



CHALMERS



Elektromobilitens låga bulleremissioner, en möjlighet för Göteborgs Stads stadsutveckling

En akustisk undersökning och vision om stadens framtida
ljudmiljöer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

MIKAEL BERGQVIST

EXAMENSARBETE HÖGSKOLEINGENJÖR ACEX20-18-40

Elektromobilitens låga bulleremissioner, en möjlighet för Göteborgs Stads stadsutveckling

En akustisk undersökning och vision om stadens framtida ljudmiljöer

MIKAEL BERGQVIST



CHALMERS

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för teknisk Akustik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige, 2018

Elektromobilitens låga bulleremissioner, en möjlighet för Göteborgs Stads stadsutveckling
En akustisk undersökning och vision om stadens framtida ljudmiljöer
MIKAEL BERGQVIST

© MIKAEL BERGQVIST, 2018.

Handledare: Åsa Svensson, Miljöstrateg, Älvstranden Utveckling
Examinator: Patrik Höstmad, Avdelningen för teknisk akustik, Chalmers Tekniska Högskola

Examensarbete högskoleingenjör ACEx20-18-40
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för teknisk akustik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon: +46 (0)31-772 10 00

Omslag: Amsterdam Avenue, New York med retuscheringskapad av
forskningstudion Terreform Center for Advanced Urban Research (2015).

Göteborg, Sverige, 2018

Low noise emissions from Electromobility, an opportunity for the city of Gothenburg's urban planning

An acoustic study and vision of the city's future sound environments

MIKAEL BERGQVIST

Division of Applied Acoustics

Chalmers University of Technology

Abstract

This project investigates noise from urban traffic. The purpose of the project is to investigate the ways in which quiet vehicles can solve road traffic noise challenges and open up for further densification and development in the city of Gothenburg, Sweden. The analysis of the topic is carried out using laws and regulations, Gothenburg's environmental policy, traffic noise analysis and the vision and strategies for the 'RiverCity'.

High levels of road traffic noise emissions in Gothenburg affect the health of the city's inhabitants and the way the city can proceed its densification in relation to legislation and regulations. Measures to reduce road traffic noise can be done in several ways but are most effective at the source. Urban traffic noise can usually be divided into two main types of noise: propulsion noise and tire/road noise. The propulsion noise is the dominating noise emission source in vehicles at lower velocities.

Earlier research projects on electromobility and quiet zones such as '*CityHush*' (2012) have proved good results regarding noise level reductions in urban environments. Gothenburg's investments in electrified buses through the 'ElectriCity' project have indicated the city's interest in new infrastructural transport solutions. These solutions can imply noise reductions, which may affect Gothenburg's future urban development and sound environment. This project is divided into two phases. The first phase examines the research question with theory and sustainability criterias to form a future visionary state. The second phase answers the research question with available theories and methods.

The methodology to answer the research question includes literature studies, participation in workshops on electromobility and urban planning, interviews with researchers in acoustics and urban planners, estimates of road traffic noise and finally the development of alternatives to the current comprehensive plan. Estimates is done using The Nordic Prediction Method and the Nord2000 method which has specific inputs for noise emissions from light and heavy vehicles at different velocities. The input to the noise estimates is based on today's traffic and future traffic forecasts. Without specific noise inputs from electric vehicles, estimates in this project is made with the reasoning that electric vehicles has such quiet engines that their noise level is solely depending on the tire/road noise.

According to the resulting estimates, electrifying passing traffic is not an adequate solution to achive good sound environments. Electrification of traffic resulted in

estimated reduction of noise levels with around 0.4 - 2.5 dB(A) in the examined street section. Lower speed limits in combination with electrification of vehicles are estimated to reduce noise levels with around 6.2 - 11.4 dB(A) which in many areas of Gothenburg means a sufficient noise level reduction.

Electromobility with lower speed limits in the city can be an effective solution for enabling sustainable urban development.

Keywords: electromobility, noise, sustainability, urban development, densification

Sammanfattning

Det här projektet undersöker buller från tätortstrafik. Syftet är att undersöka på vilka sätt tysta fordon kan öppna upp för vidare förtätning, exploatering och byggnation i Göteborg. Analysen genomförs med hjälp av lagar och regelverk, Göteborgs Stads miljöpolicy, trafikbulleranalys och den antagna visionen och strategierna för Älvstaden.

Höga trafikbullernivåer i Göteborg påverkar många göteborgares hälsa och i sin tur hur staden kan förtätas i förhållande till lagstiftning och regelverk. Åtgärder för att sänka trafikbuller kan ske på flera olika sätt men är som effektivast vid källan. Trafikbuller kan vanligtvis uppdelas i två huvudsorter inom tätortstrafik: däck/vägbanebuller och framdrivningsbuller. Framdrivningsbullret också kallat motorljudsbuller är mest förekommande hos fordon i lägre hastigheter.

Tidigare forskningsprojekt om elektromobilitet och miljözoner som exempelvis '*CityHush*' (2012) har visat goda resultat gällande bullernivåsänkningar i stadsmiljöer. Göteborgs Stads satsningar i elektrifierade bussar genom projektet '*ElectriCity*' har visat stadens intresse för nya infrastrukturella transportlösningar. Dessa lösningar kan innebära bullersänkningar vilket kan påverka Göteborgs Stads framtida stadsutveckling och ljudmiljö. Projektet är uppdelat i två faser. Den första fasen undersöker frågeställningen med teori och hållbarhetskriterier samt bildar en vision om framtiden och den andra fasen svarar på frågeställningen med tillgängliga teorier och metoder.

Projektets frågeställning besvaras genom litteraturstudier, deltagande i workshops om elektromobilitet samt stadsplanering, intervjuer med akustiker och stadsplanerare, uppskattningar av trafikbuller och slutligen framtagande av alternativ till dagens detaljplan över Lindholmsallén. Uppskattningarna i projektet görs med den Nordiska beräkningsmodellen och Nord2000 som har specifik indata för bulleralstring från lätta och tunga fordon vid olika hastigheter. Indatan till bulleruppskattningarna är baserade på dagens trafik och framtida trafikprognoser. Utan specifik indata från eldrivna fordon har uppskattningarna i projektet gjorts med resonemanget att eldrivna fordon har så pass tysta motorer att dess bullernivåer beror enbart på däck/vägbanebullret.

Enligt studiens uppskattningar är det inte en tillräcklig insats att endast elektrifiera trafiken för att uppnå en god ljudmiljö. Elektrifiering av trafik innebar ljudtrycksnivåsänkningar omkring 0.4 - 2.5 dB(A) i undersökt gaturum. Hastighetssänkningar i kombination med elektrifiering uppskattas sänka bullernivån omkring 6.2 - 11.4 dB(A) vilket i många områden i Göteborg innebär en tillräcklig bullernivåsänkning.

Elektromobilitet med hastighetssänkningar i staden kan vara en effektiv lösning för att möjliggöra hållbar samhällsbyggnad.

Nyckelord: elfordon, elektromobilitet, buller, hållbarhet, stadsutveckling, förtätning

Förord

Sedan mina tidiga tonår har jag intresserat mig för hur städer utformas, utvecklas och drivs. Jag har över antalet år genomgått en rad olika upptäckter som både har inspirerat och avskräckt mig från att delta i en stads metabolism. Det här projektet är mitt examensarbete inom samhällsbyggnadsteknik och är i sin form avslutningen av min utbildning på Chalmers Tekniska Högskola. Innehållet har genererat nya stadsutvecklingsperspektiv hos mig och gett mig förutsättningar för fler visionära idéer om vad en stad är och kan bli.

Det här projektet har möjliggjorts av företaget Älvstranden Utvecklings visioner om alternativa stadsutvecklingslösningar. Jag vill därför börja med att tacka projektets handledare Åsa Svensson från Älvstranden Utveckling, för att ha bidragit med värdefulla kontaktpersoner, litteratur kring ämnesområdet samt feedback och tips vid behov. Jag vill också passa på att tacka min examinator Patrik Höstmad från avdelningen Teknisk Akustik på Chalmers Tekniska Högskola för att ha varit tillgänglig för ett gäng nyfikna frågor, tips av relevanta rapporter till mina litteraturstudier samt hans expertis och vägledning i utförandet av projektets uppskattningar.

Många tack till Jens Forssén från från avdelningen Teknisk Akustik på Chalmers Tekniska Högskola för att ha ställt upp i intervju och tillhandahållit beräkningsmetod till projektets uppskattningar. Tack till Lukas Memborn från Fastighetskontoret Göteborg för att ha ställt upp i intervju och delandet av relevanta stadsplaneringsperspektiv. Fortsättningsvis vill jag tacka Maria Rydberg från Miljöbron för att ha inlett det här projektets samarbete mellan student och företag. Miljöbrons arbete för att främja projekt mellan högskola och samhälle inom hållbarhet är något som jag värderar högt i dagens samhällsklimat. Tack, till alla experter från olika ämnesområden för att ha möjliggjort mitt arbete med det här projektet genom att ha delat sin ovärderliga kunskap och erfarenhet med mailkorrespondens, faciliterade intervjuer och workshops.

Jag vill uttrycka tack till mina vänner Alexander Zimmerman, Hampus Sandquist och Özlem Temur för värdefullt stöd och feedback i skrivandeprocessen. Ett stort tack till alla som jag har träffat genom Chalmers Students for Sustainability och styrelsen för att ha möjliggjort mitt arbete med mina hjärtefrågor samtidigt som jag har arbetat på det här projektet.

Slutligen vill jag tacka min familj och min vän Niki Vaghti Chalusi för att genom långa dagar och nätter alltid funnits som stöd för mig under projektets olika faser, vårterminen år 2018.

Mikael Bergqvist, Göteborg, juni 2018

Innehåll

Abstract	vi
Sammanfattning	vii
Förord	ix
Figurer	xv
Tabeller	xvii
Ordlista och förkortningar	xix
1 Introduktion	1
1.1 Vision Älvstaden	1
1.2 Projektets bakgrund	2
1.3 Syfte och frågeställningar	3
1.4 Avgränsningar	4
1.5 Rapportens huvuddrag	5
2 Teori	7
2.1 Ljudteori	7
2.1.1 Amplitud, frekvens, våglängd och ljudets hastighet	8
2.1.1.1 Amplitud	9
2.1.1.2 Frekvens	9
2.1.1.3 Våglängd	9
2.1.1.4 Ljudets hastighet	10
2.1.2 Ljudutbredning	10
2.1.2.1 Direkt ljud	10
2.1.2.2 Reflekterat ljud	10
2.1.3 Källtyp	11
2.1.3.1 Punktkälla	11
2.1.3.2 Linjekälla	12
2.1.4 Flera källor, sammanläggning av ljudkällor	13
2.1.5 Mänsklig upplevelse av ljud	13
2.1.5.1 Ljudstyrka	15
2.1.6 Frekvensspektrum, bandlängder och ljudtrycksnivåvägning	15
2.1.6.1 Oktavband	16

2.1.6.2	Tersband	16
2.1.6.3	Vägning av ljudtrycksnivå	16
2.1.6.3.1	A-vägning	16
2.1.6.3.2	C-vägning	17
2.1.7	Mätetal	17
2.1.7.1	Ljudtrycksnivå - L_p	17
2.1.7.2	Maximal ljudtrycksnivå - L_{max}	17
2.1.7.3	Ekvivalent ljudnivå - L_{eq}	18
2.1.7.4	Dag-kväll-natt-vägd årsmedelljudtrycksnivå - L_{den} . .	18
2.1.7.5	Natt-vägd ekvivalentnivå - L_{night}	18
2.2	Buller	18
2.2.1	Omgivningsbuller	18
2.2.2	Trafikbuller	19
2.2.2.1	Däck/vägbanebuller	19
2.2.2.2	Framdrivningsbuller	20
2.2.3	Lågfrekvent buller	20
2.3	Hälsoeffekter av trafikbuller	22
2.3.1	Inverkan av ljudets egenskaper	22
2.4	Styrdokument	23
2.4.1	Trafikbuller i Svensk lag	23
2.4.2	Ansvariga i trafikbullerfrågan	25
2.4.2.1	Åtgärdsarbete mot vägtrafikbuller	25
2.4.3	Reduktionstal	26
2.5	Samhällsplanering	27
2.5.1	Cities for People	27
2.5.2	Cittaslow	28
2.6	Mobilitet	29
2.6.1	Förbränningsmotordrivna fordon	29
2.6.2	Elektromobilitet	29
2.6.2.1	Akustisk skillnad mellan elektromobilitet och för- bränningsmotordrivna fordon	30
2.7	Datainsamlingsteori	31
2.7.1	Bullerberäkningar	31
2.7.1.1	Nord2000	31
2.7.1.2	Nordiska beräkningsmodellen	31
2.7.1.3	MATLAB	31
2.7.2	Intervjuteori	32
3	Metod fas I	33
3.1	Att formulera en frågeställning	33
3.1.1	Steg 1 - Definiera kriterier för hållbarhet	33
3.1.2	Steg 2 - Nulägesanalys	33
3.1.3	Steg 3 - Visionera framtida hållbara lösningar	33
3.1.4	Steg 4 - Undersök redan givna frågeställningar	34
4	Resultat fas I	35
4.1	Formulera en frågeställning	35

