation som är minst 10 meter bred och har tillräcklig täthet för att effektivt bryta upp ljudvågorna. Denna typ av lösning erbjuder dock flera andra fördelar utöver bullerreduceringen, som förbättrad luftkvalitet, ökad biologisk mångfald och ett estetiskt tilltalande väglandskap (Renterghem & Botteldooren, 2011; Fang & Ling, 2003).

Gröna lösningar för bullerreduktion erbjuder betydande miljöfördelar som kompenserar för deras relativt begränsade ljuddämpande effekt. Dessa naturbaserade lösningar fungerar som multifunktionella system som inte bara mildrar buller, utan samtidigt förbättrar stadsmiljön på flera sätt. Vegetationen fungerar som effektiva filter som fångar upp partiklar och andra luftföroreningar från trafiken, vilket direkt gynnar luftkvaliteten i närliggande bostadsområden. Dessutom bidrar de till att motverka urban värmeökning genom skuggning och evaporationskylning. De skapar viktiga habitat för stadens flora och fauna, vilket stärker den biologiska mångfalden i annars hårdgjorda miljöer (Abhijith et al., 2017).

2.3 Framtida innovationer

Utöver fysiska och strukturella bullerdämpande åtgärder finns även teknologibaserade lösningar som indirekt kan bidra till att minska vägtrafikbuller. En sådan lösning är användningen av artificiell intelligens (AI) för att optimera trafikflöden. Genom avancerade AI-algoritmer i kombination med nätverk av 3D-sensorer kan trafiksignaler anpassas i realtid efter aktuella trafikförhållanden. Dessa intelligenta system analyserar kontinuerligt trafikmönster och justerar signalerna dynamiskt, vilket leder till minskat antal stopp, mindre köbildning och jämnare körbeteende. Denna jämnare trafikrytm har flera positiva följdeffekter, bland annat lägre bränsleförbrukning och minskade utsläpp. Men även ljudnivåerna påverkas positivt, eftersom acceleration och inbromsning är två av de främsta källorna till höga bullertoppar i tätortstrafik. Genom att minska behovet av dessa moment kan den totala bullerexponeringen i urbana miljöer reduceras. Svenska pilotprojekt, exempelvis Stockholms intelligenta trafiksystem, har redan visat lovande resultat. Dessa system har inte bara förbättrat framkomligheten, utan också ökat trafiksäkerheten för både bilister, cyklister och fotgängare. Även om AI-styrning i första hand syftar till att effektivisera trafiken, bör dess potential som en indirekt bullerreducerande åtgärd inte underskattas, särskilt i urbana områden där traditionella fysiska lösningar är svåra att

implementera. (VINNOVA, 2022; AI Sweden/AI4Cities, 2024).

2.4 Ökad trafik och stadsutbredning orsakar omfattande bullerstörningar i Sverige

Sedan 1950 har både stadsutbredning och resandet i Sverige ökat kraftigt, vilket tillsammans med bilens framväxt har gjort trafikbuller till ett omfattande problem. Enligt Boverket beräknas drygt två miljoner svenskar vara exponerade för bullernivåer över riktvärdet 55 dBA vid sina bostäder, se tabell 1 (Boverket, 2008).

Människor som exponeras för buller >55 dBA ekvivalentnivå vid bostaden

Trafikslag	**Antal exponerade med >55 dBA (för flyget avses FBN 55 dBA) Leq 24 h**
Vägtrafik	1 200 000 - 1 800 000
Spårburen trafik	400 000 - 600 000
Flygtrafik - civil	15 000 - 25 000
Flygtrafik - militär	25 000 - 35 000
Totalt	1 600 000 - 2 400 000

Tabell 1: *Antal människor i Sverige som exponeras för buller över 55 dBA vid bostaden, uppdelat på olika trafikslag: vägtrafik, spårburen trafik, civil och militär flygtrafik. Vägtrafik är den största bullerkällan.* (Vägverket 2003)

När det gäller exponering för vägtrafikbuller bor drygt hälften av de drabbade i storstäder och större tätorter. Statens institut för kommunikationsanalys (SIKA) bedömer att antalet människor som utsätts för buller över något av riktvärdena kan vara 30 till 70 procent fler än de som enbart exponeras för nivåer över riktvärdet för ekvivalent ljudnivå utomhus. Detta innebär att så många som 1.6 till 3 miljoner människor kan vara utsatta för vägtrafikbuller i sin boendemiljö som överskrider ett eller flera av riktvärdena. (Boverket, 2008)

Även spårtrafikbuller påverkar ett stort antal människor, men i mindre omfattning än vägtrafiken. Det exakta antalet exponerade personer är osäkert. Järnvägstrafiken har ökat kontinuerligt under

senare år, samtidigt som förbättringar av järnvägsnätet har möjliggjort högre hastigheter och tyngre godståg, faktorer som leder till ökade bullernivåer. Å andra sidan har olika bullerskyddsåtgärder haft en viss positiv effekt. År 1998 uppskattades att mellan 300 000 och 400 000 personer var utsatta för spårtrafikbuller inomhus som överskred ett eller flera riktvärden. (Boverket, 2008)

2.5 Hälsans påverkan av buller

För att fungera väl både fysiskt och mentalt krävs ostörd sömn, vilket gör sömnstörningar till en allvarlig följd av samhällsbuller. De primära effekterna av sömnstörningar inkluderar svårigheter att somna, frekventa uppvaknanden och förändringar i sömndjupet. Dessutom kan buller leda till fysiologiska reaktioner som förhöjt blodtryck, ökad hjärt- och pulsfrekvens, sammandragning av ytliga blodkärl, förändrad andning och fler kroppsrörelser under sömnen. Sekundära effekter innefattar upplevelsen av sämre sömnkvalitet, trötthet, nedstämdhet, olustkänsla och försämrad prestationsförmåga. Även om viss tillvänjning kan ske efter flera års exponering, gäller detta inte de fysiologiska reaktionerna som påverkar sömnmönstret, såsom ökad hjärtfrekvens, högt blodtryck och muskelspänningar. Sömnen påverkas i synnerhet av antalet bullerhändelser under natten samt av skillnaden i styrka mellan buller och bakgrundsljud. De mest känsliga perioderna är vid insomnandet och strax före normalt uppvaknande. För att en majoritet av befolkningen ska kunna få åtta timmars obruten sömn krävs minst tio timmar utan störningar under natten. (World Health Organization, 2019)

Forskning pågår även kring sambandet mellan trafikbuller och hjärt- och kärlsjukdomar. Även om det ännu är för tidigt att dra definitiva slutsatser, pekar resultaten på att bullerrelaterade hälsofaror kan vara större än tidigare antagit. Exponering för trafikbuller kan utlösa stressreaktioner, vilka i sin tur ökar risken för bland annat högt blodtryck, kärlkramp och hjärtinfarkt. Det finns indikationer på att trafikbuller kan orsaka hundratals fall av förtida död på grund av hjärt- och kärlsjukdomar. Eftersom symptomen utvecklas över lång tid är det dock svårt att mäta effekterna på ett tillförlitligt sätt, särskilt eftersom buller är en av flera samverkande faktorer som bidrar till ohälsa. Många människor är dessutom särskilt känsliga för bullerstörningar som påverkar möjligheten att uppfatta tal. Detta gäller främst äldre, personer med hörselnedsättning, skolbarn samt invandrare som lär sig språket. (World Health Organization, 2019)

Risken för hörselskador beror på den genomsnittliga bullernivån över en viss tidsperiod, hur långvarig exponeringen är samt individens känslighet. Bullernivåer upp till 70 dBA förväntas i allmänhet inte leda till hörselförsämring hos majoriteten av människor. Därför är risken för

hörselskador orsakade av trafikbuller liten. Däremot kan kraftiga ljudtoppar, som exempelvis från motorcyklar eller passerande tåg på nära håll, orsaka hörselskador. Bullerexponering har visat samband med nedsatt prestationsförmåga vid uppgifter som kräver koncentration och tankearbete. Det är särskilt uppmärksamhet, problemlösningsförmåga, minne och läsinlärning som påverkas negativt. Barn som bor i bullriga miljöer har ofta högre nivåer av stresshormoner, främst noradrenalin, adrenalin och kortisol, samt högre blodtryck jämfört med barn från tystare områden, eftersom de anstränger sig mer för att prestera trots bullret. På lång sikt kan bullerexponering därför ha negativa effekter på prestationsförmågan. (World Health Organization, 2019)

Barn är särskilt utsatta för buller eftersom deras uppväxttid är relativt kort ur ett samhällsplaneringsperspektiv. Den tid det tar att planera och genomföra åtgärder för bostäder, trafiklösningar eller bullerminskning kan för ett barn motsvara en stor del av hela barndomen. Barn tillbringar mycket tid i bostadsområden, skolor och förskolor, där den omgivande miljön både inomhus och utomhus har stor betydelse för deras utveckling, lärande, sociala kontakter samt hälsa och trygghet. Buller i skolmiljön som stör koncentration och inlärning kan påverka barnets framtid negativt, och en fördröjd bulleråtgärd på flera år kan innebära att en betydande del av barnets skoltid påverkas. För att skydda barn bör särskild hänsyn tas genom att skapa låga bullernivåer inomhus, tysta lekplatser och skolmiljöer samt säkra, tysta gångvägar mellan hem och skola. Dessutom utsätts barn och ungdomar idag ofta för skadligt buller från exempelvis musikevenemang och daglig användning av hörlurar, något som är mer omfattande än tidigare generationers exponering. (World Health Organization, 2019)

3. GENOMFÖRANDE

Detta kapitel beskriver hur studien har genomförts och vilka forskningsmetoder som använts. Studien har en kvalitativ och deskriptiv ansats och bygger på en kombination av litteraturstudier och analys av genomförda projekt. Genom metodtriangulering har en helhetsbild skapats som omfattar både teoretiska och praktiska aspekter av bullerreducering. En diskussion förs även kring metodernas lämplighet och trovärdighet, med fokus på validitet, reliabilitet och generaliserbarhet. Avslutningsvis redogörs för användningen av generativ AI i arbetet, där det framgår i vilket sammanhang tekniken har tillämpats.

3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudien har utgjort grunden för arbetet och syftat till att kartlägga befintlig kunskap om bullerreducerande åtgärder inom vägtrafikinfrastruktur. Sökningen har genomförts i vetenskapliga databaser som ScienceDirect, SpringerLink, LiU:s bibliotek och Google Scholar, samt i rapporter från relevanta myndigheter såsom Trafikverket, Naturvårdsverket och Boverket. Urvalet har styrts av rapportens forskningsfrågor, där fokus har legat på källor som behandlar tekniska lösningar för bullerdämpning i ett svenskt eller nordiskt klimat. Särskild vikt har lagts vid studier som redovisar kvantitativa resultat i form av dB(A)-värden, eftersom dessa möjliggör jämförelser mellan olika åtgärders effektivitet. Även kvalitativa studier som belyser sociala och miljömässiga effekter av bullerhantering har inkluderats för att bredda perspektivet.

För att säkerställa tillförlitlighet har källorna genomgått en källkritisk granskning. Detta innebar att varje publikation har bedömts utifrån relevans, metodologisk kvalitet, publiceringsår och kontext. Vetenskapliga artiklar med peer review har prioriterats, medan sekundärkällor endast använts som kompletterande bakgrund. Litteraturstudien har inte bara bidragit till att sammanställa befintlig kunskap, utan också identifierat kunskapsluckor, exempelvis behovet av fler långsiktiga fältstudier om porös asfalts bullerdämpande förmåga under svenska vinterförhållanden. Dessa luckor har legat till grund för de analyser och jämförelser som genomförts i senare delar av arbetet.

3.2 Fallstudier

I litteraturstudien har två centrala fallstudier analyserats, Uppsala kommuns bullerhandlingsplan och Trafikverkets åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024–2028. Dessa två projekt representerar olika nivåer av bullerhantering: den kommunala respektive den nationella, och tillsammans ger de en bred förståelse för hur bullerproblematiken hanteras inom svensk väg- och trafikplanering.

Uppsala kommuns arbete visar hur bullerfrågan kan integreras i den lokala samhällsplaneringen, med fokus på fysiska åtgärder som bullerskärmar, tyst asfalt och strategisk bebyggelseplanering. Kommunen använder sig av kartläggning enligt EU:s bullerdirektiv och arbetar med handlingsplaner som följs upp vart femte år. Detta skapar ett praktiskt exempel på hur lagstiftning och riktvärden omsätts i lokala åtgärder som direkt påverkar boendemiljöer.

Trafikverkets åtgärdsprogram kompletterar denna bild genom att belysa hur bullerhantering bedrivs på nationell nivå och samordnas över kommungränser. Trafikverket arbetar mer systematiskt och storskaligt, med detaljerad kartläggning, modellering och långsiktig planering av åtgärder. Här används tekniska lösningar som bullerreducerande vägbeläggningar, fasadåtgärder och prioriteringssystem för utsatta områden. Arbetet baseras på en kombination av vetenskapliga modeller och hälsodata, vilket skapar en tydlig koppling mellan teknik, miljö och folkhälsa.

Genom att studera dessa båda fall parallellt har det varit möjligt att identifiera metodkopplingar mellan lokalt och nationellt arbete. Trafikverkets kartläggningar och riktvärden fungerar som underlag för kommunernas handlingsplaner, medan kommunernas erfarenheter av praktiska åtgärder ger återkoppling till Trafikverkets övergripande strategier. Tillsammans bildar de ett tvåvägssystem där nationell styrning och lokal tillämpning samverkar för att minska bullerexponering och förbättra ljudmiljön.

3.3 Kritik av metoden

3.3.1 Val av metod

Det valda metodupplägget, en kombination av litteraturstudie och projektanalys, har gett en bred översikt över befintliga tekniska lösningar och deras tillämpning i svenska förhållanden. Samtidigt finns vissa begränsningar som är viktiga att uppmärksamma. En första svaghet är att studien huvudsakligen bygger på sekundärdata i form av tidigare forskning, rapporter och

kommunala handlingsplaner. Detta innebär att resultaten till stor del vilar på redan genomförda mätningar och analyser. En mer empiriskt inriktad metod, till exempel egna bullermätningar eller intervjuer med yrkesverksamma inom väg- och trafikplanering, hade kunnat stärka studiens validitet. En andra aspekt gäller generaliserbarheten. De fallstudier och rapporter som analyserats speglar ofta specifika lokala förhållanden. Slutsatserna kan därför inte alltid överföras direkt till andra platser med annorlunda trafikmönster, bebyggelsestruktur eller klimatförhållanden. Reliabiliteten kan också påverkas av att en kvalitativ ansats innebär en viss grad av tolkning från författarens sida.

Även om källor har granskats kritiskt finns alltid en risk att urvalet av material eller tolkningen av resultaten påverkas av subjektiva bedömningar. Slutligen bör det påpekas att studien inte omfattar en ekonomisk analys av åtgärderna. Kostnadsaspekten är dock central i praktiskt beslutsfattande, vilket gör att denna studie främst belyser de tekniska och miljömässiga dimensionerna av bullerreducering. Trots dessa begränsningar bedöms metodvalet vara väl lämpat för att besvara rapportens frågeställningar. Den kombinerade ansatsen ger en helhetsbild av hur olika tekniska lösningar fungerar i teori och praktik, och skapar ett underlag för vidare diskussion kring bullerhantering i svensk infrastruktur.

3.3.2 Validitet, reliabilitet och generaliserbarhet i studien

Validiteten i denna studie bedöms som god, eftersom slutsatserna bygger på etablerad forskning, offentliga rapporter och dokumenterade effekter av bullerreducerande åtgärder. Arbetet utgår från flera trovärdiga källor, däribland Trafikverkets åtgärdsprogram för omgivningsbuller (2024–2028) och Uppsala kommuns bullerhandlingsplan, vilka båda är officiella och uppdaterade styrdokument. Den teoretiska grunden vilar på nationella riktlinjer, vetenskapliga studier och tidigare utvärderade projekt inom området trafikbuller, vilket stärker den interna validiteten. De metoder som använts i analysen, alltså jämförelse, tolkning och kritisk granskning är tydligt motiverade utifrån studiens syfte och frågeställningar, vilket bidrar till att resultaten bedöms som relevanta och tillförlitliga i relation till studiens mål.

Reliabiliteten i studien, det vill säga möjligheten att uppnå samma resultat vid upprepning, har förstärkts genom att arbetet bygger på offentliga och reproducerbara datakällor. Eftersom både Trafikverkets och kommunernas rapporter finns fritt tillgängliga och baseras på standardiserade bullermodeller (exempelvis Nord96 och NMT96), kan samma analysprocess upprepas av andra forskare eller studenter under liknande förutsättningar. För att ytterligare höja reliabiliteten har urvalet av källor skett systematiskt, med fokus på dokument som är framtagna under de senaste fem till sju åren, vilket minimerar risken för föråldrad information.

Dessutom har jämförelsen mellan de två fallstudierna genomförts enligt en enhetlig metodstruktur, där samma kriterier använts vid analysen av båda projekten, såsom åtgärdstyp, bullerreducerande effekt, uppföljning och metodanvändning. Genom detta strukturerade arbetssätt minskas risken för subjektiva tolkningar och slumpmässiga variationer i resultatet, vilket stärker studiens metodologiska tillförlitlighet.

Generaliserbarheten i studien är delvis begränsad, då fallstudierna utgår från specifika geografiska och organisatoriska kontexter. Samtidigt är de valda exemplen, Uppsala kommun och Trafikverket representativa för två nivåer av bullerhantering i Sverige: den lokala och den nationella. Detta gör att slutsatserna kan överföras till liknande kommuner eller vägprojekt med motsvarande bullerproblematik. De metodiska principerna, såsom systematiska kartläggningar, användning av standardiserade modeller och prioritering utifrån exponeringsnivåer, är generellt tillämpliga även i andra sammanhang.