4.1.1	Steg 1 - Definiera kriterier för hållbarhet	35
4.1.1.1	Etisk analys	37
4.1.2	Steg 2 - Nulägesanalys	37
4.1.3	Steg 3 - Visionera framtida hållbara lösningar	40
4.1.4	Steg 4 - Undersök redan givna frågeställningar och komplettera för det här projektets syfte och frågeställning	41
5	Metod fas II	43
5.1	Datainsamling	43
5.1.1	Workshops	43
5.1.2	Intervjuer	44
5.2	Avgränsningar	45
5.3	Scenario design	45
5.3.1	Val av beräkningsområde	45
5.4	Uppskattningar	46
5.5	Elektromobilitet i stadsutvecklingsperspektiv	47
5.6	Drivkrafter och barriärer	47
6	Resultat fas II	49
6.1	Datainsamling	49
6.1.1	Workshops	49
6.1.2	Intervjuer	50
6.1.2.1	Lukas Memborn, Fastighetskontoret	50
6.1.2.2	Jens Forssén, Chalmers Tekniska Högskola	51
6.2	Strukturering av avgränsningar	52
6.2.1	Områdesspecifika bullernivåsänkningssmål	53
6.3	Scenario design	54
6.3.1	Val av beräkningsområde	54
6.3.2	Lindholmsallén	55
6.3.2.1	Insamling av relevanta parametrar	58
6.3.3	Scenarier	59
6.4	Uppskattningar scenarier	59
6.5	Elektromobilitet i stadsutvecklingsperspektiv	62
6.5.1	Möjligheter exploatering Lindholmsallén	62
6.5.2	Möjlighet till offentligt rum längst Lindholmsallén	64
6.5.2.1	Alternativ lösning till Lindholmsallén	67
6.5.2.2	Fler alternativ till Lindholmsallén	70
6.6	Samhällsplanering för en bättre ljudmiljö	71
6.7	Drivkrafter och barriärer	72
7	Diskussion	75
7.1	Lagar, regelverk och Göteborgs Stads miljöpolicy	75
7.2	Projektets metodologi	76
7.3	Resultatens rimlighet	77
8	Sammanfattning	79

8.1	Hur kan visionen för Göteborgs Stads gaturum med elektrifierad trafik se ut?	79
8.2	Vilka kriterier för hållbarhet bör tas i beaktande vid akustik i stadsplanering?	80
8.3	Vilka drivkrafter och barriärer har Göteborg i utvecklingen mot en stad med god ljudmiljö?	81
9	Rekommendationer för framtida studier	83
	Referenser	85
A	Bilagor	I
A.1	Frågeställningar till intervjuer	I
A.2	Uppskattningar	II

Figurer

1.1	Älvstadens områden och förtätningsmål till år 2050 (Älvstranden Utveckling, u. å.)	1
2.1	Schematisk representation av hörsel (Gollisch, T, Andreas, M. V. Herz & Public Library of Science, 2005)	7
2.2	Tryckvariationer $p_{\text{dynamiskt}}$, kring atmosfärstrycket p_{statiskt} över tid (Höstmad & Kropp, 2016a)	8
2.3	Sinusamplitud över tid med, peak-, rms- och medelamplitud. Våglängd och peak-to-peak visas också (Omegatron, 2007)	9
2.4	Infall $p_{1,i}(x,y,\omega)$ reflektion $p_{1,r}(x,y,\omega)$ och transmission $p_{2,t}(x,y,\omega)$. . .	11
2.5	Linjekälla och dess ljudtryck i form av cylindrisk yta (Höstmad & Kropp, 2016b)	12
2.6	Exempel på ljudtrycksnivåer i olika sammanhang (Höstmad & Kropp, 2016a)	14
2.7	Isophonkurvor med ljudtrycksnivåer längst y-axeln och frekvenser längst x-axeln (Höstmad & Kropp, 2016a)	15
2.8	Ljudtrycksnivåer indelade i olika bandbredder (Höstmad & Kropp, 2016a)	16
2.9	Trafikbullerkällorna i framdrivning och däck/vägbana i överst 30 km/tim respektive underst 50 km/tim (Boverket, 2008)	19
2.10	A- B- och C-vägningskurvors relativa nivåskillnader [dB] i funktion av frekvens (Lunds Tekniska Högskola [LTH] VTA 070, u. å.)	21
2.11	A- B- C-vägning i tabell med tersband (LTH VTA 070, u. å.)	21
2.12	Laddningsinfrastruktur och elfordon (CC0, 2017)	30
6.1	Gatusektion av Lindholmsallén från detaljplan 1480K-II-4554 (Stadsbyggnadskontoret, 2001)	55
6.2	Miljöförvaltningens bullerkarta över området Lindholmsallén	56
6.3	Retuscherad av Miljöförvaltningens bullerkarta över området Lindholmsallén	57
6.4	Stapeldiagram med uppskattade bullernivåer för dagens trafik	60
6.5	Stapeldiagram med uppskattade bullernivåer för trafikprognos 2035	61
6.6	Dagens gatusektion enligt gällande detaljplan (Göteborgs Stad, 2004)	66
6.7	Dagens översikt av gatuanvändning enligt gällande detaljplan (Göteborgs Stad, 2004)	66

6.8	Superkilen, Danmark, BIG - Bjarke Ingels Group - SUK - Superkilen Park (2012)	67
6.9	Amsterdam Avenue, New York med retuscherig (Terreform Center for Advanced Urban Research, 2015)	68
6.10	Los Angeles Figueroa Street Corridor Design (CRA/LA & Gehl Architects, 2010)	68
6.11	Alternativ gatusektion baserat på stadsutvecklingsteorier från Gehl (2013)	69
6.12	Alternativ översikt av gatuanvändning med bruna ytor som potentiella areor för exploatering och byggnation	69

Tabeller

2.1	Reduktionstal för olika typer av väggar (Larsson, 2015)	26
6.1	Bullernivåsänkingsmål för god ljudmiljö	53
6.2	Parametrar för dagens trafik på Lindholmsallén	58
6.3	Parametrar med hänsyn till trafikprognos på Lindholmsallén	58
6.4	Resultat uppskattningar med Nord2000 och Nordiska beräkningsmo- dellen	60

Ordlista och förkortningar

- **A-vägd ljudtrycksnivå** beskriver nivåer av ljudfrekvenser som det mänskliga hörselorganet uppfattar normalt. A-vägda ljudtrycksnivåer skrivs dB(A) istället för dB.
- **Bostadsrum** avser alla rum i permanentbostäder och fritidshus. I termen ingår rum för sömn och vila samt rum för daglig samvaro.
- **Buller** definieras enligt svensk lagstiftning som oönskat ljud.
- **C-vägd ljudtrycksnivå** används sällan och beskriver vanligtvis höga ljudnivåer. Mätningssmetoden kan också användas för att mäta lågfrekvent buller. C-vägda ljudtrycksnivåer skrivs dB(C) istället för dB.
- **DALY** skrivs ut 'disability adjusted life years och är ett mått för att beräkna sjukdomsördan hos befolkningar. Måttet tar hänsyn för tidig död och funktionsnedsättning och är utvecklat av WHO.
- **Decibel** är en måttenhet på en logaritmiskt skala som används för att mäta ljuds ljudstyrka. Decibel beskriver hur högt ett ljud är relativt till en referensnivå. Måttet skrivs ut dB.
- **Ekvivalentnivå** är ett medelvärde av ljudtrycksnivån över tidsperioden T. Mäts vanligtvis över 8 eller 24 timmar. Anges i dB.
- **Elektromobilitet** betecknar alla fordon som drivs av elektriska fordon.
- **Akustisk frekvens** anges som ljudvågssvängningar inom givet tidsintervall. Frekvens anges i Hz vilket anger antal svängningar per sekund.
- **Gränsvärde** är mätbara värden som visar nivåer som ska understigas för att markanvändningen ska tillåtas.
- **Ljuddämpad sida** är en sida med en ekvivalentnivå under 45 dB(A) mellan 06:00 - 22:00 och sedan mellan 22:00 - 06:00 ska den ljuddämpade sidan vara under 40 dB(A).
- **Ljudkälla** är en emitterande källa av ljud som sänder ut vågor till det omgivande mediet.
- **Ljudtrycksnivå** L_p , är ett ljuds ljudstyrka i förhållande till en referensnivå. Ljudtrycksnivån är uttryckt i dB.
- **Lågfrekvent buller** är buller i frekvenser mellan 20 - 200 Hz.
- **Nord2000** är en beräkningsmodell för vägtrafikbuller som kan hantera fler parametrar än den Nordiska beräkningsmodellen.
- **Nordiska beräkningsmodellen** är en beräkningsmodell för vägtrafikbuller. Modellen utgår från trafikmängder, trafikslag, hastighet, terräng och bebyggelse.
- **Olägenhet** är enligt miljöbalken en störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka en människas hälsa menligt i fysisk eller psykisk

mening.

- **Phon** är enheten för upplevd ljudstyrka av rena toner.
- **Reduktionstal** R , är en konstruktions förmåga att reducera ett luftljud.
- **Riktvärde** är mätbara värden som visar nivåer som bör understigas för att markanvändningen ska bedömas som lämplig.
- **Tyst sida** är en sida med en dygnsekvivalent ljudtrycksnivå som är lägre än 45 dB(A).
- **WHO** skrivs ut 'World Health Organization' och är en organisation som arbetar för att informera om och gynna den mänskliga globala hälsan.
- **ÅDT** är en förkortning av 'Årsdygnstrafik' och är det genomsnittliga trafikflödet per dygn mätt som fordon per dygn under ett år.

1

Introduktion

1.1 Vision Älvstaden

”Älvstaden ska vara öppen för världen. Den ska vara inkluderande, grön och dynamisk. Den ska utformas så att den helar staden, möter vattnet och stärker den regionala kärnan. För att lyckas med detta krävs aktiv öppenhet, samarbete, kunskapsutveckling och ett tydligt ledarskap.” (Älvstranden Utveckling, 2015)



Figur 1.1: Älvstadens områden och förtätningsmål till år 2050 (Älvstranden Utveckling, u. å.)

Visionen Älvstaden växte fram ur ett behov av hållbar stadsutveckling i Göteborg. Genom omfattande dialog- och idéarbete som inkluderat göteborgare, ledande experter inom stadsutveckling, näringsliv och akademi byggdes en bild av hur Göteborg bör utformas och utvecklas. Älvstadens vision och strategier antogs oktober 2012 av Göteborgs Stad och 2013 fick Älvstranden Utveckling uppgift att driva förverkligandet av visionen (Göteborgs Stad, 2012b).

I visionen står det hur Älvstaden kommer utveckla Göteborgs styrkor och vända stadens utmaningar till drivkrafter. Strategierna som ligger till grund för stadens stadsutveckling är enligt Vision Älvstaden (Göteborgs Stad, 2012b):

- **'Hela staden:** *Vi ska bygga samman staden över älven, den ska helas fysiskt och socialt.'*
- **'Möta vattnet:** *Vattnet ska vara närvarande i stadsrummet, det ska vara en tillgång för alla.'*
- **'Stärka kärnan:** *För att möta de utmaningar som vi står inför måste kunskaperna och idéerna hos alla - stora som små - tas tillvara och utvecklas.'*

Strategierna för Vision Älvstaden kan sammanfattas med att Göteborg genom förtätning runt Göta Älv och kraftsamling i olika noder i staden kommer att skapa nya förutsättningar för en mer hållbar stad ur ett socialt, ekologiskt och ekonomiskt perspektiv (Göteborgs Stad, 2012b).

1.2 Projektets bakgrund

Världen står inför komplexa utmaningar i arbetet för hållbar utveckling och centrala ämnen är urbanisering och fler människors behov av transportion (EEA, 2014). Städer som under lång tid har påverkats av bilismen har hamnat i inlåsningseffekter med stadsstrukturer och infrastruktur som stödjer ett transportsystem som är näst intill helt beroende av fossila bränslen (Gröndahl & Svanström, 2011). En omställning till andra stadsplaneringslösningar och andra energislag kommer att ta tid men är i dagsläget nödvändigt för en fortsatt hållbar samhällsutveckling.

Urbaniseringen och således förtätningen av städer sägs, trots mer koncentrerade utsläpp av växthusgaser och förbrukning av energi leda till totala minskade utsläpp genom kortare resvägar (Boverket, 2016). Med fler invånare följer städers större ansvar för både den framtida globala och lokala miljön samt stadens befolknings hälsa och välmående (Gröndahl & Svanström, 2011). Världshälsoorganisationen också kallat World Health Organization (WHO) (2011) har framfört studier som påvisar att dagens transportsystem alstrar bullernivåer som utsätter städer för ohälsosamma miljöer och folkhälsoproblem. Buller och främst trafikbuller, har enligt WHO klassats som världens näst största hälsopåverkande utsläpp (efter luftföroreningar) och kostar världen årligen miljontals hälsosamma år (WHO, u. å.-a). Om god hälsa ska uppnås i staden är det viktigt att staden har en god bebyggd miljö som skyddar invånarna och besökarna från bullrets negativa hälsoeffekter (Sveriges miljömål, u. å-a).