3.4 Generativ AI

I arbetet har generativ artificiell intelligens (AI) använts som ett stödverktyg i både skriv- och analysprocessen. Syftet med användningen har varit att underlätta strukturering av text, förbättra språkets akademiska precision samt erhålla förslag på disposition och formuleringar. Genom AI-stöd har det varit möjligt att på ett mer effektivt sätt bearbeta omfattande textavsnitt och omformulera innehåll för att uppnå ökad tydlighet och språklig sammanhängandehet. Verktyget har även använts för att skapa preliminära sammanställningar av information från vetenskapliga artiklar, myndighetsrapporter och tekniska dokument. Detta har underlättat en mer överskådlig presentation av centrala begrepp och tidigare forskning inom bullerreducering, väg- och trafikplanering.

Det är dock av avgörande betydelse att betona att AI inte har använts för att generera eller ersätta det vetenskapliga innehållet i studien. Alla fakta, resultat och slutsatser som presenteras i rapporten baseras på verifierade och källgranskade dokument såsom Trafikverkets och kommunala bullerplaner, vetenskapliga artiklar samt etablerade forskningsrapporter inom akustik och infrastruktur. AI har därmed endast fungerat som ett språkligt och strukturellt hjälpmedel i arbetet, med målet att effektivisera skrivprocessen och förbättra den språkliga klarheten, utan att påverka den vetenskapliga integriteten eller studiens validitet.

Användningen av generativ AI medför även vissa begränsningar och risker som måste beaktas ur ett metodologiskt och etiskt perspektiv. AI-modeller bygger på omfattande textdatabaser och kan generera svar som innehåller generaliseringar, språkliga bias eller faktamässiga fel. Det finns

även en risk att AI förenklar komplexa resonemang eller formulerar slutsatser som inte är tillräckligt förankrade i källmaterialet. För att hantera dessa risker har ett källkritiskt förhållningssätt tillämpats genom hela skrivprocessen.

I ett vidare sammanhang illustrerar denna användning av AI hur digitala verktyg kan bidra till effektivisering av forsknings- och skrivprocesser inom tekniska och samhällsbyggnadsrelaterade studier. Genom att avlasta vissa delar av det språkliga arbetet har mer tid kunnat läggas på analys, jämförelse av fallstudier och kritisk reflektion.

Samtidigt kräver användningen av generativ AI en hög grad av vetenskaplig medvetenhet. För att tekniken ska kunna bidra positivt måste forskaren själv stå som garant för innehållets korrekthet, relevans och källmässiga grund. I detta arbete har därför AI uteslutande använts som ett stöd för att utveckla språk, struktur och disposition, inte som ett verktyg för att generera data, analyser eller slutsatser.

4. RESULTAT

Detta kapitel redovisar resultaten från studien och presenterar de viktigaste fynden som framkommit genom litteraturstudien och de två fallstudierna, Uppsala kommuns bullerhandlingsplan samt Trafikverkets åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024–2028. Resultaten visar hur olika tekniska och naturbaserade åtgärder tillämpas i praktiken och vilken bullerreducerande effekt de uppvisar under svenska förhållanden. Syftet är att ge en samlad bild av vilka lösningar som visat sig mest effektiva, samt att identifiera styrkor, svagheter och praktiska erfarenheter som kan ligga till grund för framtida planering och utveckling av bullerreducerande strategier inom vägtrafikinfrastruktur.

4.1 Bullerreducerande åtgärder

Genom att kombinera litteraturstudier med fördjupade fallanalyser och kvalitativa bedömningar har studien gett en bred förståelse för hur olika tekniska åtgärder fungerar som bullerreducerande lösningar. Resultaten presenteras i tre övergripande kategorier, där varje typ av åtgärd visar på egna möjligheter och begränsningar i arbetet mot trafikbuller.

1. Bullerreducerande vägbeläggningar
2. Tekniska bullerskyddslösningar
3. Vegetationsbaserade naturliga barriärer

Porösa beläggningar har visat en konsekvent bullerreducerande effekt på 3-5 dB(A) under optimala förhållanden. Denna effekt är särskilt framträdande under sommarperioden och vid normal trafikbelastning. Det är dock viktigt att notera att dessa värden representerar genomsnitt för nya beläggningar under första användningsåret.

Tekniska bullerskärmar uppvisar en bredare variationsbredd i effektivitet (5-10 dB(A)), där specifika parametrar som:

- Konstruktionshöjd (optimalt 3-6 meter)
- Materialval (trä, betong eller kompositer)
- Strategisk placering i förhållande till ljudkällor

är avgörande för slutresultatet. Data visar särskilt goda resultat för akustiskt optimerade skärmar i urbana miljöer, där dessa kan uppnå upp till 10 dB(A) reduktion tack vare minimerad ljudreflektion.

Vegetationsbaserade lösningar presenterar en mer komplex bild. Medan deras direkta bullerdämpande effekt är mer blygsam (2-5 dB(A)), erbjuder de samtidigt en rad andra värdefulla bidrag till stadsmiljön som:

- Förbättrad luftkvalitet genom partikelfångst
- Ökad biologisk mångfald
- Estetiska och rekreationsmässiga kvaliteter
- Minskad urban värmöeffekt

4.2 Fallstudie: Uppsala kommuns bullerhandlingsplan

Ett tydligt och konkret exempel på hur den teori som diskuterats tidigare kan omsättas i praktiken finns i Uppsala kommuns bullerhandlingsplan för åren 2024–2028. Denna omfattande plan, som utformats för att adressera problemet med trafikbuller, innehåller en rad praktiska och målrettade åtgärder med syftet att skydda invånarna från ohälsosam bullerexponering.

4.2.1 Tystare vägbeläggning – från teori till verklighet

I teori har porös asfalt lyfts fram som en av de mest lovande och effektiva lösningarna för att reducera buller vid källan. Teoretiska studier och tidigare forskning indikerar att denna typ av beläggning kan uppnå en betydande ljudminskning på upp till 3–5 dB(A), vilket skulle innebära en märkbar förbättring för boende i bullerutsatta områden. Dock pekar teorin också på utmaningar, särskilt i ett klimat som det svenska, där vinterförhållanden såsom isbildning, vägsaltning och partikelföroreningar kan leda till igensättning av porerna och en successiv försämring av ljuddämpande egenskaper över tid. Mot denna bakgrund är det intressant att Uppsala kommun valt att implementera en bullerreducerande beläggning på en trafikerad gata i syfte att empiriskt testa metodens effektivitet under verkliga förhållanden. Detta initiativ stämmer väl överens med de resonemang som förs i denna rapport, där betydelsen av att anpassa och utvärdera bullerreducerande tekniker under lokala klimat- och trafikförhållanden lyfts fram som en central faktor för långsiktig framgång. Resultaten från Uppsalas praktiska tillämpning bekräftar teorins slutsatser om att regelbundet underhåll är avgörande för att upprätthålla den porösa asfaltens bullerdämpande förmåga. Dock framgår det ännu inte hur kommunen konkret avser att hantera underhållsbehovet under vintermånaderna, en aspekt som är kritisk för att säkerställa metodens hållbarhet. Denna fråga kvarstår som en viktig punkt för framtida utvärdering och uppföljning (Uppsala kommun, 2024).

4.2.2 Bullerskydd för skolor och bostäder – tekniska barriärer i människonära miljöer

En annan central och välbeforskad åtgärd som diskuterats i tidigare teoridelar är implementeringen av bullerskärmar och akustiska barriärer. Enligt vetenskapliga studier och praktiska erfarenheter kan dessa konstruktioner, beroende på faktorer som höjd, materialval och strategisk placering i förhållande till ljudkällor, uppnå en ljudminskning på mellan 5 och 10 dB(A), en reduktion som i många fall kan innebära en avgörande skillnad för exponerade områden. I Uppsala kommuns bullerhandlingsplan framgår att man avser att installera bullerskydd vid fyra prioriterade skolor, samtidigt som man erbjuder ekonomiskt stöd till fastighetsägare för att främja installation av skärmar kring bostäder uppförda före 1997 (Uppsala kommun, 2024).

Detta initiativ illustrerar på ett tydligt sätt hur tekniska lösningar kan och bör anpassas till socialt känsliga miljöer, där särskilt utsatta grupper, såsom barn i skolålder eller invånare i äldre bostadsområden, står i fokus. Rapporten har tidigare betonat vikten av att inte enbart fokusera på den tekniska effektiviteten hos bullerreducerande åtgärder, utan också på deras sociala och miljömässiga anpassningsförmåga. Genom att rikta insatser mot skolor och boendemiljöer där bullerpåverkan har störst negativ inverkan på livskvalitet och hälsa, återspeglas teorins rekommendationer om en människocentrerad bullerhantering. Dessutom visar Uppsalas tillvägagångssätt på hur en kombination av offentliga investeringar och incitament för privat aktörer kan främja en mer hållbar och rättvis implementation av bullerskydd. Detta är i linje med teorins argument om att effektiv bullerreducering kräver både tekniska lösningar och samhälleliga strategier för att säkerställa långsiktig effekt. Även om projektet ännu befinner sig i planeringsstadiet, erbjuder det en värdefull modell för hur kommuner kan arbeta med bullerfrågor på ett sätt som balanserar tekniska, ekonomiska och sociala dimensioner (Uppsala kommun, 2024).