Göteborg växer i hög takt i linje med planerna att förtätas med cirka 150 000 fler boende enligt rapporten *'Strategi för Göteborg 2035 utbyggnadsplanering'* (2014c). Idag är det många platser i Göteborg där riktvärdena för trafikbuller vid fasad inte är godkänd för att säkerhetsställa god ljudmiljö och är således ingen god bebyggd miljö (Göteborgs Stad, u. å-b). Dessa bullernivåer måste aktörer inom kommunen och entreprenörer förhålla sig till genom lagar och regelverk om exploatering och

byggnation (Boverket, 2016).

För att möta utmaningen med trafikbuller arbetar staden med åtgärdsprogram mot buller och en systematisk bullerkartläggning som förnyas vart femte år (Göteborg, 2018). Andra åtgärder inkluderar lösningar med hastighetssänkningar, trafikregleringar, dubbdäcksförbud, miljözoner och styrningar för att befolkningen ska använda tystare transportmedel som exempelvis cykel (Göteborg, u. å-a).

Eldrivna fordon är märkbart tystare och dessutom kan de använda drivmedel som inte bidrar till högre halter av luftföroreningar (Holmes & Larsson, 2016). Det finns regionalt intresse att bearbeta trafikbuller från källan i Västra Götaland där projektet ‘*ElectriCity*’ och elektromobilitet kan öppna upp möjligheter för staden inom stadsutveckling (ElectriCity, u. å.).

Det är Älvstranden Utvecklings visioner som har inlett det här projektet och har genom Miljöbron nått ut med givet syfte och frågeställning (Miljöbron, 2018). Studier inom programmet samhällsbyggnadsteknik, intresse för hållbarhet och möjligheten att få undersöka framtida lösningar inom stadsutveckling har drivit det här examensarbetet.

1.3 Syfte och frågeställningar

Projektets syfte är att besvara frågeställningen ‘**Hur kan visionen för Göteborgs Stads gaturum med elektrifierad trafik se ut?**’ och genom den undersöka i vilken utsträckning tysta fordon kan påverka Göteborgs stadsutveckling med avseende på minskat trafikbuller. Med akustik och hållbarhet som infallsvinkel formulerades sekundära frågor till frågeställningen:

‘Vilka kriterier för hållbarhet bör tas i beaktande vid akustik i stadsplanering?’

‘Vilka drivkrafter och barriärer har Göteborg i utvecklingen mot en stad med god ljudmiljö?’

Huvudsyftet med det här examensarbetet är att sammanställa och analysera relevant data om frågor inom stadsbyggnad, trafikplanering och hållbart resande med målet att skapa underlag för fortsatt arbete för god ljudmiljö i Göteborgs Stad.

Slutligen ska det här projektet öka medvetenhet om problematiken med dagens transportsystem genom att presentera stadens bullerproblematik och dess hälsoeffekter.

1.4 Avgränsningar

Det här projektet fokuserar på att undersöka trafikbuller i förhållande till Göteborgs Stads bullersituation och är därmed avgränsad till kommunens geografiska utbredning. Projektet förhåller sig till de nuvarande lagarna och reglerna gällande buller.

Vidare avgränsning till projektet är att uppskattningarna endast avser luftburet vägtrafikbuller med befintliga tillgängliga beräkningsmodeller. Bullret från fordonen har avgränsats till källstyrkor från bullerberäkningsmetoden 'Nord2000' och endast personbilar och 6-axlig tung trafik har undersökts i uppskattningarna. Indatan till uppskattningarna har baserats på trafikflödesmätningar och trafikprognoser och har inte tagit hänsyn till ytterligare framtida inverkningar på trafiken.

Akustik varierar i olika väder och gatuutrymmen men dessa skillnader är oberäknade i det här projektet. Anledningarna till undantagen är att väder inte har en signifikant påverkan på ljudtrycksnivåer i korta avstånd som gaturum. Gällande akustikens variationer i gatuutrymmen är det främst bebyggelsen längst gatans sidor som påverkar rummets ljudtrycksnivåer där rummets detaljerade gatumöblering har mindre relevans. Ljudförhållandena som dessa två faktorer kan åstadkomma är förhållandevis litet i jämförelse med utförda ljudtrycksnivåuppskattningar och beräknas därför inte.

Studien kommer inte att undersöka hälsonyttorna av minskat partikelutsläpp som bytet från konventionella förbränningsmotorer till elektromobilitet kommer att innebära.

1.5 Rapportens huvuddrag

Den här sektionen beskriver huvuddragen av innehållet i det här examensarbetet. Kapitel 1 'Introduktion' är exkluderat här. Rapportens huvuddrag kan användas av läsaren för att förstå syftet bakom varje följande kapitel.

Kapitel 2 'Teori' beskriver projektets bakomliggande teorier, principer och verktyg som är erhållna genom litteraturstudier och möten med områdesexperter.

Kapitel 3 'Metod fas I' beskriver metodologin som användes under fas I för att konkretisera den lokala utmaningen inom hållbarhet gällande stadsplanering och trafikbuller för att slutligen formulera frågeställningen till det här arbetet.

Kapitel 4 'Resultat fas I' redovisar resultaten som genererades under fas I och avslutas med frågeställningen till det här projektet.

Kapitel 5 'Metod fas II' beskriver metodologin som användes under fas II för att besvara projektets frågeställning. I fas II beskrivs vilka metoder som användes genom projektet datainsamlingsmetoder och uppskattningar.

Kapitel 6 'Resultat fas II' redovisar resultaten som genererades under fas II av projektet. Resultaten från fas II beskriver och besvarar frågeställningen som genererades under fas I.

Kapitel 7 'Diskussion' undersöker resultaten som har genererats under fas I och fas II och om frågeställningen har besvarats. Diskussionen förs genom att diskutera lagar och Göteborgs miljöpolicy, projektets metodologi och sedan resultatens rimlighet.

Kapitel 8 'Sammanfattning' redovisar intressanta resultat som erhöles genom projektet.

Kapitel 9 'Rekommendationer för framtida studier' presenterar ett antal rekommendationer om hur projektet kan fortsättas och andra infall som kan vara intressanta att studera vidare.

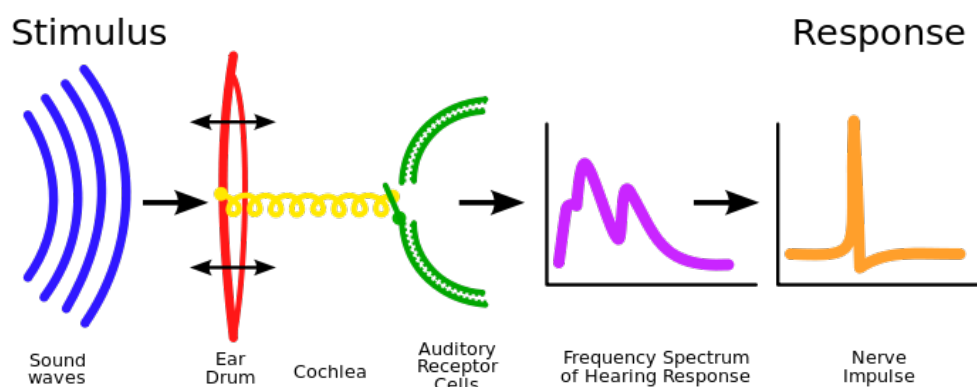
2

Teori

I det här kapitlet presenteras teorin som ligger till grund för det här projektets hypotes, metodik och diskussion. Litteraturstudien inleds med ljudteori och ljudets definition (se sektion 2.1), därefter presenteras vad buller är (se sektion 2.2 sida 18), hälsoeffekterna av buller (se sektion 2.3 sida 22) och sedan lagstiftning inom akustik (se sektion 2.4 sida 23). Efter det presenteras stadsplaneringsteorier (se sektion 2.5 sida 27). Teoridelen fortsätter med en beskrivning av mobilitet (se sektion 2.6 sida 29) och avslutas sedan med datainsamlingsteori (se sektion 5.1 sida 43).

2.1 Ljudteori

Ljud definieras av Höstmad och Kropp (2016a) som ett fysiskt fenomen där ljud är tryckskillnader som utbreder sig i form av vågor i medium. Ljud delas vanligtvis upp i luftburet ljud, undervattensljud och strukturburet ljud. Det här projektet behandlar luftburet ljud och följande ljudteori kommer inte redogöra för andra ljud.



Figur 2.1: Schematisk representation av hörsel (Gollisch, T, Andreas, M. V. Herz & Public Library of Science, 2005)

Luftburet ljud uppkommer enligt Hansen och World Health Organization (WHO) (1995) av mekaniska processer som uppstår av exempelvis vibrerande strukturer eller accelererande partiklar från gas och värmetransport. Sådana fysiska förändringar ger upphov till molekyrlörelser i ett medium som sedan för vidare energin genom molekylkrockar. Med rätt förutsättningar kan dessa krockar forma ljudvågor som

utbreder sig och kan sedan uppfattas som ljud från en källa (Hansen & WHO, 1995).

Ljud som kan uppfattas av mänskliga hörselorgan är tryckskillnader i förhållande till atmosfärstrycket (Höstmad & Kropp, 2016a). Eftersom tryckskillnader i atmosfären sker över längre tidsperioder kan dessa inte uppfattas som ljud av människor. Atmosfärstrycket benämns av dessa anledningar som ett statiskt tryck och kan ofta antas som konstant över den beaktade tidsperioden.

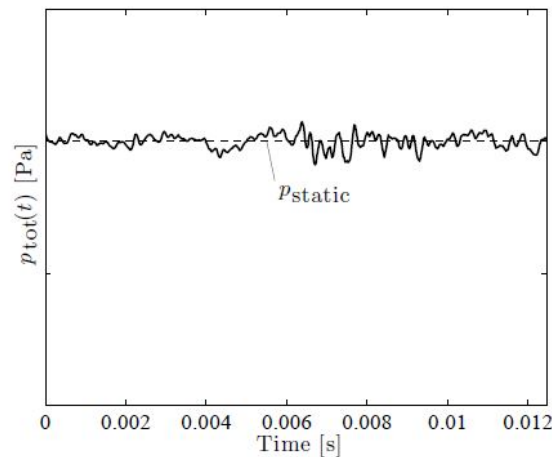
Ljudtrycket är ett tryck som är mänskligt uppfattbart och har till skillnad från atmosfärstrycket en dynamisk skillnad över tid (Höstmad & Kropp, 2016a). Det är skillnaden mellan det statiska atmosfärstrycket och det dynamiska ljudtrycket som mäts för att uppskatta ljudens egenskaper. Det dynamiska ljudtrycket definieras $p_{\text{dynamiskt}}(t)$, med t som står för tiden (Höstmad & Kropp, 2016a). Tryck har enheten Pascal [Pa] vilket också kan benämnas som newton per kvadratmeter [N/m²].

Luftburet ljudtryck som varierar över tid definieras som (Höstmad & Kropp, 2016a):

$$p_{\text{tot}} = p_{\text{statiskt}}(t) + p_{\text{dynamiskt}}(t) \quad (2.1)$$

$$p_{\text{statiskt}}(t) = 101.35 \text{ kPa} \quad (2.2)$$

Det statiska trycket varierar med höjd över havet och med låg- och högtryck, är typiskt cirka 101.35 kPa.



Figur 2.2: Tryckvariationer $p_{\text{dynamiskt}}$, kring atmosfärstrycket p_{statiskt} över tid (Höstmad & Kropp, 2016a)

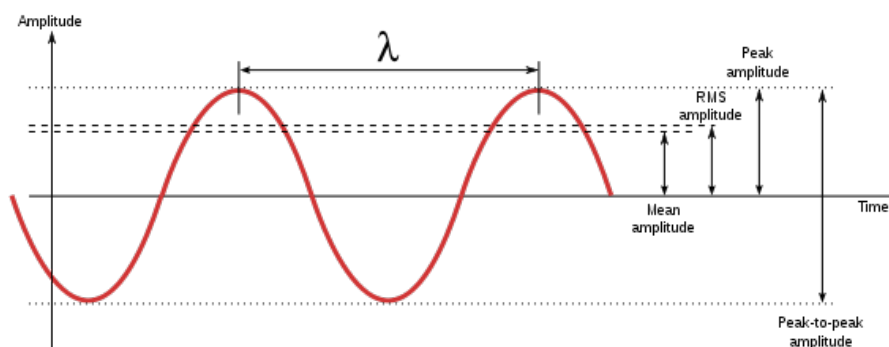
2.1.1 Amplitud, frekvens, våglängd och ljudets hastighet

Ljud omger oss hela tiden och för att förstå ljud och dess effekter har ljudens egenskaper definierats med olika kvantiteter (Höstmad & Kropp, 2016a). Dessa kvantiteter kan sedan användas för att karaktärisera ljud. Vid ljudrelaterade beräkningar används vanligtvis kvantiteterna amplitud, frekvens, våglängd och hastighet (Hansen

& WHO, 1995). Tid är också en kvantitet som används i ljudberäkningar där begreppet periodtid $[T]$, beskriver vilken tid det tar för en cykel av en ljudvåg att passera en viss punkt (Höstmad & Kropp, 2016a).

2.1.1.1 Amplitud

En amplitud är ett avstånd mellan ett maxvärde och ett nollvärde i en svängningsrörelse, i akustisk mening är amplituden det högsta ljudtrycket som uppnås under en period (se följande figur 2.3) (Hansen & WHO, 1995). Amplituden är tryckskillnader som definieras som maximal tryckamplitud och har enheten Pascal $[Pa]$. Det är amplituden som används för att beräkna hur högt ljudet uppfattas, en stor tryckskillnad ger ifrån sig ett högre ljud (Hansen & WHO, 1995). Ljudvågor dämpas med avståndet från källan på grund av ljudets energiförluster och det är alltså amplituden som minskar medan periodtiden är densamma.



Figur 2.3: Sinusamplitud över tid med, peak-, rms- och medelamplitud. Våglängd och peak-to-peak visas också (Omegatron, 2007)

2.1.1.2 Frekvens

Frekvensen är antalet repetitioner i ett givet tidsintervall som definieras som antalet tryckskillnader i ett medium under en period (Hansen & WHO, 1995). Kvantiteten mäts med enheten hertz $[Hz]$ som är antalet cykler per sekund. En tidsperiod $[T]$ förhåller sig till frekvensen $[f]$ och uttrycks med ekvationen (Hansen & WHO, 1995):

$$T = 1/f \quad (2.3)$$

2.1.1.3 Våglängd

En våglängd är avståndet mellan repeterande moment i ett vågmönster och definieras som distansen en tryckvåg kan röra sig under en cykel (Hansen & WHO, 1995). Våglängden betecknas $[\lambda]$ och har enheten meter $[m]$ (se ovan figur 2.3) (Hansen & WHO, 1995). Frekvenser har olika våglängder där 100 Hz (låg frekvens) har våglängden $\lambda = 3.5$ m, 1000 Hz (medel frekvens) har våglängden $\lambda = 35$ cm och 10 kHz (hög frekvens) har $\lambda = 35$ mm (Hansen & WHO, 1995).

Våglängden $[\lambda]$ ges av ljudhastigheten $[c]$, genom frekvensen $[f]$ med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016a):

$$\lambda = c/f \quad (2.4)$$

2.1.1.4 Ljudets hastighet

Ljudets hastighet också kallad utbredningshastighet benämns $[c]$ och har enheten meter per sekund $[m/s]$. Ljudets hastighet i luft är 343 m/s vid 20°C och 1 atmosfärstryck (Hansen & WHO, 1995). Vid andra temperaturer runt 20°C kan ljudhastigheten beräknas med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016a):

$$c = \sqrt{401.37T} \propto \sqrt{T} \quad (2.5)$$

Där $[T]$ är temperaturen med enheten Celcius $[^{\circ}C]$.

2.1.2 Ljudutbredning

Spridning av luftburet ljud utomhus sker med direkt- eller reflekterat ljud men förekommer vanligtvis som en blandning av de två fallen (Ljudlandskap, 2007). Lösningar som förändrar akustiken i ett rum eller landskap kan göras med kunskap om definierad ljudspridning och den dominerande ljudutbredningen.

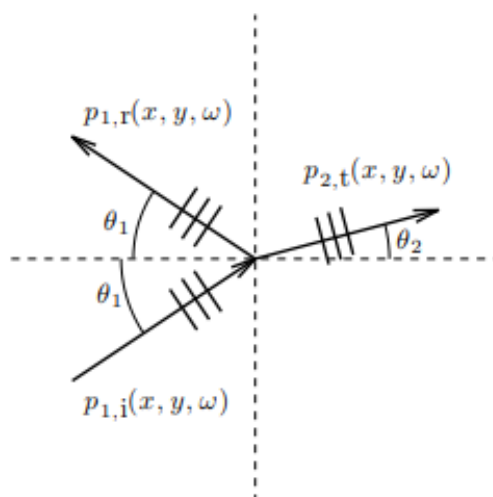
2.1.2.1 Direkt ljud

Det direkta ljudet från en ljudkälla är ett ljud som går direkt till mottagare, utan begränsningar längst vägen (Ljudlandskap, u. å.).

2.1.2.2 Reflekterat ljud

Det reflekterade ljudet från en ljudkälla är ett ljud som har påverkats av reflektion minst en gång från det omgivande rummet på sin väg till mottagare (Ljudlandskap, u. å.). Teoretiskt definieras denna reflektion med att ljudvågen når en ideal rand där övergången mellan medier sker på tre sätt (Hansen & WHO, 1995):

- En del av ljudenergin $p_{1,r}(x,y,\omega)$ reflekteras mot randen
- Återstående ljudenergi $p_{2,t}(x,y,\omega)$ transmitteras över randen till det andra mediet
- En del av den transmitterade ljudenergin kommer att absorberas i det andra mediet



Figur 2.4: Infall $p_{1,i}(x,y,\omega)$ reflektion $p_{1,r}(x,y,\omega)$ och transmission $p_{2,t}(x,y,\omega)$ (Höstmad & Kropp, 2016c)

Om ljudvågen reflekteras, absorberas eller både och beror på den träffade randens reflektionsegenskaper och materialegenskaper som också kallas impedansen av materialet (Hansen & WHO, 1995). Reflektionskoefficienten hos ett material kan bestämmas av kvoten mellan reflekterad och infallande amplitud (Ljudlandskap, u. å.).

I de olika fallen så utbreder sig ljuden också olika beroende på adsorption i luften och meteorologiska förhållanden såsom temperatur, väder och vind (Ljudlandskap, u. å.).

2.1.3 Källtyp

Ljudutbredning beror på hur ljudkällan beter sig i rummet och akustik i stadsmiljöer behandlar främst två källtyper: punkt- och linjekälla (Ljudlandskap, u. å.).

2.1.3.1 Punktkälla

En punktkälla definieras som en försumbart liten sfär som en genererande ljudkälla (Ljudlandskap, 2007). En akustisk punktkälla genererar ljud med samma ljudstyrka åt alla håll (Hansen & WHO, 1995).

Ljudtrycksnivån runt en punktkälla kan beräknas med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016b):

$$L_p = L_W - 10 \log_{10} \left(\frac{4\pi r^2}{S_{\text{ref}}} \right) \quad (2.6)$$

Den resulterande ljudtrycksnivån L_p [dB] beräknas med ljudeffektsnivån L_W med enheten [dB], radien r med enheten [m] och referensytan $S_{\text{ref}} = 1\text{m}^2$.

Vid given ljudtrycksnivå L_p , reduceras den med 6 dB för varje dubblering av avstånd mellan källa och mottagare (Höstmad & Kropp, 2016b).

2.1.3.2 Linjekälla

En linjekälla definieras som en genererande källa längst en axel (Long, 2014). Ljudkällorna längst med axeln kan antingen bestå av en koherent källa längst axeln eller inkoherenta punktkällor längst axeln som emitterar olika ljudtrycksnivåer vilket kan användas för att representera vägtrafik (Ljudlandskap, u. å.). Kring axeln hos linjekällor bildar ljudtrycket en cylindrisk form (se figur 2.5 nedan) (Höstmad & Kropp, 2016b):

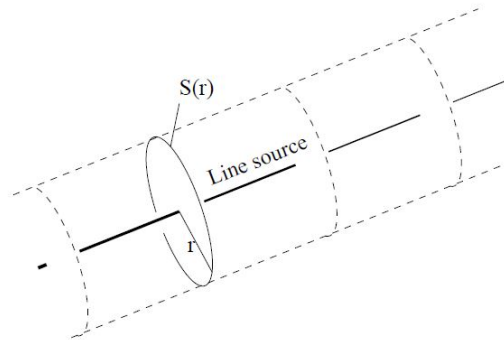


Figure 2.5: Linjekälla och dess ljudtryck i form av cylindrisk yta (Höstmad & Kropp, 2016b)

Ljudtrycksnivån runt en linjekälla kan beräknas med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016b):

$$L_p = L_W' - 10 \log_{10} \left(\frac{2\pi r}{l_{\text{ref}}} \right) \quad (2.7)$$

Den resulterande ljudtrycksnivån L_p [dB] beräknas med ljudeffektsnivån över enhetslängd L_W' med enheten [W/m], radien r med enheten [m] och en referenslängd l_{ref} med värdet 1 och enheten [m].

Vid given ljudtrycksnivå L_p [dB] reduceras den med 3 dB för varje dubbling av avstånd mellan källa och mottagare (Höstmad & Kropp, 2016b).

2.1.4 Flera källor, sammanläggning av ljudkällor

Ljudmiljöer består i verkligheten av kombinationer av ljud från olika källor och kombinationen av källorna ger upphov till totaljudet (Höstmad & Kropp, 2016a). När den totala ljudtrycksnivån från olika ljudkällor ska adderas krävs kunskap om ljudens relation. Källorna är antingen koherenta eller inkoherenta, termerna beskriver att källorna antingen är relaterade till varandra (koherenta) eller oberoende av varandra (inkoherenta) (Höstmad & Kropp, 2016a).

För att karaktärisera källornas ljud används kvantiteten p_{rms} som står för p, tryck i rms ‘root mean square’ (Höstmad & Kropp, 2016a). Under mätning tar p_{rms} hänsyn till att ljud är en tidsvariabel kvantitet genom att kvadrera ljudtrycket, medelvärdesbilda över tid och beräkna roten till detta medelvärde. Ett uppmätt p_{rms} -värde är på så sätt ett medelvärde av det kvadrerade ljudtrycket under ett tidsintervall.

Totalt tryck för två inkoherenta källor beräknas med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016a):

$$L_{p\text{tot}} = 10 \log_{10}(10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10}) \quad (2.8)$$

Den totala ljudtrycksnivån $L_{p\text{tot}}$ med enheten [dB] beräknas genom addering av ljudtrycksnivåer från olika källor enligt ekvationen ovan. Ljudtrycksnivåerna L_{p1} och L_{p2} har enheten [dB].

Beräkningar kan även generaliseras för 'N' [antal] okorrelerande källor (Höstmad & Kropp, 2016):

$$L_{p\text{tot}} = 10 \log_{10}(10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} + 10^{L_{p3}/10} + \dots + 10^{L_{pN}/10}) \quad (2.9)$$

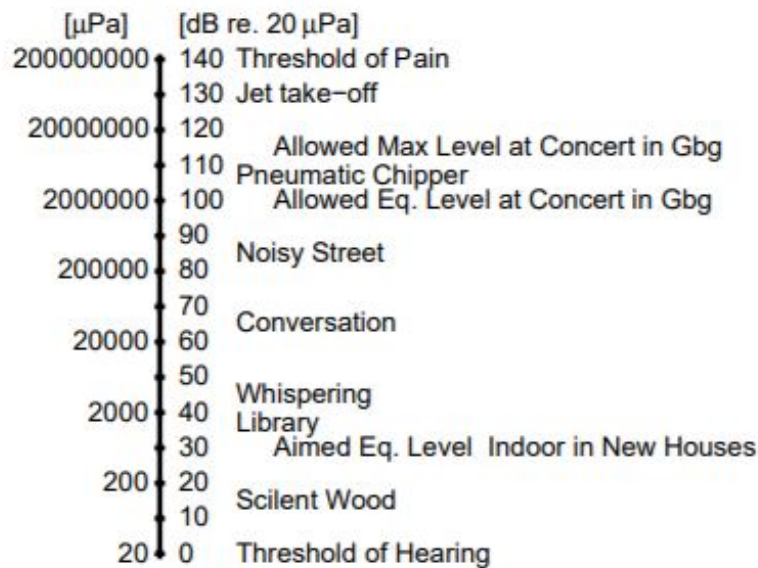
2.1.5 Mänsklig upplevelse av ljud

Upplevelserna av ljud har förklarats tidigare i teoridelen som tryckskillnader i medium. Förmågan att höra varierar hos människor men ett lägsta referenstryck används generellt som en internationell standard (Hansen & WHO, 1995). Det lägsta ljudtrycket som ett mänskligt hörselorgan generellt kan uppfatta i luftburna ljud (också kallat hörtröskeln) är $20 \mu\text{Pa}$. Mätning av ljudtryck resulterar vanligtvis i kraftigt spridda tal i en linjär Pa-enlig skala vilket i sin tur är svår att avläsa (Hansen & WHO, 1995). Mänsklig upplevelse av ljud uttrycks vanligtvis med ett logaritmiskt förhållande mellan mätt ljudtryck och den mänskliga hörtröskeln, detta förhållande uttrycks som ljudtrycksnivå eller ljudnivå och kallas decibel [dB]. I projektets fortsättning kommer termen ljudtrycksnivå att användas.