4.2.3 Gröna lösningar – begränsad bullerdämpning men bredare miljönytta

Enligt tidigare teoretiska resonemang har det utförligt belyst potentialen i vegetationsbaserade lösningar som komplement till traditionella tekniska bullerskydd. Forskning och erfarenheter visar att för att uppnå märkbar bullerdämpning krävs omfattande grönstrukturer - idealiter bestående av minst 10 meter breda, täta och flerskiktade vegetationstrans med både höga träd och buskager. Dessa gröna barriärers effektivitet påverkas dock av flera faktorer, inklusive växtarters val, ålder och underhållsfrekvens. Vad som gör dessa vegetationslösningar särskilt intressanta är deras multifunktionalitet. Förutom ljuddämpande effekter bidrar de till förbättrad luftkvalitet genom partikelfångst, ökad biologisk mångfald genom habitatbildning, samt visuella

och rekreationsmässiga kvaliteter. Denna mångdimensionella nytta stämmer väl överens med moderna hållbarhetsprinciper och ekosystembaserat planerande (Uppsala kommun, 2024).

I Uppsala kommuns bullerhandlingsplan framträder visserligen inte vegetationslösningar som explicit strategi i samma utsträckning som tekniska åtgärder. Dock är det anmärkningsvärt att planen lägger särskild vikt vid att skydda befintliga naturområden från ökande bullerpåverkan. Detta visar en medvetenhet om ljudmiljöns betydelse för både människors välbefinnande och ekosystemens hälsa. Kommunens ansats att integrera bullerhantering med bevarande av grönstruktur kan tolkas som en praktisk tillämpning av teorins mer holistiska syn på bullerfrågor. Genom att inte enbart fokusera på decibelreduktion utan också på ljudkvalitet och miljöns totala värden, visar Uppsala ett tänkande som går bortom traditionell bullerbekämpning. Detta speglar en gradvis förskjutning i praktisk planering mot att omfatta både tekniska och ekologiska lösningar i ljudmiljöarbetet. Även om vegetationsbaserade åtgärder inte står i centrum för Uppsalas strategi, så indikerar detta synsätt att teoriprinciper om integrerad bullerhantering börjar genomsyra det praktiska planeringsarbetet. Denna utveckling är särskilt lovande med tanke på klimatförändringarnas utmaningar och det växande behovet av hållbara, anpassningsbara lösningar (Uppsala kommun, 2024).

4.3 Fallstudie: TVs åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024-2028

4.3.1 Inledning och bakgrund

Trafikverket har enligt förordningen (2004:675) om omgivningsbuller ansvar för att vart femte år ta fram ett nationellt åtgärdsprogram som syftar till att minska skadliga effekter av buller och vibrationer från statlig infrastruktur. Programmet för perioden 2024–2028 är den fjärde i ordningen och omfattar samtliga statliga vägar som trafikeras av mer än tre miljoner fordon per år samt järnvägar med mer än 30 000 tågpassager per år. Därtill inkluderas buller från flygplatser med över 50 000 flygrörelser, där Stockholm Arlanda Airport är den enda som uppfyller kriteriet under den aktuella perioden (Trafikverket, 2024).

Syftet med programmet är att skapa ett långsiktigt och samordnat arbete för att minska bullerexponeringen i Sverige, med fokus på bostäder, skolor och förskolor längs statliga vägar och järnvägar. Trafikverket har också valt att utöka programmets omfattning till att inkludera vibrationsstörningar, eftersom dessa ofta samverkar med buller och kan förstärka negativa hälsoeffekter. Arbetet bedrivs i nära samverkan med kommuner och länsstyrelser, där Trafikverket bistår med planeringsstöd, kartläggningsdata och riktvärden för bullerhantering i

den fysiska planeringen (Trafikverket, 2024).

Buller från vägtrafik är den mest utbredda bullerkällan i Sverige, och påverkar enligt Trafikverkets sammanställningar omkring två miljoner människor över riktvärdet 55 dBA utomhus vid bostad. Detta innebär att nästan var femte svensk lever med bullernivåer som överskrider gränsen för vad WHO och Naturvårdsverket bedömer som hälsosamt. Enligt Miljöhälsorapporten (2017) upplever cirka 8 procent av befolkningen att de är mycket eller väldigt mycket störda av trafikbuller, medan 2–3 procent får sin sömn påverkad. Trafikbuller bidrar också till ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar, vilket i Sverige beräknas motsvara omkring 1 000 hjärtinfarkter och 1 000 stroke-fall per år, varav cirka 500 leder till förtida dödsfall (Trafikverket, 2024).

4.3.2 Kartläggning av buller och vibrationer

Som en grund för åtgärdsarbetet har Trafikverket genomfört detaljerade bullerkartläggningar över hela landet. Kartläggningarna bygger på både EU-gemensamma bullermått (L_den och L_night) samt svenska mått (Leq24h) för att möjliggöra jämförelser på både europeisk och nationell nivå. Enligt den senaste kartläggningen från 2021 var totalt drygt 1,2 miljoner människor i Sverige utsatta för bullernivåer över L_den 55 dBA från statlig väg- och järnvägstrafik. Av dessa bodde 411 000 personer längs statliga vägar och 821 000 längs statliga järnvägar. På natten (L_night) exponerades cirka 1,02 miljoner personer för nivåer över 50 dBA, vilket innebär en betydande påverkan på sömn och återhämtning (Trafikverket, 2024).

Utöver bostäder har även cirka 600 skol- och förskolefastigheter identifierats där mer än 20 procent av skolgården har bullernivåer över 55 dBA. Av dessa har 120 fastigheter prioriterats för vidare utredning eftersom ljudnivåerna där överstiger 60 dBA på stora delar av skolgården. För kartläggningarna har Trafikverket använt de nordiska modellerna Nord96 (för vägtrafik) och NMT96 (för järnvägstrafik). Dessa modeller tar hänsyn till topografi, markdämpning, byggnaders reflektioner och trafikflöden. En övergång till Nord2000 planeras under 2024–2025, vilket väntas ge en mer realistisk och detaljerad uppskattning av ljudspridning, särskilt i komplexa urbana miljöer (Trafikverket, 2024).

De nordiska modellerna Nord96 och NMT96 är de beräkningsmodeller som länge har använts i Sverige för att beräkna buller från väg- respektive järnvägstrafik. Modellerna utvecklades under 1990-talet inom nordiskt samarbete och har utgjort standarden för bullerkartläggningar i bland annat Trafikverkets arbete med omgivningsbuller (Trafikverket, 2024).

Nord96 används för att beräkna bullernivåer från vägtrafik. Modellen tar hänsyn till faktorer som

trafikmängd, andel tunga fordon, hastigheter, markförhållanden, topografi samt vägens och omgivningens utformning. Den används för att beräkna den ekvivalenta ljudnivån (Leq24h) vid bostäder, skolor och andra byggnader. Nord96 har tillämpats vid Trafikverkets bullerkartläggningar av statliga vägar, exempelvis de som genomfördes under perioden 2017–2019 och som ligger till grund för nuvarande åtgärdsprogram mot buller (Trafikverket, 2024).

För järnvägstrafik används den motsvarande modellen NMT96 (Nordic Method for Train noise 1996). Den fungerar på liknande sätt som Nord96 men är anpassad för buller från tågtrafik. Modellen beaktar tågtyper, trafikering, hastigheter, spårens läge i förhållande till bebyggelsen samt markens och topografins påverkan på ljudutbredningen. Resultaten används för att bedöma vilka bostäder, skolor och förskolor som utsätts för höga bullernivåer och därmed kan vara i behov av skyddsåtgärder (Trafikverket, 2024).

Trafikverket planerar nu att gå över till den nyare beräkningsmodellen Nord2000, som kommer att ersätta både Nord96 och NMT96. Övergången ska ske under 2024 för vägtrafik och under 2025 för järnvägstrafik. Nord2000 är en moderniserad nordisk modell som ger mer detaljerade och verklighetstrogna beräkningar. Till skillnad från de äldre modellerna tar Nord2000 hänsyn till väderförhållanden som vindriktning, temperatur och luftfuktighet samt till mer komplexa ljudspridningsfenomen som reflektioner och diffraktioner. Det innebär att beräkningarna blir mer noggranna och bättre anpassade till verkliga förhållanden. Även vibrationskartläggningar har genomförts längs prioriterade järnvägsstråk. Omkring 5 000 fastigheter har identifierats som potentiellt störda av vibrationer över riktvärdena. Trafikverket noterar att kombinationen av buller och vibrationer leder till större upplevd störning än om dessa förekommer var för sig (Trafikverket, 2024).

4.3.3 Genomförda åtgärder och resultat 2019–2023

Under den föregående programperioden 2019–2023 har Trafikverket genomfört ett omfattande arbete med att minska exponeringen för buller längs statliga vägar och järnvägar. Fokus har legat på att skydda de mest utsatta miljöerna, särskilt bostäder, skolor och förskolor som ligger nära tungt trafikerade sträckor. Arbetet har bedrivits utifrån de prioriteringar som fastställdes i den nationella planen för transportinfrastrukturen och har omfattat både tekniska och planeringsmässiga åtgärder (Trafikverket, 2024).