Matematiskt kan ljudtrycksnivån med $20 \mu\text{Pa}$ uttryckas som (Hansen & WHO, 1995):

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{\text{rms}}^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) [\text{dB}] \quad (2.10)$$

En nivå på $20 \mu\text{Pa}$ motsvarar 0 dB eftersom $\log 1 = 0$



Figur 2.6: Exempel på ljudtrycksnivåer i olika sammanhang (Höstmad & Kropp, 2016a)

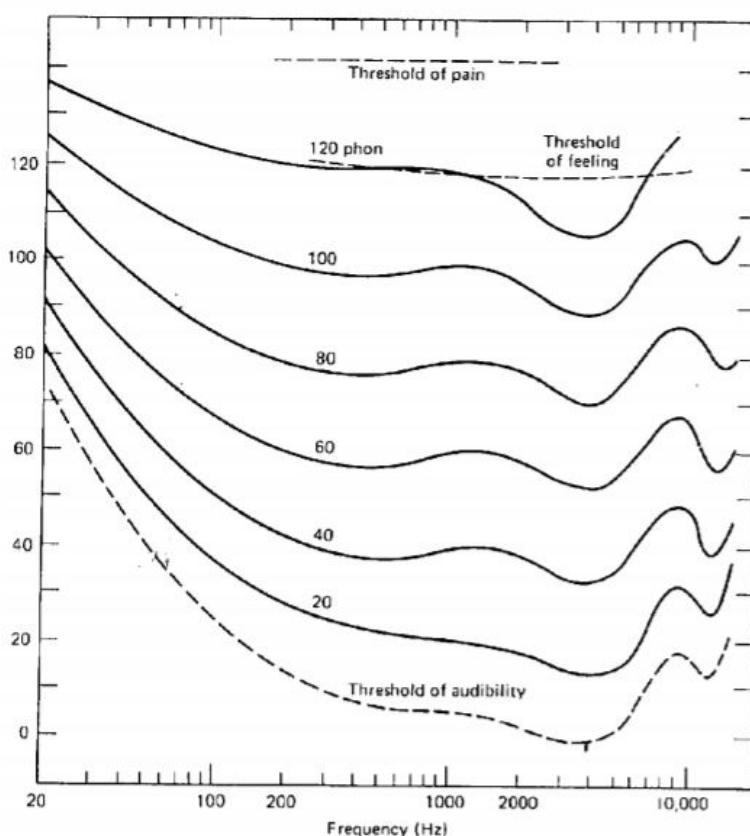
I figur 2.6 visas ett spektrum från $20 \mu\text{Pa}$ till 200 Pa som är smärtgränsen. Smärtgränsen är en ljudtrycksnivå som gör ont att höra och kan potentiellt skada mänskliga hörselorgan (Höstmad & Kropp, 2016a).

En ljudtrycksnivåskillnad på 3 dB upplevs vanligtvis som en skillnad i ljudstyrka och en 10 dB skillnad brukar upplevas som antingen en fördubbling eller halvering av ljudstyrkan (Hansen & WHO, 1995).

Ljudtrycksnivåer uppfattas som hörbara för människan i ett spektrum av frekvenser från 20 till 20000 Hz där lägre och högre nivåer än dessa frekvenser kallas infraljud respektive ultraljud (Hansen & WHO, 1995). Upplevelsen av ljud varierar över olika frekvenser och den mänskliga hörseln är känsligast mellan 2000 till 5000 Hz (Höstmad & Kropp, 2016). Ljudtrycksnivåer kan därför upplevas olika högt vid olika frekvenser, exempelvis kan en ren ton i 1000 Hz och 40 dB upplevas att ha högre ljudstyrka än en ren ton i 80 Hz och 50 dB (se figuren 2.7 sida 15) (Hansen & WHO, 1995).

2.1.5.1 Ljudstyrka

Mänsklig upplevd ljudstyrka av ett ljud uttrycks i *phons* och beskriver samma numeriska värde av ljudstyrka och ljudtrycksnivå vid en given frekvens (Hansen & WHO, 1995). Figuren 2.7 nedan presenterar olika isophonkurvor där en kurva generellt upplevs av människor som lika 'hög' ljudstyrka som funktion av frekvens. Den mänskliga smärtgränsen (threshold of pain) och hörtröskeln (threshold of audibility) har också plottats i figuren 2.7 nedan.



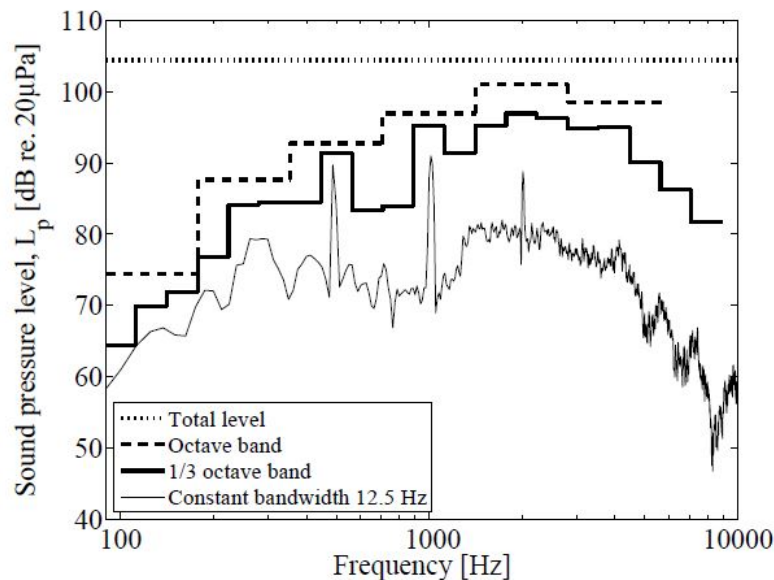
Figur 2.7: Isophonkurvor med ljudtrycksnivåer längst y-axeln och frekvenser längst x-axeln (Höstmad & Kropp, 2016a)

2.1.6 Frekvensspektrum, bandlängder och ljudtrycksnivåvägning

Anpassning av ljudtrycksnivåer efter mänsklig upplevelse av ljudstyrka har gjorts genom att dela upp frekvensspektrum i mindre delar kallade oktavband och tersband (Hansen & WHO, 1995). Det mänskliga hörbara frekvensspektrumet sträcker sig från 20 till 20000 Hz och delas upp i antingen oktavband eller tersband. Banden har konstant relativ bandbredd.

2.1.6.1 Oktavband

Oktavband delar det mänskligt hörbara frekvensspektrumet mellan 10 band (Hansen & WHO, 1995). Mittfrekvensen av ett oktavband är en fördubbling av det tidigare frekvensbandet. Det första oktavbandet har mittfrekvensen 31.5 Hz och det sista bandet har 16 000 Hz.



Figur 2.8: Ljudtrycksnivåer indelade i olika bandbredder (Höstmad & Kropp, 2016a)

2.1.6.2 Tersband

Ljudtrycksnivåer kan mätas med bättre precisering beroende på storleken av frekvensbandet (Höstmad & Kropp, 2016a). Oktavband kan delas upp i tre mindre band som kallas tersband och 1/3-oktavband. Tersband är en uppdelning av det mänskligt hörbara frekvensspektrumet mellan 30 band med den första mittfrekvensen på 25 Hz och den sista på 20000 Hz (Hansen & WHO, 1995).

2.1.6.3 Vägning av ljudtrycksnivå

Ljudfrekvenser och dess koppling till mänsklig upplevd ljudstyrka korrigeras i mätinstrumenten som mäter ljudtrycksnivåer (Höstmad & Kropp, 2016a). Mätinstrumenten använder filter som korrigerar ljudfrekvenser för att bäst efterlikna det mänskliga hörselorganets egenskaper att uppfatta ljudtrycksnivåer och dess ljudstyrkor (Hansen & WHO, 1995). Det är främst A-vägning som används för mätningen av en övergripande ljudtrycksnivå och dessa skrivs som dB(A) respektive dB(C) (Höstmad & Kropp, 2016a).

2.1.6.3.1 A-vägning använder A-filtret som är det mest använda frekvensfiltret vid ljudtrycksnivåmätning, eftersom det i grova drag efterliknar mänsklig uppfatt-

ning av ljudstyrka vid olika frekvenser. Med A-vägning modifieras frekvensen till lika ljudtrycksnivå som 40 phons, som kan ses i tidigare redovisad phonkurva (se figur 2.7 sida 15) (Hansen & WHO, 1995).

Vägningen är anpassad för att mäta ljudtrycksnivåer i intervallet 20 - 55 dB men används idag även under och över dessa nivåer (Höstmad & Kropp, 2016a). Ljudtrycksnivåmätning med denna typ av vägning är menat att användas vid mätning inomhus, i bostad och i sällskapsutrymmen (Hansen & WHO, 1995).

Enligt Socialstyrelsens Handböcker för Handläggning om buller (2008) så finns det en problematik med den dominerande användningen av A-vägningsfiltret. Filtret tar inte hänsyn till lågfrekvent ljud som är vanligt förekommande i stadsmiljöer och underskattar således ljudets ljudtrycksnivå.

2.1.6.3.2 C-vägning använder C-filtret och har en mättningsvidd mellan 55 - 85 dB som modifierar frekvensen till att följa 100 phon-kurvan (se figur 2.7 sida 15) (Hansen & WHO, 1995). C-vägning används sällan i mätningar men är i sig mer anpassad för att mäta lågfrekventa ljud än A-vägning (Höstmad & Kropp, 2016a). Detta kan ses i de relativa nivåskillanderna i tabellen 2.11 sida 21.

2.1.7 Mätetal

Ljudtrycksnivåer mäts olika baserat på olika tidsintervall och tider på dygnet där lagstadgade ljudtrycksnivåer definieras som ekvivalent ljudtrycksnivå, maximal ljudtrycksnivå, viktad ljudtrycksnivå under dag, kväll och natt (Larsson, 2015). De olika mätetalen vägs baserat på rms (tidigare förklaring sektion 2.1.4 sida 13), Fast (F), Slow (S) eller ekvivalentnivå. Fast har 125 millisekunder integrationstid medan Slow har 1000 millisekunders (1 sekund) integrationstid (Höstmad & Kropp, 2016a).

2.1.7.1 Ljudtrycksnivå - L_p

Ljudtrycksnivån, L_p , definieras enligt International Electrotechnical Commission (IEC) (u. å.) 801-22-07 som logaritmen av ljudtrycksskillnaden med rms-värdet av ljudtrycket och referensljudtrycket (hörtröskeln) över ett givet tidsintervall [dB]. Ljudtrycksnivån kan också beräknas med ekvationen (Höstmad & Kropp, 2016a):

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{\text{rms}}^2}{p_{\text{ref}}^2} \right) [dB] \quad (2.11)$$

2.1.7.2 Maximal ljudtrycksnivå - L_{max}

Maximal vägd ljudtrycksnivå, L_{max} är den högsta ljudtrycksnivån under en viss tidsintegrering, vanligtvis enligt standard F (Fast) med integrering över 125 ms (Socialstyrelsen, 2008).

2.1.7.3 Ekvivalent ljudnivå - L_{eq}

Ljudtrycksnivåer varierar över tid så kan den ekvivalenta ljudnivån användas för att ge ett medelvärde av ljudtrycksnivån över specifik mättningsperiod. Enligt IEC 801-22-16 definieras L_{eq} som energimedelvärdet av en varierande vägd ljudtrycksnivå under en viss tidsperiod. Integrationstiden för olika mätningar kan variera med mätningar över 8h och 24h, dessa är förekommande i svensk lag och skrivs L_{peq8h} respektive L_{peq24h} enligt förordningen om trafikbuller vid bostadsbyggnader (SFS 2015:216).

Baserat på vilken vägning som används vid mätning av ekvivalent ljudnivå kan benämningen skrivas om till L_{pAeq} för användning av A-vägning och L_{pCeq} för C-vägning.

2.1.7.4 Dag-kväll-natt-vägd årsmedelljudtrycksnivå - L_{den}

Dag-kväll-natt-vägning av årsmedelljudtrycksnivå mäts med ekvivalent ljudnivå över tjugofyratimmars-perioder och tar hänsyn till människors känslighet för ljud under olika tider på dygnet (Larsson, 2015). Dygnet delas i denna mätning upp i dagtid, 06:00 till 18:00 (12 timmar), kvällstid, 18:00 till 22:00 (4 timmar) och nattetid, 22:00 till 06:00 (8 timmar) med 5 dB tillägg till ekvivalenta ljudtrycksnivåer under kvällstid och 10 dB vid nattetid (Socialstyrelsen, 2008).

2.1.7.5 Natt-vägd ekvivalentnivå - L_{night}

I rapporten 'Night noise guidelines for Europe' av WHO (2009) står det att L_{night} är den ekvivalenta ljudtrycksnivån under nattetid mellan 22:00 till 06:00. Människor upplever vanligtvis ljud som mer störande under nattetid och de ekvivalenta ljudtrycksnivåerna beskrivs med 10 dB tillägg.