Totalt har bullerskyddsåtgärder genomförts för omkring 31 600 personer, varav cirka 9 100 personer längs vägar och 22 500 personer längs järnvägar. I flera fall har åtgärderna kombinerats med insatser mot vibrationer, eftersom dessa störningar ofta uppträder samtidigt och förstärker

varandra. Trafikverket har även erbjudit vissa fastighetsägare att sälja sina fastigheter när buller- och vibrationsnivåerna varit så höga att andra åtgärder inte bedömts som rimliga (Trafikverket, 2024).

De mest omfattande åtgärderna under perioden har utgjorts av bullerskärmar och jordvallar längs starkt trafikerade sträckor, där de har visat sig ge en effektiv ljudreduktion på 5–10 dB(A) beroende på utformning och placering. Särskild vikt har lagts vid sträckor som passerar genom tätorter, där många människor exponeras för höga ljudnivåer under både dag- och nattetid. Utöver fysiska skärmar har även förbättrad ljudisolering av bostadsfasader genomförts, främst i form av byte till ljudreducerande fönster, tilläggsisolering och ventilationsanpassningar. Denna typ av åtgärd har främst tillämpats där utrymme saknats för att uppföra skärmar eller där terrängförhållanden gjort sådana lösningar olämpliga (Trafikverket, 2024).

Ett särskilt fokus har riktats mot skol- och förskolemiljöer, där buller kan påverka barns inlärning, koncentration och återhämtning. Enligt Trafikverkets kartläggning hade cirka 600 skolor och förskolor bullernivåer över 55 dBA på stora delar av skolgården, varav omkring 120 bedömdes som särskilt prioriterade. Under programperioden har flera av dessa fått bullerskydd i form av skärmar, vegetation och planerade tysta zoner för lek och vila (Trafikverket, 2024).

Utöver de direkta åtgärderna har Trafikverket också lagt stor vikt vid kommunikation och samverkan med kommuner och fastighetsägare. Ett förbättrat informationsflöde om pågående och kommande åtgärdsprojekt har etablerats, vilket har bidragit till en mer effektiv planering och kortare ledtider. Dessutom har Trafikverket vidareutvecklat sina IT-baserade analysverktyg för buller och vibrationer, som används för att beräkna effekter, prioritera åtgärder och följa upp resultat. En sammanvägd bedömning av resultatet visar att bullerskyddsåtgärderna under perioden lett till en tydlig minskning av exponeringen i flera tätorter, särskilt i områden där bostäder tidigare haft ekvivalenta ljudnivåer över 65 dBA vid fasad. Minskningen motsvarar ofta 3–7 dB(A), vilket enligt akustiska studier innebär en betydande förbättring i upplevd ljudmiljö. Trots dessa framsteg konstaterar Trafikverket att behovet av åtgärder fortfarande är stort, då mer än en miljon människor fortfarande exponeras för buller över gällande riktvärden. Detta visar att arbetet måste fortsätta med oförminskad intensitet under den kommande programperioden (Trafikverket, 2024).

4.3.4 Planerade åtgärder 2024–2028

Under den nuvarande femårsperioden (2024–2028) fortsätter Trafikverket sitt arbete enligt en förnyad och mer strategiskt inriktad plan. Fokus ligger på att kombinera källreducerande åtgärder, som tystare vägbeläggningar och fordonstekniska förbättringar, med mottagarinriktade

lösningar, såsom bullerskärmar och fasadförbättringar. Den övergripande ambitionen är att successivt minska antalet bullerutsatta personer längs statliga vägar och järnvägar, samtidigt som man förbättrar ljudmiljön i känsliga områden som skolor, vårdinrättningar och rekreationsytor (Trafikverket, 2024).

Ett av de mest centrala inslagen i programmet är utbyggnaden av bullerreducerande vägbeläggningar. Trafikverket har utvecklat särskilda indikatorer för att identifiera vägsträckor där denna typ av beläggning är mest effektiv, exempelvis i tätorter med höga trafikflöden och där traditionella bullerskärmar är svåra att uppföra. Porösa och dubbelporösa asfalttyper ska användas i flera pilotprojekt, med målet att reducera bullernivåerna med 3–5 dB(A) jämfört med konventionella beläggningar. Dessa försök kommer också att utvärderas med avseende på klimatpåverkan, livslängd och vinterunderhåll, eftersom tidigare erfarenheter visat att svenska väderförhållanden påverkar asfaltens långsiktiga prestanda (Trafikverket, 2024).

Vid sidan av beläggningsarbetet fortsätter Trafikverket att installera bullerskydd längs befintlig infrastruktur, där cirka 17 000 bostäder fortfarande har ljudnivåer över 65 dBA vid fasad. Nya skärmar och vallar kommer att uppföras längs prioriterade vägsträckor, medan äldre konstruktioner kommer att renoveras och kompletteras med ljudabsorberande material. En viktig inriktning är att använda grönare lösningar, såsom vegetationsbeklädda skärmar och kombinerade vall–häck-strukturer som både dämpar ljud och bidrar till ekologiska värden (Trafikverket, 2024).

Trafikverket prioriterar även fortsatta åtgärder vid skolor och förskolor. Målet för programperioden är att samtliga av de cirka 120 mest utsatta skolorna ska ha fått någon form av bullerskyddsåtgärd före 2028. Dessa kan inkludera akustiska skärmar, ljuddämpande markmaterial och omdisponering av gårdsytor så att de mest bullerutsatta delarna används mindre frekvent (Trafikverket, 2024).

Parallellt bedrivs flera forsknings- och innovationsprojekt i samverkan med universitet och industri. Dessa syftar till att utveckla tystare vägbanor, förbättrad ljudisolering i byggnader, samt att utvärdera effekterna av elfordon på den totala bullerprofilen i urbana miljöer. Ett särskilt fokus ligger på hur nya typer av eldrivna lastbilar och bussar förändrar frekvensspektrumet för buller, vilket kan kräva anpassning av dagens beräkningsmodeller. (Trafikverket, 2024)
Ett annat centralt område i programmet är digitalisering och datahantering. Trafikverket har utvecklat ett nytt IT-stöd för bulleranalys och planering, vilket ska användas för att kartlägga och följa upp åtgärdernas effekt över tid. Systemet gör det möjligt att kombinera bullerdata med befolkningsstatistik och hälsodata, vilket ger bättre underlag för prioritering av framtida insatser (Trafikverket, 2024).

På längre sikt planerar Trafikverket att integrera bullerfrågan ännu tydligare i den fysiska planeringen. Det innebär att buller ska beaktas redan i tidiga skeden av väg- och järnvägsprojekt, snarare än som en separat efterhandsåtgärd. Detta arbetssätt är en del av Trafikverkets strävan efter en mer proaktiv och hållbar bullerhantering, där tekniska lösningar, stadsplanering och folkhälsa kopplas samman i ett helhetsperspektiv (Trafikverket, 2024).

Sammantaget visar Trafikverkets planerade åtgärder för perioden 2024–2028 en tydlig förflyttning mot ett mer integrerat och kunskapsbaserat arbetssätt. Genom att kombinera innovativa material, digital planering och lokal samverkan strävar myndigheten efter att på sikt minska både antalet bullerutsatta människor och de långsiktiga hälsoeffekterna av trafikbuller i Sverige (Trafikverket, 2024).

5. ANALYS

I detta kapitel analyseras resultaten från litteraturstudien och de två fallstudierna, Uppsala kommuns bullerhandlingsplan samt Trafikverkets åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024–2028. Syftet är att tolka och sammanställa de observerade mönstren, samt sätta dem i relation till tidigare forskning och svenska klimat- och trafikförhållanden. Analysen fokuserar på tre huvuddelar: en dataanalys av bullerreducerande åtgärders effektivitet, en jämförelse av vilka tekniska lösningar som bedöms mest lämpade för svenska förhållanden, samt en granskning av de tekniska och praktiska utmaningar som påverkar implementeringen av dessa åtgärder i infrastrukturprojekt.

5.1 Dataanalys

För att kunna jämföra olika bullerreducerande åtgärder har data från litteraturstudien och fallstudierna sammanställts och analyserats både kvantitativt och kvalitativt. Nedanstående sammanfattning (Tabell 2 i rapporten) visar en tydlig skillnad mellan de tre huvudsakliga tekniska lösningarna: tyst asfalt, bullerskärmar och vegetationsbaserade barriärer, där bullerskärmar uppvisar den största genomsnittliga reduktionen, följt av tyst asfalt och därefter vegetationslösningar.

Tyst asfalt uppvisar i genomsnitt en ljudreduktion på 3–5 dB(A), vilket motsvarar en halvering av den upplevda bullernivån för det mänskliga örat. Effekten är tydligast under de första åren efter anläggning, men minskar successivt med tiden, särskilt under påverkan av snö, salt och partiklar som täpper igen asfaltens porer. Trots denna nedgång innebär även en reduktion på 3 dB(A) en påtaglig förbättring för de boende i bullerutsatta områden, vilket gör tekniken betydelsefull ur ett folkhälsoperspektiv.

Bullerskärmar visar den mest stabila och pålitliga bullerdämpningen, med en effekt på 5–10 dB(A) beroende på höjd, material och placering i förhållande till ljudkällan. Resultaten från både litteraturen och fallstudierna bekräftar att bullerskärmar är särskilt effektiva längs motorvägar och trafikintensiva leder. Deras robusta konstruktion gör att effekten bibehålls över tid, även om visuella och utrymmesmässiga faktorer kan begränsa deras användning i tätbebyggda områden.

Vegetationsbaserade barriärer ger en mer måttlig bullerreduktion på 2–5 dB(A), men bidrar samtidigt med flera andra positiva effekter såsom förbättrad luftkvalitet, minskad urban värmeeffekt och ökad biologisk mångfald. Även om deras direkta akustiska effekt är begränsad, bör deras multifunktionalitet vägas in i helhetsbedömningen.

Ett tydligt mönster som framträder i dataanalysen är att kombinationer av åtgärder ofta ger den största effekten. Exempelvis kan användning av tyst asfalt i kombination med bullerskärmar ge en sammanlagd reduktion på upp till 12–13 dB(A), vilket visar att synergieffekter mellan olika lösningar bör prioriteras i framtida projekt. Detta stöds av Trafikverkets observationer i åtgärdsprogrammet, där kombinerade metoder bedöms ge bäst resultat i tätorter med komplexa bullerförhållanden.

Tabell 2: *Sammanställning av bullerreducerande åtgärder och deras effekt (dB(A))*

Åtgärd	**Uppmätt bullerminskning (dB(A))**	**Kommentar**
Porös asfalt	3–5	Effektiv vid nyinstallation; kräver regelbundet underhåll
Bullerskärmar (trä/betong)	5–10	Effekt beroende av höjd, placering och material
Akustiska skärmar (absorbenter)	7–10	Extra effektiva i stadsmiljöer
Vegetationsbarriärer	2–5	Kräver bred, tät vegetation; ger miljöfördelar
AI-baserad trafikstyrning	~2–3	Minskad acceleration minskar motorbuller

5.2 Mest effektiva tekniska lösningar för att minska buller från vägtrafik, och deras implementering i svensk infrastruktur

Analysen visar att valet av bullerreducerande metod bör anpassas efter lokala förutsättningar såsom klimat, topografi, bebyggelsestruktur och trafikvolym. Det finns inte en enskild universell lösning, utan effektiv bullerhantering kräver en situationsanpassad och integrerad strategi.

Tyst asfalt framstår som den mest effektiva lösningen för bullerreduktion vid källan. Den fungerar särskilt bra i områden där utrymmet för fysiska barriärer är begränsat, exempelvis i tätbebyggda stadsmiljöer eller längs infartsleder. Den direkta dämpningen vid däck–vägbana-interaktionen gynnar både trafikanter och närboende. Dock är denna metod starkt beroende av regelbundet underhåll för att motverka igensättning och slitage, särskilt under

vintermånaderna. I Uppsala kommuns fallstudie framgår tydligt att kontinuerlig rengöring och uppföljning är avgörande för att bibehålla asfaltens bullerdämpande egenskaper över tid.

Bullerskärmar är fortsatt den mest robusta och långsiktigt hållbara lösningen. De ger störst effekt per investerad åtgärd i miljöer där utrymme finns och där bebyggelsen ligger nära vägen. Resultaten från både Trafikverkets åtgärdsprogram och Uppsala kommuns handlingsplan visar att dessa konstruktioner ofta prioriteras vid skolor, bostadsområden och andra känsliga platser. Materialvalet har stor betydelse för ljudabsorptionsförmågan, moderna kompositmaterial och vegetationsklädda skärmar har visat förbättrad akustisk prestanda samt ökad estetisk acceptans.

Vegetationsbaserade lösningar fungerar bäst som komplement snarare än huvudstrategi. Deras värde ligger i helhetseffekterna för miljö och stadsbild snarare än i ren ljudreduktion. Trots begränsad akustisk verkan bidrar gröna barriärer till en mer trivsam och hållbar stadsmiljö, vilket i sin tur kan påverka upplevd bullerstörning positivt. Analysen visar att en kombination av tekniska och ekologiska åtgärder är mest effektiv i tätbebyggda områden.

Implementeringen i svensk infrastruktur påverkas starkt av Trafikverkets styrdokument, där standardiserade modeller som Nord96 används för beräkningar och prioriteringar. Uppsala kommun visar ett gott exempel på hur nationella riktlinjer kan omsättas lokalt genom praktiska projekt, där tekniska lösningar kombineras med bebyggelseplanering och medborgarinflytande.

5.3 Tekniska utmaningar vid implementering av bullerdämpande åtgärder

Implementeringen av bullerdämpande åtgärder inom svensk infrastruktur medför ett flertal tekniska, klimatmässiga och organisatoriska utmaningar som påverkar både effektivitet och långsiktig hållbarhet. Analysen av litteraturen och de två fallstudierna, Uppsala kommuns bullerhandlingsplan samt Trafikverkets åtgärdsprogram mot vägtrafikbuller 2024–2028, visar att de mest framträdande utmaningarna kan kopplas till klimatpåverkan, underhåll, platsbrist, teknisk samordning och införandet av digitala och AI-baserade verktyg i bullerhanteringen.

En av de största utmaningarna gäller klimatets påverkan på bullerreducerande material, särskilt porös asfalt. Under vintermånaderna riskerar porerna i beläggningen att täppas igen av snö, is och partiklar från vägsalt och dubbdäcksslitage. Detta leder till försämrad ljudabsorberande förmåga och minskad dräneringsfunktion, vilket i sin tur förkortar beläggningens livslängd. Trafikverkets åtgärdsprogram betonar behovet av anpassade vinterrutiner och tekniskt utvecklade beläggningar som bättre klarar nordiska förhållanden. Regelbundet underhåll i form av

högtryckstvätt och vakuumsugning har visat sig kunna återställa upp till 80–90 % av asfaltens ljudabsorberande kapacitet, men kräver kontinuerliga resurser och planerad uppföljning för att vara effektivt.

Underhållsbehovet utgör därmed en annan central utmaning. Tyst asfalt och bullerskärmar har båda en begränsad livslängd och kräver återkommande tillsyn för att behålla sin funktion. Bristande underhåll kan snabbt reducera effekten av annars väl fungerande åtgärder. Eftersom kostnaderna för drift och underhåll ofta inte inkluderas i den initiala investeringskalkylen, finns en risk att bullerreducerande åtgärder förlorar effekt efter några år. Trafikverket lyfter i sitt program vikten av att planera för hela livscykeln och inte enbart initiala installationskostnader.

Även den fysiska planeringen medför begränsningar. I tätbebyggda miljöer är utrymmet ofta otillräckligt för att installera fullskaliga bullerskärmar. Dessa konstruktioner kan dessutom upplevas som visuellt dominerande och bidra till en känsla av instängdhet i stadsrummet. Trafikverket betonar därför behovet av att integrera bullerskydd redan i planeringsskedet för att undvika konflikter med bebyggelse och landskapsbild. Uppsala kommun visar i sin handlingsplan hur bullerskärmar kan utformas estetiskt och funktionellt genom användning av transparenta eller vegetationsklädda material. Dessa lösningar minskar inte bara ljudnivåer utan bidrar även till en mer trivsam stadsbild, vilket i sin tur ökar den sociala acceptansen för bullerskyddsåtgärder.

Ytterligare en utmaning gäller ljudets komplexa spridning i tätbebyggda miljöer. Bullerskärmar reducerar främst direktljud bakom skärmen, men ljudvågor kan diffraktera över eller runt konstruktionen och orsaka störningar i andra områden. För att motverka detta krävs avancerad akustisk modellering och noggrann placering av skärmarna i förhållande till både vägens topografi och omgivande bebyggelse. Trafikverket använder i sitt arbete modeller som Nord96 för att beräkna och förutsäga bullerutbredning, vilket underlättar optimering av höjd, material och position.

Trafikens sammansättning påverkar också effektiviteten hos bullerdämpande åtgärder. Tung trafik och hög andel dubbdäck genererar både högre buller och större mekaniskt slitage på vägbeläggningar. Detta innebär att tekniska lösningar som fungerar väl i stadsmiljöer med övervägande personbilstrafik inte alltid ger samma resultat på större transportleder. Trafikverket har därför utvecklat prioriteringsprinciper där olika typer av vägar tilldelas olika åtgärder beroende på trafikvolym, fordonstyper och omgivande bebyggelse.

En annan återkommande utmaning gäller samordning och ansvarsfördelning mellan nationella och kommunala aktörer. Trafikverkets nationella program och kommunernas handlingsplaner

behöver harmoniseras för att undvika överlappande eller motstridiga insatser. Uppsala kommun utgör ett gott exempel på hur nationella riktlinjer kan omsättas lokalt, men många kommuner saknar resurser för systematisk uppföljning. Detta kan leda till att vissa bullerutsatta områden prioriteras ned trots att de faller inom nationella målområden.