2.2 Buller

Buller anses idag vara ett stort miljö- och folkhälsoproblem och definieras som icke önskvärt ljud då dessa ljud enligt Plan- och bygglagen (PBL, SFS 2010:900-2) definieras som "olägenhet för människors hälsa avses en störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka hälsan menligt och som inte är ringa eller helt tillfällig".

2.2.1 Omgivningsbuller

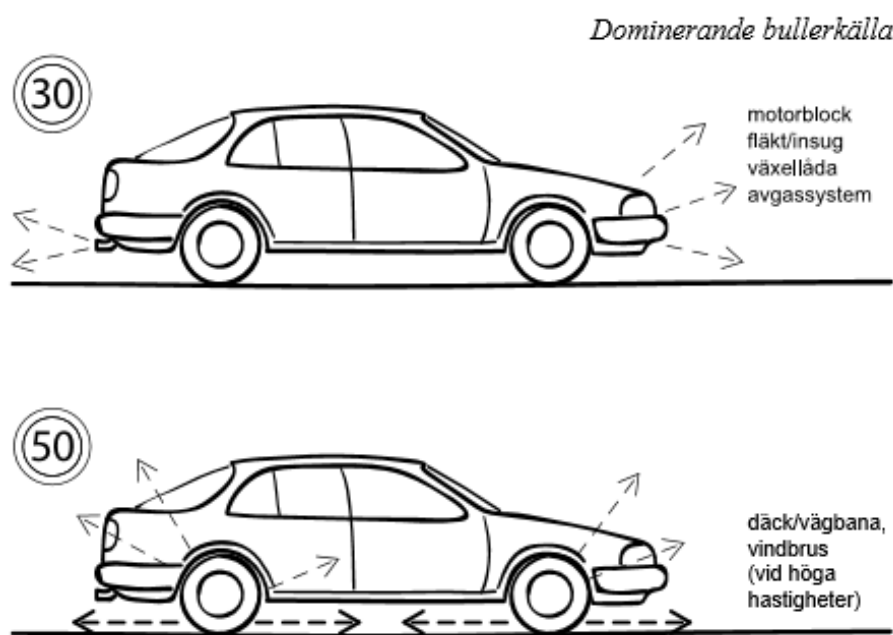
Samlingsbeteckningen för det buller som uppstår i våra samhällen är enligt Boverket (2015) omgivningsbuller och beteckningen omfattar industribuller, andra verksamhetsbuller och trafikbuller. I miljömålet '*god bebyggd miljö*' har Folkhälsomyndigheten (u. å-a) presenterat siffror där trafikbuller är det dominerande bullret och beräkningar tyder på att ungefär en miljon vuxna människor besväras av bullernivåer som deras hälsa negativt.

2.2.2 Trafikbuller

Motorfordon bullrar och är enligt Trafikverket (2017) är trafikbuller den dominerande bullerkällan i Sverige. Trafikbuller omfattar personbilstrafik, kollektivtrafik, godstransporter, järnvägstrafik samt andra nödvändiga stadstjänster såsom sopbils-hämtning. Det räcker enligt Göteborgs Stad (u. å-a) med endast 600 fordon per dygn på en stadsgata med 50 km/tim för att ljudtrycksnivån ska överskrida det gamla riktvärdet 55 dB(A) ekvivalentnivå.

Bullret från vägtrafik kan enligt Kropp (2010) delas in i två huvudgrupper: bullret från fordonets framdrivning alltså drivlina och avgassystem samt bullret som uppstår på grund av kontakt mellan däck/vägbana. Områden med tung trafik kan även ha problem med transienta bullerljud exempelvis bromsljud, vilket kan vara en störande bullerkälla som vanligtvis ej synliggörs i bullerberäkningsmodeller.

Trafikbullerkällorna är olika representerade vid olika fordonshastigheter vilket är en av de relevanta parametrarna som påverkar trafikbullernivåer, de andra är fordonstyp, fordonsantal och asfaltstyp (Boverket, 2008).



Figur 2.9: Trafikbullerkällorna i framdrivning och däck/vägbana i överst 30 km/tim respektive underst 50 km/tim (Boverket, 2008)

2.2.2.1 Däck/vägbanebuller

När ett fordon drivs framåt längst en väg uppstår en komplex genererande bullerprocess som inkluderar flera olika källor av ljud som uppstår mekaniskt, aerodynamiskt, friktionsrelaterat och utbredningsrelaterat (Kropp, 2011). Dessa bullergenererande processer uppstår på grund av kontaktkrafter, ojämnheter och vidhäftning mellan

däck och vägyta samt hur ljudet emitteras från källorna.

Enligt studier så ökar däck/vägbanebuller med hastighetsökningar och det har visat sig att ljudtrycksnivån stiger icke-linjärt (Kropp, 2011). Dubbdäck emitterar 2 till 6 dB högre ljudtrycksnivåer vid 50 km/tim än nya odubbade däck (Kropp, 2011). Bredare däck är bullrigare än smala däck och 40 millimeter tillagd bredd ökar emitterat buller med cirka 2 dB(A).

Däck/vägbanebuller är högfrekvent och har en dominerande ljudtrycksnivå först över 50km/tim (Kropp, 2010).

2.2.2.2 Framdrivningsbuller

Framdrivningsbuller är det gemensamma ljudet som alstras i motorsystemet vid fordon drift och uppstår i av processerna motorblock, fläkt/insug, växellåda och avgas-system (Boverket, 2008). Ljudtrycksnivån och frekvensen hos framdrivningsbullret beror på vilken typ av fordon det är och vilken hastighet fordonet har (Kropp, 2010). Vanligtvis är framdrivningsbullret den dominerande trafikbullerkällan hos personbilar under hastigheterna 30 km/tim och för tunga fordon under 50 km/tim (Kropp, 2010).

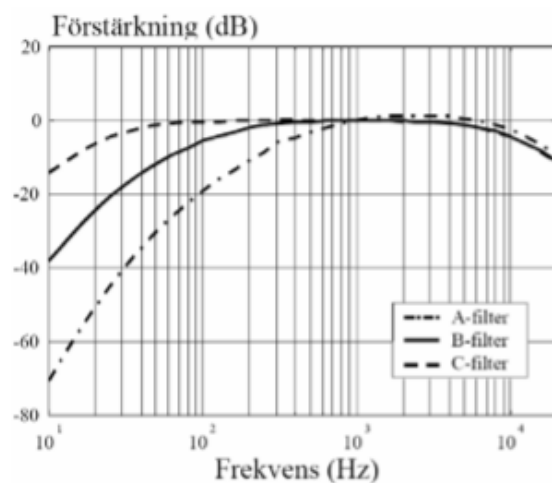
Tunga fordon alstrar vanligtvis högre ljudtrycksnivåer än lätta fordon och vid framdrivningsbuller kan lastbilar emittera lågfrekventa buller som är cirka 8 dB(A) högre än för lätta fordon (Kropp, 2010).

2.2.3 Lågfrekvent buller

Lågfrekvent ljud, i det här fallet trafikbuller, definieras som buller med ljudenergi inom frekvensområdet 20 till 200 Hz och har våglängder på 17 respektive 1.7 meter enligt Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller utomhus (FoHMFS 2014:13). Bullret emitteras genom fordonens framdrivning i låga hastigheter (Kropp, 2010). Idag saknas vägledande riktvärden i svensk lag som tar hänsyn till lågfrekvent buller menar Folkhälsomyndigheten i författningssamling FoHMFS 2014:13.

Det lågfrekventa bullret är svårare att dämpa med fasadväggar och fönster och det betyder att den relativa ljudtrycksnivån kan vara högre inomhus än vad som har beräknats vid fasadvägg (Forssén, 2018).

Vägningskurvor och tillhörande tabell i figur 2.10 respektive 2.11 (se sida 21) anger relativa ljudtrycksnivåskillnader i [dB] vid olika frekvenser av ljud.



Figur 2.10: A- B- och C-vägningskurvors relativa nivåskillnader [dB] i funktion av frekvens (Lunds Tekniska Högskola [LTH] VTA 070, u. å.)

Frekvens [Hz]	A-filter [dB]	B-filter [dB]	C-filter [dB]
10	-70.4	-38.2	-14.3
12.5	-63.4	-33.2	-11.2
16	-56.7	-28.5	-8.5
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.4	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	0.6	0	0
1600	1.0	0	-0.1
2000	1.2	-0.1	-0.2
2500	1.3	-0.2	-0.3
3150	1.2	-0.4	-0.5
4000	1.0	-0.7	-0.8
5000	0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2
16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000	-9.3	-11.1	-11.2

Figur 2.11: A- B- C-vägning i tabell med tersband (LTH VTA 070, u. å.)

2.3 Hälsoeffekter av trafikbuller

Världshälsoorganisationen, också kallad World Health Organization (WHO) är ett av Förenta Nationernas (FN) fackorgan som arbetar för att människor i världen ska uppnå så god hälsa som möjligt (WHO, u. å-b). Detta sammanställs genom vetenskapliga studier som distribueras till länder för att skapa beslutsunderlag som gynnar människors hälsa.

WHOs arbete har lett till ett högre medvetande om omgivningsbuller och dess inverkan på människors hälsa och enligt studier som har gjorts kan omgivningsbuller skada mänsklig hälsa och påverkar människors vardagsaktiviteter i skola, på jobbet, hemma och under fritid (WHO, 2011).

WHO har också utvecklat utvärderingsmetoden 'Disability-Adjusted Life Year' (DALY) för att kvantifiera hälsoeffekter och de samhällsekonomiska kostnaderna som olägenheter som exempelvis buller kostar i förlorade friska levnadsår (WHO, 2011). I en studie av WHO (2011) beräknades det att cirka 1 till 1.6 miljoner friska levnadsår förloras sammanlagt varje år på grund av trafikbuller i europeiska städer. Beräkningar från Göteborgs Stads Miljöförvaltning (u. å-b) uppskattade att cirka 1200 friska levnadsår går förlorade i Göteborg på grund av trafikbuller varje år. Vidare beräkningar hävdar att bullret kostar Göteborg över en miljard kronor per år.

2.3.1 Inverkan av ljudets egenskaper

Upplevelsen av ljud påverkas enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om buller samt allmänna råd om tillämpningen av föreskrifterna (2005) beroende av ljudets egenskaper i främst styrka, frekvens- och tidskaraktär. Forssén (2018) hävdar att den mänskliga upplevelsen av ljud och störningar korrelerar generellt väl med ljudtrycksnivån. Ökad ljudstyrka leder alltså till ökad störning. Varierande nivå och karaktär av ljud upplevs vanligtvis som mer störande än konstanta ljud enligt Arbetsmiljöverket (AFS 2005:16).

I rapporten 'Burden of Environmental noise' skriver WHO (2011) att hälsoeffekterna av trafikbullret beror till störst del av störningen som det medför, denna störning behöver inte medvetet upplevas utan kan ta formen av sömnstörning och kan under längre tid påverka hälsan negativt. Bullernivåer under 55 dB(A) ekvivalentnivå klassas där som goda ljudmiljöer. Det finns också starka kopplingar mellan sämre sömn och antalet negativa hälsoeffekter (WHO, 2011). Effekterna har visat sig börja vid 40 dB(A) ekvivalentnivå under nattetid utomhus.

En långvarig exponering av höga bullernivåer har enligt studier visat korrelation med ökad stress, hjärt- och kärlsjukdomar (exempelvis hjärtinfarkt, högt blodtryck och stroke) samt diabetes (WHO, 2011). Buller har också visat effekter av försämrad koncentration och inlärning hos exponerade barn.

WHO (2009) skriver i rapporten *'Night noise guidelines in Europe'* att bullernivåer utomhus vid fasad med ekvivalentnivåer över 55 dB(A) är farliga för hälsan. Enligt WHO ska ekvivalentnivån vid sömn i sovrummet vara max 30 dBA för att undvika sömnstörningar och helst ska en ha möjlighet att sova med öppet fönster utan att störas av buller.

Hälsoeffekterna av exponering av lågfrekvent buller har visat sig vara störd sömn, trötthet, irritation, huvudvärk och koncentrationssvårigheter (Socialstyrelsen, 2008).

2.4 Styrdokument

Trafikbullrets skadliga hälsoeffekter på människor har legat till grund för samhällsbyggnadstekniska vägledningar och riktlinjer som används som styrdokument för hållbar samhällsplanering enligt regeringens ändringar i Plan- och bygglagen (PBL, SFS 2014:902) och Miljöbalken (MB, SFS 2014:901) (Boverket, 2015). Styrdokumenten som används i samband med buller är EU-direktiv, lagstiftningar, förordningar och riktlinjer.

EU-direktivet 2002/49/EEG4 (Europeiska kommissionen, 2016) syftar till att medlemsländer gemensamt ska förhindra och förebygga mot omgivningsbuller. Direktivet menar att medlemsländer ska stå för framtagandet av bullerkarta, informera om hälsoeffekterna av omgivningsbuller samt arbeta fram handlingsplaner gällande bullerfrågan. Enligt bestämmelser ska handlingsplanerna tas fram vart femte år. I det här internationella samarbetet ska bullermätningarna och bullerberäkningarna använda samma enheter L_{den} och L_{night} för att ha ett gemensamt beräkningsunderlag som kan jämföras länder emellan. I rapporten *"Common Noise Assessment Methods in Europe"* (Europeiska kommissionen, 2016) beskrivs metodologin hur medlemsländer i EU bör kartlägga dess buller och kommer från och med slutet av 2018 bli obligatoriskt att använda.

2.4.1 Trafikbuller i Svensk lag

"Med olägenhet för människors hälsa menas en störning som enligt medicinsk eller hygienisk bedömning kan påverka hälsan menligt och som inte är ringa eller helt tillfällig" (MB, SFS 1998:808)

Miljöbalken (SFS 1998:808) samlar olika lagar och regler som tillämpas för att skydda människors hälsa och miljö. Miljöbalken beskriver att trafikbuller är en form av olägenhet som bevisligen har skadliga hälsoeffekter.

Lagar, förordningar och riktlinjer om buller tillämpas enligt Boverket (2017) så att människors hälsa och miljö skyddas från potentiella skador och olägenheter. I Sverige antog riksdagen nationella riktlinjer för trafikbuller i form av en proposition år 1997 (SFS, 1996/97:53). I propositionen angavs trafikbullernivåer som inte bör överskridas vid nybyggnation av bostäder eller ombyggnation. Sedan riksdagens beslut finns det styrdokument som uppdateras efter vad som är tekniskt möjligt och

ekonomiskt rimligt (Boverket, 2008).

Förordningen SFS 2004:675 har bestämmelser om att alla kommuner i Sverige med över 100.000 invånare ska ta fram bullerkartor som kartlägger kommunens bullersituation och upprätta åtgärdsprogram. I PBL (SFS 2010:900) finns bestämmelser som reglerar planläggningen av mark, vatten och byggande. Buller är i PBL likt MB behandlat som en olägenhet och lagen menar att bebyggelse ska lokaliseras till mark där bullerstörningar kan förebyggas.

Funktionskraven enligt bullerförordningen SFS 2017:359 för att tillåta nybebyggelse som klassas som hälsosam och med tillgång till goda ljudmiljöer är om bullernivåer från spårtrafik och vägar inte överskrider:

- 60 dB(A) ekvivalent ljudtrycksnivå vid bostadsbyggnades fasad, och
- 50 dB(A) ekvivalentnivå samt 70 dB(A) maximal ljudnivå vid en uteplats om en sådan ska anordnas i anslutning till byggnaden
- 65 dB(A) för en bostad om högst 35 kvadratmeter

Om ovanstående listade bullernivåer ändå överskrids bör:

- minst hälften av bostadsrummen i en bostad vara vända mot en sida där 55 dB(A) ekvivalent ljudnivå inte överskrids vid fasaden, och
- minst hälften av bostadsrummen vara vända mot en sida där 70 dB(A) maximal ljudnivå inte överskrids mellan klockan 22.00 och 06.00 vid fasaden.

Överskrids även dessa bullernivåer så bör nivån dock inte överskridas med 10 dB(A) maximal ljudnivå fem gånger per timme mellan klockan 06.00 och 22.00.

I Folkhälsomyndighetens allmänna råd om trafikbullers orsakade bullernivåer i bostadsrum inomhus (FoHMFS 2014:13) står fler riktvärden för A-vägda bullernivåer inomhus, de är:

- Maximalt ljud: 45 dB(A)
- Ekvivalent ljud: 30 dB(A)

Dokument som rör befintlig miljö är:

- Regeringens proposition 96/97:53
- FoHMS 2014:23
- Naturvårdsverkets vägledning vägar och järnvägar befintlig miljö
- Naturvårdsverkets riktvärden buller på skolgård från väg och spårtrafik
- ÅP buller 2014-2018
- Göteborgs stad miljöprogram

Dokument som rör nybyggnation:

- SFS 2015:216
- SFS 2017:359
- Göteborgs stad vägledning buller i planeringen (ljudtrycksnivåerna ska uppdateras efter SFS 2017:359)

2.4.2 Ansvariga i trafikbullerfrågan

Ansaret i trafikbullerfrågan är enligt Naturvårdsverket (u. å.) fördelad mellan olika aktörer då trafikbullret kan förebyggas både vid källan och i den utsatta miljön. Kommunen är ansvarig för att den fysiska planeringen ska följa lagstiftningen och dess intentioner där det i PBL står att bebyggelse och byggnadsverk ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till människors hälsa och säkerhet (Boverket, 2017).

Bedrivs miljöfarlig verksamhet har verksamhetsutövaren ansvar i form av undersökningsskyldighet (Naturvårdsverket, u. å.). Trafikbuller från riksvägar har Trafikverket enligt dessa bestämmelser ansvaret för att göra mätningar och andra kontroller vid trafikbullerproblematik. Vid kommunala vägar är det kommunen och vidare är det fastighetsägare eller motsvarande ansvarig för bullernivåer inomhus.

2.4.2.1 Åtgärdsarbete mot vägtrafikbuller

Vägtrafikbuller blir hälsofarligt enligt rapporten *'Ljudmiljön i stadens offentliga rum'* av Bergbrant, Börjesson och Sjöberg (2014) först när det finns en exponerad mottagare. Det står att åtgärdsarbetet för att reducera vägtrafikbuller kan ske från olika positioner: vid ljudkälla, längst ljudets utbredningsväg och vid mottagaren. För att bearbeta stadens ljudmiljö effektivt och systematiskt har strategiska dokument tagits fram för att uppnå det nationella miljömålet 'god bebyggd miljö'.

Göteborgs Stad har vidare definierat ytterligare delmål för att uppnå en god bebyggd miljö och det är delmålet *'god ljudmiljö'* (Göteborgs Stad, u. å-b). Det här målet definieras som en miljö i Göteborgs Stad där:

"Minst 90 procent av Göteborgs invånare har senast år 2020 en utomhusnivå vid sitt boende som understiger 60 dB(A) ekvivalentnivå vid utsatt fasad."

"Minst 95 procent av stadens förskolor och grundskolor har senast år 2020 tillgång till lektya med högst 55 dBA ;"

"och samtliga stadsparkar har senast år 2020 nivåer som ligger under 50 dB(A) ekvivalentnivå på större delen av parkytan."

För att i stadsmiljö ha tillgång till goda ljudmiljöer förutsätter det kännedom om ljud, dess ljudkaraktär, ljudutbredning och ljudnivå (Göteborgs Stad, 2015). De störande trafikbullernivåerna beror enligt Forssén (2017) på ett flertal faktorer och kan bearbetas med flera olika bullerreducerande åtgärder. Åtgärder vid källan, miljöomformande lösningar och exemplen till fasadspecifika lösningar presenteras nedan:

Vid ljudkälla: fordonstyp, trafikreglering genom hastigheter och mängder, andel tungtrafik samt tyst vägbeläggning

Längst utbredningsväg: bullerskärmar, markbeläggningar, grönska

Vid mottagaren: isolering, gröna fasader

En miljözon är en lösning som till stor del påverkar bullerkällans förekomst i området (Göteborgs Stad, u. å-c). Denna lösning inleds i första hand för att minska luftföroreningar som orsakar cancer, lung-, hjärt- och kärlsjukdomar. Föroreningarna är främst kväveoxider från fordonstrafiken. Miljözoner med begränsning för bullriga fordon som en bullernivåsänkande åtgärd har vid test i projektet '*CityHush*' (2012) visat resultat med sänkningar uppemot 10 dB(A) inom zonen.

2.4.3 Reduktionstal

Trafikbuller tränger sig in genom fasader och fönster vilket på sin tur påverkar ljudmiljön inomhus (Larsson, 2015). Vid nybyggnation och i befintlig byggnad ska externa ljud tas i hänsyn för att säkra en god ljudmiljö. Det kan göras med luftljudsisolering.

Reduktionstalet R , anger en konstruktions förmåga att reducera ljud mellan utrymmen (Larsson, 2015). Ett högre reduktionstal betyder bättre luftljudsisolering. Reduktionstalen erhålls genom mätningar i olika frekvensband eftersom ljudtransmissionen genom konstruktionen beror av frekvensen. Förmågan att reducera ljud från yttre ljudkällor beror på konstruktionens fasadisolering vilket är vägg, fönster, ventiler och spalter där olika konstruktioner har olika förväntade ljudreduktion (Larsson, 2015).

I tabellen 2.1 nedan redovisas anges exemplen på väggtyper, dess tjocklekar samt de förväntade fältreduktionstalen R'_w och spektrumsanpassningstermen C .

Förväntad ljudreduktion [dB]				
Väggtyp	Tjocklek	R'_w	R'_w+C	R'_w+C_{tr5}
Enkel trävägg	ca 150 - 200 mm	38	37	33
Medelbra trävägg	ca 200 - 300 mm	44	43	39
Trästomme, välisolerad	minst 300 mm	50	48	43
Lättbetong	300 - 400 mm	44	43	39
Tegelfasad	250 - 350 mm	50	49	45

Tabell 2.1: Reduktionstal för olika typer av väggar (Larsson, 2015)

Väggkonstruktioner och fönster har typiskt låg ljudisolerande förmåga vid låga frekvenser och hög ljudisolerande förmåga vid höga frekvenser (Socialstyrelsen, 2008). Fönster har generellt sämre ljudisolerande förmåga än väggkonstruktioner.

2.5 Samhällsplanering

Städer är enligt det transnationella nätverket C40 (u. å.) hus och rum för majoriteten av världens befolkning och med stadigt ökande siffror är samhällsplaneringens utveckling viktig för världens hållbara utveckling. Städer kan framförallt organisera sin befolkning men de kan också organisera sig städer emellan. Ett sådant initiativ är C40 städer som är en samling städer som har gått ihop för att utveckla hållbara samarbeten och samhällen.

Stadens befolkning påverkas av samhällsplaneringen som försigår och aktörerna inom samhällsplanering kan vanligtvis sammanfattas i tre kategorier: planeringsansvariga, byggherrarna och de berörda (Nationalencyklopedin, u. å.). Hållbar samhällsplanering beskrivs med att samordning av ekonomiska, miljömässiga, sociala och fysiska konsekvenser bör sammanställas med det gemensamma målet att nå goda bebyggda miljöer för befolkningen.

Det finns en rådande gemensam bild över dagens transportsystems inverkan på städer, miljöer och folkhälsa (C40, u. å.). Tidigare nämnt åtgärdsarbete presenterade flera sätt att möta, förhindra och förebygga mot trafikbullerproblematiken i staden och det finns ett flertal goda exempel på hur städer kan byggas för människor med gaturum och trafikintegrering (Memborn, 2008). Projektet har undersökt stadsplaneringsprinciper från arkitekten Jan Gehls bok *'Cities for People'* (2013) och arkitekten Lukas Memborns studier om Göteborg och stadens kompatibilitet med *'Cittaslow'*-principer. Studierna har gjorts för att undersöka hur stadsrum kan omarbetas för att gynna den mänskliga dimensionen i stadslivet.

2.5.1 Cities for People

En stad är definierat som en plats för mänskliga bosättningar (Encyclopedia, u. å.). Till följd av komplexa politiska och sociala krafter har den mänskliga dimensionen i städer hamnat i skymundan. Istället för att ge plats åt offentliga rum och gångtrafik har stadsplanering i årtionden av bilism handlat om att skapa leder åt motortrafik (Gehl, 2013)

Tillgängligheten för gångtrafik som en form av transport har reducerats med år av trafikplanering för den motoriserade trafiken (Gehl, 2013). För att ta tillbaka staden och för att människor ska vistas i stadens offentliga rum så förklarar Gehl (2013) i sin bok att en välmående stad fokuserar på gångtrafik och offentliga rum.

Stadsmiljön har två essentiella element för offentliga rum och det är torg och gator. Andra element är: trottoarer som är en produkt av den motoriserade vägtrafiken, vatten i form av fontäner, pooler, dammar, bäckar etcetera och parker som är lugna platser där tid spenderas för vila och återhämtning (Gehl, 2013). Staden för gångtrafikanter har enligt Gehl (2013) två sorters platser som är viktiga och det är platser för att gå på och platser för att stanna.

Gehl (2013) beskriver att gångtrafik endast är välfungerande när stråken har komfortabel gatubeläggning, attraktiv funktion, prioriterar gångtrafikanter och mänskliga gatudimensioner. Att gå är uttröttande och genom gångtrafik kommer människor att naturligt föredra de kortaste sträckorna. När människorna når stadens stationära aktiviteter så kan de kategoriseras i två fack - de som behöver stanna för att gångtrafik är tröttsamt eller de som vill stanna för att miljön är fin och inbjudande (Gehl, 2013). Miljön beror vidare på om det finns plats att sitta, vad som hörs, vad som ses och om konversationer kan hållas utan ansträngning.