På senare år har digitalisering och artificiell intelligens (AI) börjat spela en allt större roll i bullerhanteringen, vilket innebär både nya möjligheter och tekniska utmaningar. AI-baserade verktyg kan exempelvis användas för att optimera trafikflöden genom realtidsstyrning av trafiksignaler, vilket minskar antalet accelerationer och inbromsningar, två av de största bullerkällorna i stadstrafik. Genom dessa system kan bullernivåerna minska med upp till 2–3 dB(A) i vissa miljöer. Trafikverket och flera svenska kommuner har dessutom inlett pilotprojekt där AI används för prediktivt underhåll av vägbeläggningar.

Trots dessa fördelar innebär införandet av AI-baserade verktyg också nya tekniska och organisatoriska utmaningar. Systemen kräver omfattande datainsamling, standardiserade sensornätverk och säker kommunikation mellan olika aktörer. Frågor om dataskydd, algoritmisk transparens och ansvarsfördelning mellan myndigheter och leverantörer behöver hanteras noggrant för att säkerställa tillförlitlighet och rättssäkerhet. För att uppnå full nytta krävs dessutom en integrerad strategi där AI-stöd kombineras med fysiska åtgärder som tyst asfalt och bullerskärmar.

6. SLUTSATS

Kapitlet redovisar studiens huvudsakliga resultat och analyserar effekterna av olika bullerreducerande åtgärder som tyst asfalt, bullerskärmar och vegetation. Det belyser hur kombinationer av tekniska och naturbaserade lösningar, tillsammans med digitalisering, kan bidra till en mer hållbar och effektiv bullerhantering.

6.1 Övergripande slutsatser

Syftet med denna studie har varit att undersöka och utvärdera tekniska lösningar för att minska buller från vägtrafik i svensk infrastruktur. Genom en kombination av litteraturstudie och fallstudier, med särskilt fokus på Uppsala kommuns bullerhandlingsplan och Trafikverkets åtgärdsprogram 2024–2028, har arbetet gett en helhetsbild av vilka metoder som idag är mest effektiva, vilka utmaningar som finns vid implementering, samt hur dessa kan kombineras för att bidra till en hållbar ljudmiljö.

Studien visar att ingen enskild teknik kan lösa bullerproblematiken i sin helhet. I stället krävs en integrerad strategi där tekniska, vegetativa och digitala lösningar samverkar. Den mest framgångsrika bullerhanteringen uppnås när åtgärder anpassas efter lokala förutsättningar såsom trafikintensitet, klimat, bebyggelse och tillgängliga resurser.

6.2 Effektivitet hos tekniska lösningar

Porös asfalt framstår som en effektiv lösning vid nyinstallationer, med en dokumenterad bullerreduktion på cirka 3–5 dB(A). Tekniken fungerar bäst under torra och varma förhållanden men tappar effekt i nordiskt klimat, där snö, is och vägsalt täpper igen porerna. Regelbundet underhåll krävs för att bibehålla funktionen, vilket begränsar dess användbarhet till prioriterade områden.

Bullerskärmar är i praktiken den mest stabila och flexibla åtgärden, med reduktioner på upp till 10 dB(A). Skärmar som kombinerar ljudabsorberande material med estetisk och social anpassning fungerar särskilt väl i bostadsnära miljöer, där de både skyddar och bidrar till en mer trivsam stadsmiljö. Kombinationen av teknisk effektivitet, lång livslängd och anpassningsbarhet gör bullerskärmar till en av de mest hållbara lösningarna för svenska städer.

Gröna barriärer – såsom vegetation och jordvallar – erbjuder en mer begränsad bullerdämpning (2–5 dB(A)) men har betydande miljömässiga och sociala fördelar. De bidrar till förbättrad luftkvalitet, ökad biologisk mångfald och estetiska värden. Därför fungerar de bäst som komplement till tekniska lösningar inom en helhetsbaserad bullerstrategi.

6.3 Utmaningar och begränsningar

De största utmaningarna vid implementering av bullerreducerande åtgärder rör:
- Klimatpåverkan, särskilt vinterförhållandenas effekt på materialens funktion.
- Underhållsbehov, både ekonomiskt och logistiskt krävande, särskilt för porösa beläggningar. - -
- Samordning mellan aktörer, behov av bättre harmonisering mellan Trafikverkets nationella program och kommunernas lokala planer.
- Resursfördelning, mindre kommuner saknar ofta kapacitet att genomföra och följa upp långsiktiga bullerinsatser.

6.4 Rekommendationer för framtiden

För att närma sig målet om en tystare, mer hälsosam och hållbar ljudmiljö krävs att bullerfrågan integreras redan i planeringsskedet av infrastruktur- och stadsutvecklingsprojekt. En kombination av följande strategier rekommenderas:
- Prioritera bullerskärmar och tyst asfalt i högt belastade trafikmiljöer.
- Använd gröna barriärer som kompletterande inslag för att främja både bullerreduktion och ekologisk hållbarhet.
- Utveckla digitala styrsystem som optimerar trafikflöden.
- Säkerställ samverkan mellan statliga och kommunala aktörer för en enhetlig och långsiktig bullerpolitik.

7. DISKUSSION

Detta kapitel reflekterar över arbetets resultat i ett bredare sammanhang, lyfter fram potentiella konsekvenser och begränsningar samt identifierar möjliga framtida forskningsspår. Diskussionen bygger vidare på slutsatserna och öppnar upp för en mer subjektiv och utforskande analys av vad resultaten faktiskt betyder för stadsplanering, teknikval och hållbar utveckling.

7.1 Integrerad bullerhantering som väg mot hållbar stadsutveckling

Resultaten i denna studie, tillsammans med information från Trafikverkets åtgärdsprogram 2024–2028 och aktuella forskningssammanställningar, visar tydligt att ingen enskild åtgärd är tillräcklig för att uppnå en långsiktigt hållbar ljudmiljö i urbana miljöer. Trafikbuller är ett komplext fenomen som påverkas av fordonstyp, vägunderlag, topografi, klimat och bebyggelsestruktur. Därför krävs en integrerad bullerhantering, där tekniska, planeringsmässiga och naturbaserade lösningar kombineras i ett sammanhängande system.

Porös (”tyst”) asfalt fortsätter att vara en av de mest effektiva källreducerande åtgärderna, men dess livslängd och effektivitet påverkas starkt av klimat och underhåll. Informationen från Trafikverket och kommunala pilotprojekt visar att bullerreduktionen på 3–5 dB(A) gradvis minskar över tid om inte regelbunden rengöring och återställning sker. Därför bör porös asfalt kombineras med bullerskärmar på strategiska platser och kompletteras med vegetationsbaserade lösningar, såsom trädplanteringar, gröna väggar och jordvallar, som inte bara förbättrar ljudupplevelsen utan även bidrar till luftkvalitet, ekosystemtjänster och estetiska värden.

Ett viktigt bidrag är också den ökade förståelsen för hur vegetation påverkar den upplevda ljudmiljön. Även om dämpningen i decibel är begränsad, har grönska en lugnande psykologisk effekt och maskerar trafikljud, vilket i sin tur påverkar människors välbefinnande och uppfattning om platsens kvalitet.

Det blir också tydligt att bullerfrågan inte enbart är teknisk utan i hög grad social. Nya nationella rapporter visar att bullerexponeringen ofta är högst i områden med socioekonomiska utmaningar. En hållbar bullerstrategi måste därför inkludera rättviseaspekter och integreras i stadsplaneringen, exempelvis genom att prioritera skolor, äldreboenden och bostadsområden med hög exponering. Det kräver samarbete mellan kommun, Trafikverket och fastighetsägare, samt tydliga incitament för att stimulera investeringar i lokalt anpassade åtgärder.

En ny dimension som framkommit i materialet är den ökande betydelsen av digitala lösningar och AI-baserade styrsystem. Trafikstyrning med hjälp av sensorer och algoritmer kan minska

accelerationer och inbromsningar. AI kan även användas för prediktivt underhåll av tyst asfalt, där data från trafikflöden och väderförhållanden används för att planera rengöring och beläggningsbyte i rätt tid. Trots denna potential finns risker och utmaningar kopplade till dataskydd, interoperabilitet och resursfördelning. Digitalisering bör därför ses som ett kompletterande verktyg inom ramen för en större strategi, inte som en ersättning för fysiska och planeringsmässiga åtgärder.

Sammantaget pekar de samlade resultaten mot att framtidens bullerhantering bör bygga på en multifunktionell syn på stadsrummet, där bullerfrågan kopplas till grönstruktur, klimatmål, hälsa och social hållbarhet. En sådan helhetssyn möjliggör inte bara en tystare stad, utan också en mer trivsam, resilient och rättvis stadsmiljö.

7.2 Kritik av arbetet

Trots att studien baseras på relevanta källor och aktuella data finns vissa metodologiska svagheter. Arbetet utgår främst från sekundärdata och dokumentanalys, vilket innebär att resultatens generaliserbarhet är begränsad. Data från Trafikverkets uppföljning bekräftar att mätvärden ofta varierar beroende på lokala förhållanden som trafikintensitet, vinterunderhåll och topografi. Att inte ha genomfört egna fältmätningar gör att studien saknar direkta empiriska bevis för hur stor effekt kombinerade åtgärder har i praktiken.

En annan svårighet ligger i jämförelsen mellan olika åtgärder. Decibelvärden från olika källor är ofta uppmätta under olika betingelser, vilket försvårar direkt jämförelse. Dessutom riskerar ett ensidigt fokus på A-vägda dB-värden att förbises skillnader i ljudkvalitet och frekvensinnehåll, något som nyare forskning visar har stor betydelse för människors upplevelse av buller.

Det hade därför varit önskvärt att komplettera analysen med kvalitativa metoder, såsom enkäter eller intervjuer med byggföretagen som har fokuserat på bullerfrågan, för att säkerställa att de olika jämförelserna och andra slutsatser är korrekta.

Eftersom flera exempel i studien hämtas från specifika svenska städer och Trafikverkets nationella material kan slutsatserna inte utan vidare överföras till andra geografiska eller klimatiska förhållanden. Särskilt porös asfalt påverkas starkt av vinterklimat, vilket innebär att resultat från södra Sverige eller Centraleuropa inte alltid är tillämpbara i norra regioner.

Arbetet hade kunnat stärkas genom att inkludera ett kostnads-nytto-perspektiv där ekonomiska aspekter vägs mot miljömässiga och sociala effekter. Likaså hade en mer detaljerad redovisning

av Trafikverkets mätdata och uppföljningsindikatorer kunnat ge en tydligare bild av åtgärdernas faktiska effekter över tid.

7.3 Förslag på vidare forskning

Framtida forskning bör fokusera på långtidsmätningar av tyst asfalt och kombinerade åtgärder under verkliga driftförhållanden. Det behövs fler empiriska data kring hur snabbt bullerreduktionen minskar över tid och hur underhållsintervaller påverkar effekten.

Ett annat viktigt forskningsspår är att analysera kombinationseffekter mellan tekniska och naturbaserade åtgärder. Hur påverkar till exempel vegetation bakom en bullerskärm den totala ljudspridningen? Hur kan beläggningstyper och grönstruktur optimeras tillsammans för maximal ljuddämpning utan att försämra trafiksäkerheten?

Kunskaper om AI och digitala styrsystem öppnar för forskning kring hur prediktiva modeller kan användas för att optimera trafikflöden och förutse bullertoppar. Forskning bör även belysa de etiska och organisatoriska frågorna kring datadelning och ansvarsfrågor i kommunal och statlig drift.

Slutligen bör framtida forskning inkludera tvärvetenskapliga perspektiv, där akustik, stadsplanering, folkhälsa och miljöpsykologi integreras. Bullerfrågan är inte enbart teknisk, utan i hög grad en fråga om livskvalitet och social hållbarhet. Genom att kombinera kvantitativa mätningar med kvalitativa metoder kan man skapa en mer heltäckande förståelse av hur buller påverkar människor i vardagen.

REFERENSER

Abhijith, K. V., Kumar, P., Gallagher, J., McNabola, A., Baldauf, R., Pilla, F., Broderick, B., Sabatino, S. D., & Pulvirenti, B. (2017). Atmospheric Environment. Vol.162. *Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017303151 (2025.04.28)

Ahmed, F. (2015). *Porous Asphalt Clogging Performance Under Swedish Conditions*. https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:811319/FULLTEXT04.pdf (2025.04.28)

Andreas, O. (2024). *Självkörande bilar 2025 – när blir de en del av vardagen?* https://www.aiuc.se/ai-insikter/sjalvkorande-bilar-teknik-sakerhet-och-lagar (2025.04.28)

Boverket. (2008). *Buller i planeringen*. https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2008/buller_i_planeringen_allmanna_rad_2008_1.pdf (2025.09.03)

Boverket. (2024). *Beskrivning av ljud och buller*. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planeringsfragor/information-om-buller-och-goda-ljudmiljoer/beskrivning-av-ljud-och-buller/ (2025.05.17)

Bichajło, L., & Kołodziej, K. (2018). E3S Web of Conferences. Vol.162. Issue 00114. *Porous asphalt pavement for traffic noise reduction and pavement dewatering – the pollution problem*. https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/20/e3sconf_infraeko2018_00114.pdf (2025.04.28)

Blom, R. (2004). *Report on tyre/road noise*. https://pure.tue.nl/ws/files/4443599/614289.pdf (2025.04.28)

Cesbron, J., & Klein, P. (2017). Applied Acoustics. Vol.126. *Correlation between tyre/road noise levels measured by the Coast-By and the Close-ProXimity methods*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X17301779 (2025.04.28)

Conference of European Directors of Roads. (2017). *State of the art in managing road traffic noise: noise-reducing pavements*. https://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CEDR-TR2017-01-noise-reducing-pavements.pdf (2025.04.28)

Danish Road Institute. (2009). *Noise Barrier Design*. https://www.scribd.com/document/405441838/Noise-barrier-design-Danish-and-some-European-examples-report-174-pdf (2025.04.28)

Didkovskyi, V., Zaets, V., & Kotenko, S. (2020). Technology audit and production reserves. Vol.3. Issue 1(53). *IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF NOISE PROTECTIVE SCREENS DUE TO SOUND ABSORPTION*. https://www.researchgate.net/publication/343061869_Improvement_of_the_efficiency_of_noise_protective_screens_due_to_sound_absorption (2025.04.28)

European Environment Agency. (2020). *Environmental noise in Europe — 2020*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/environmental-noise-in-europe (2025.04.28)

Folkhälsomyndigheten. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus*. https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/66c03ed04e244b92a9165705ef3ac3c2/fohmfs-2014-13.pdf (2025.05.17)

Fang, C. F., & Ling, D. L. (2003). Landscape and Urban Planning. Vol.63. Issue 4. *Investigation of the noise reduction provided by tree belts*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204602001901 (2025.04.28)

Hör Stockholm. (2024). *Ljudnivåer: Allt om hörseln och decibel*. https://www.xn--hrsthlm-90a.se/17/61/ljudnivaer/ (2025.05.28)

Hassan, O. A. B. (2009). World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. *Building Acoustics and Vibration*. (2025.11.25)

Ministry of Transport - Denmark. (2005). *Noise reducing pavements*. https://www.vejdirektoratet.dk/api/drupal/sites/default/files/publications/noise_reducing_pavements.pdf (2025.04.28)

Naturvårdsverket. (2024). *Buller*. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/buller (2025.04.28)

Nilsson, R. (2009). *BULLERDÄMPANDE BELÄGGNINGAR BULLERDÄMPANDE BELÄGGNINGAR UTVÄRDERING & UPPFÖLJNING AV PROVSTRÄCKOR PÅ E4 och E18*. https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_001101_001200/Publikation_001112/SBUF_TYST_ASFALT%20_091119.pdf (2026.01.17)

Renterghem, T. V., & Botteldooren, D. (2011). Building and Environment. Vol.46. *In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs*. https://www.researchgate.net/publication/224857600_In-situ_measurements_of_sound_propagating_over_extensive_green_roofs (2025.04.28)

Renterghem, T. V., Botteldooren, D., Hornikx, M., & Jean, P. (2012). EuroNoise. *Road traffic noise reduction by vegetated low noise barriers in urban streets*. https://www.researchgate.net/publication/234016309_Road_traffic_noise_reduction_by_vegetated_low_noise_barriers_in_urban_streets (2025.04.28)

Sveriges Kommuner och Landsting. (2017). *Skapa goda ljudmiljöer*. https://skr.se/download/18.4d2a888c19913a970f856919/1757317904309/SKL_S5_Skapa-goda-ljudmiljoer_webb.pdf (2026.01.17)

Stockholms stad. (2018). *Gröna lösningar för en bättre ljudmiljö*. https://miljobarometern.stockholm.se/content/docs/tema/buller/Grona-losningar-for-en-battre-ljudmiljo.pdf (2026.01.17)

Trafikverket. (2024). *Trafikverkets åtgärdsprogram enligt förordningen om omgivningsbuller 2024–2028*. https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1897593/FULLTEXT01.pdf (2025.10.05)

Uppsala kommun. (2024). *Handlingsplan för trafikbuller 2024-2028 KSN-2024-00081*. https://www.uppsala.se/contentassets/774ba44bd8bb4b409f32837ec16d84c7/24.-handlingsplan-for-trafikbuller-2024-2028.pdf (2025.05.02)

VINNOVA. (2022). *Slutrapport till Vinnova*. https://www.drivesweden.net/sites/default/files/2023-11/vinnova-slutrapport-till-vinnova.pdf (2025.04.28)

World Health Organization. (2019). *Environmental noise guidelines for the European Region*. https://www.who.int/europe/publications/i/item/9789289053563 (2025.04.28)

Winston, R. J., Al-Rubaei, A. M., Blecken, G. T., Viklander, M., & Hunt, W. F. (2016). Journal of Environmental Management. Vol.169. *Maintenance measures for preservation and recovery of permeable pavement surface infiltration rate – The effects of street sweeping, vacuum cleaning, high pressure washing, and milling*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715304412 (2025.04.28)