2.5.2 Cittaslow

Cittaslow är en organisation mellan städer som bildades för att förbättra livskvalitéer hos boende och besökare i städerna (Cittaslow, u. å.). Detta uppnås genom att främja hållbara levnadssätt genom att dels förlita sig på mycket lokalproducerat, använda sig av förnyelsebara energikällor och effektivisera samhället genom att sänka tempot.

Principerna som Cittaslow utgår ifrån växte fram ur konceptet 'Slow food' och likt tanken att maten vi äter borde smaka gott, produceras på ett bra sätt som inte skadar miljön, eller vår hälsa borde städer enligt slow city principerna lyfta fram stadens egna unika kvalitéer, främja långsamhet och njutning (Memborn, 2008). Memborn hävdar i hans examensarbete '*Återta staden*' (2008) att värdeskapande stadsutveckling sker genom att först anpassa människors beteende efter naturens förutsättningar, sedan anpassa staden efter människors beteende och sist anpassa tekniken efter stadens struktur/organisation.

Enligt Memborn (2008) kan Göteborg implementera Cittaslow-principer genom att exempelvis:

- Spara orörd natur och bygg där marken redan är ändrad
- Fokusera på reparation istället för att enbart bygga nytt och totalrenovera
- Bygga det som grannar önskar, bit för bit
- Knyta ihop staden genom långa gång- och cykelvänliga stråk
- Sänk maxhastigheten för bilar
- Bygg slutna kvarter i bullerstörda lägen

2.6 Mobilitet

European Environment Agency (EEA) (2014) skriver i rapporten 'Adaptation of transport to climate change in Europe' hur transportsektorn har blivit en central del i dagens samhälle och ekonomi. Transportnäten möjliggör handel, resor mellan städer och ger människor tillgång till viktiga offentliga tjänster, såsom utbildning och hälsovård (EEA, 2014). Utvecklingen av transportnät och nya anslutningar har också visat sig stimulera ekonomi och skapat jobb.

Denna utveckling har enligt EEA (2014) också visat sig ha negativa effekter. Idag står transportsektorn för en fjärdedel av EUs utsläpp av växthusgaser och samtidigt orsakar den ett utbredd miljö- och folkhälsoproblem.

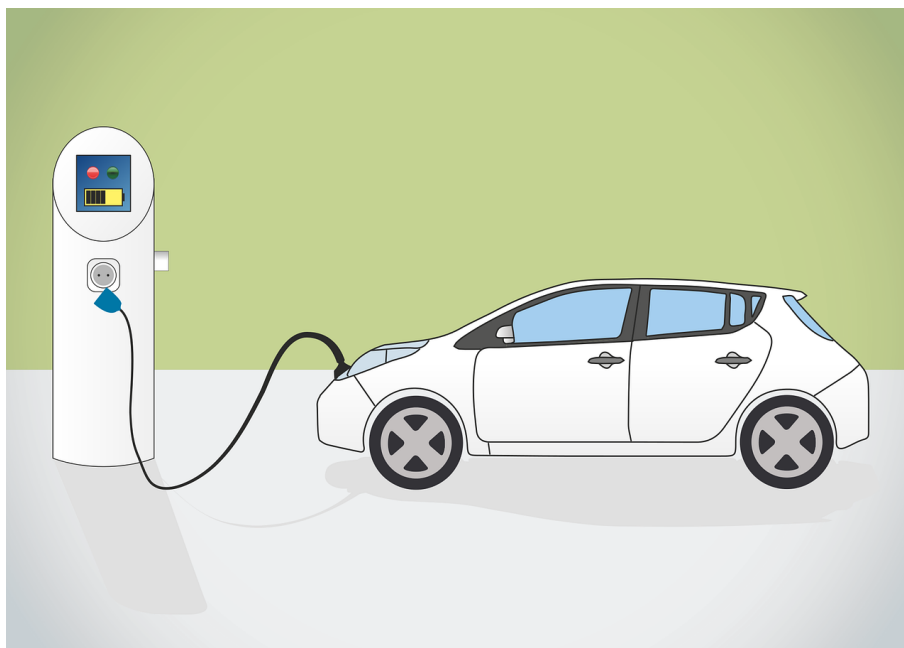
De mest förekommande vägtrafikfordonen i världen idag drivs av förbränningsmotorer enligt kapitlet '*Why electromobility and what is it?*' av Grauers, Karlström & Sarasini från boken '*Systems Perspectives on Electromobility*' (2014) och har med sina globala negativa effekter uppmanat ett behov för teknologisk förändring. Elektromobilitet är inte beroende av fossila bränslen vilket har varit en av faktorerna för dess senaste utveckling i transportsektorn. I rapporten '*Nytttoberäkningar av minskat buller från elbusstrafik*' av Holmes & Larsson (2016) beskrivs att eldrivna fordon ger ifrån sig mindre trafikbuller än förbränningsdrivna fordon vid lägre hastigheter och kan vara en relevant lösning för att städer ska nå goda ljudmiljöer.

2.6.1 Förbränningsmotordrivna fordon

Förbränningsmotorer har enligt Gröndahl & Svanström (2011) dominerat människans moderna transportsätt och har med bilismen satt sin prägel på världens- och städernas miljöer. Inlåsningseffekten som dagens transportsystem innebär har lett till att städernas befolkning nästan är helt beroende av fossila bränslen (Gröndahl & Svanström, 2011). Över tid har ett flertal förbränningsmotorer utvecklats fram där den drivande mekanismen i motorn är omvandlingen från det kemiska drivmedlet och energin till arbete (Backlund & NE, u. å.).

2.6.2 Elektromobilitet

Elektromobilitet definieras enligt Grauers, Karlström & Sarasini (2014, Kapitel 2) som 'vägtransportsystem som baseras på fordon som är drivna av elektricitet'. Den eldrivna transporten kan ske genom olika teknologier där fordonen antingen kan växla mellan drivmedel och producera sin egna elektricitet (hybrida eldrivna fordon) eller genom att använda källor av elektricitet utanför fordonet (batteridrivna elektriska fordon).



Figur 2.12: Laddningsinfrastruktur och elfordon (CC0, 2017)

Tillgången till energi i form av elektricitet beror på länders och städers infrastrukturrella lösningar, med liten eller inget individuellt val av hur elektriciteten produceras (Community Power Conference, 2016). Begränsningen kan antingen vara positiv eller negativ beroende på vad som försörjer elnätet men för transport är det ett alternativ till fossila bränslen (Grauers et al., 2014, Kapitel 2). Det betyder också att transport kan ske med förnybara energikällor som exempelvis sol-, vind- och vattenkraft.

Byte till elektromobilitet kan således leda till reduktion av växthusgasers utsläpp och utan förbränningsmotorer minskar fordonens bullersakande mekanismer vid lägre hastigheter (Holmes & Larsson, 2016). Det här projektet fokuserar på batteridrivna elfordon.

2.6.2.1 Akustisk skillnad mellan elektromobilitet och förbränningsmotordrivna fordon

Ett flertal olika studier har undersökt bullerskillnaderna mellan konventionella fordon med förbränningsmotorer och eldrivna fordon med resultat som skiljer sig från olika fordonstyper. I projektet 'CityHush' (2012) jämfördes Toyota Prius (elfordon) och Volvo V70 (konventionell förbränningsmotor) och den A-vägd ljudnivå mellan fordonen skiljde sig i inledande 30 km/tim med kring 4 dB(A). I ett annat projekt 'COMPETT' (2013) har eldrivna fordon visat sig vara 4-5 dB(A) mindre bullriga än liknande konventionella fordon i låga hastigheter.

Tyngre fordon är mer bullriga och studier på bussar har visat sig 5 till 16 dB(A) skillnad i ljudtrycksnivå vid låga hastigheter (Holmes & Larsson, 2016). I en studie om tystare stadsbussar av Koucky & Partners (2013) blir skillnaderna i bullernivåer

inomhus ännu större med eldrivna bussar då de är mycket tystare vid låga frekvenser, uppskattningarna visade upp till 4 dB(A) skillnad.

Projektet 'FOREVER' har med testpersoner undersökt upplevelsen av trafikbuller från enbart eldrivna fordon och sedan fordon med förbränningsmotorer (Holmes & Larsson, 2016). Resultatet visade att bullret från de eldrivna fordonen ansågs vara mer behagligt.

Eldrivna fordonsmotorer är inte helt bullerfria vid lägre hastigheter men det här projektet resonerar att elektromobilitets motorers absoluta bullernivåer är så pass låga att däck/vägbanebullret blir den dominerande bullerkällan.

2.7 Datainsamlingsteori

Sektionen nedan presenterar datainsamlingsteorier som är relevanta för projektets uppskattningar och perspektiv.

2.7.1 Bullerberäkningar

Beräkningar av trafikbuller anses vara mer korrekta än fältmätningar eftersom bullret då är helt oberoende av externa förhållanden såsom människoprat, verksamhetsfläktar och andra ljud (Holmes & Larsson, 2016). Tidigare samlad data om olika fordons bulleremissioner kan genom beräkningar därför ge en bild av vad för trafik som bidrar med buller.

2.7.1.1 Nord2000

Nord2000 är en nordiskt utvecklad metod som används för att uppskatta trafikbuller från väg- och järnvägstrafik. Metoden anses vara bättre än dess föregångare Nordiska beräkningsmodellen (RTN, senast reviderad 1996) eftersom metoden kan hantera fler parametrar och har en bättre kategorisering av fordon (Holmes & Larsson, 2016). Med Nord2000 så beräknas enligt The Danish Environmental Protection Agency (EPA) (2018) ljudtrycksnivåerna med hjälp av 1/3 oktavband 25 Hz till 10 kHz.

2.7.1.2 Nordiska beräkningsmodellen

Den Nordiska beräkningsmodellen reviderad 1996, NV96, är en beräkningsmodell som beräknar trafikbuller som medelvärde för hela dygnet och maximalnivåer. Bullerberäkningen beskrivs i rapporten 'Vägrafikbuller' från 1996 och utgår från indata från trafikmängder, trafikslag, hastighet, terräng och bebyggelse.

2.7.1.3 MATLAB

MATLAB är ett programspråk från företaget MathWorks (2018) som kan användas för matematiska och tekniska beräkningar. Språket möjliggör beräkning och visualisering av data och används i det här undersökningen för att uppskatta ljudtrycksnivåer.

2.7.2 Intervjuteori

Intervjuer kan fungera som en bra datainsamlingsmetod och används vanligtvis för insamling av kvalitativ data enligt boken '*Business Research Methods*' av Bell & Bryman (2015). I boken definieras olika former av intervjuer som menar att de genererar olika sorters resultat (Bell & Bryman, 2015). Intervjuformerna som definieras är: den strukturerade-, semi-strukturerade och ostrukturerade intervjun.

Strukturerade intervjuer använder sig utav en standardiserad mall så att alla intervjuer sker med exakt samma frågor och med frågorna ställda på samma sätt och ordning. Målet med den här typen av intervjumetodik är att på så sätt kunna få svar som är aggregerbara.

Semi-strukturerade intervjuer använder sig också av förberedda frågor. I den här intervjuformen kan frågorna ställas i olika ordning och intervjun kan få andra ingångar och på så sätt fånga ett bredare spektrum av svar. Med rum för följdfrågor kan mer data samlas och målet med den här typen av intervju brukar vanligtvis vara att samla in begrepp och relationer samt den intervjuades upplevelser av kvantiteter och kvaliteter.

Ostrukturerade intervjuer använder sig vanligtvis av en lista med ämnen och utmaningar. Typen är vanligtvis informell och frågor och sekvenser av frågor kan variera från intervju till intervju. Den här intervjuformen är öppen och den tillfrågade får fritt uppfatta frågan och resonera med sig själv samtidigt som svaret på frågan besvaras. Svaren brukar beskriva den subjektiva bilden av verkligheten där datan vanligtvis används för att tolka människors subjektiva erfarenheter.

Den semi-strukturerade intervjumetoden är bäst lämpad för det här projektets ändamål att visionärt analysera möjligheterna med lägre bulleremissioner från fordon. Metoden öppnar upp för att den intervjuade med sin områdesexpertis kan konceptualisera hur alternativa förhållanden kan påverka miljön och är således värdefullt för projektet. Samtidigt kan direkta, rent datainsamlande frågor också uppkomma utan att störa intervjustrukturen för att förtydliga bland annat koncept eller termer.

3

Metod fas I

I följande kapitel 'Metod fas I' beskrivs hur projektets frågeställning formulerades genom fyra olika steg. Resultatet presenteras i Kapitel 4 'Resultat Fas I'.

3.1 Att formulera en frågeställning

Den här sektionen beskriver en hållbarhetsanalys av forskningsområdet och given frågeställning som komplement till teorierna (se kapitel 2 sida 7). I sektionen förklaras metoden som har bidragit till perspektiv och koncept som har använts för att slutligen formulera projektets frågeställning.

3.1.1 Steg 1 - Definiera kriterier för hållbarhet

I den första fasen och det första steget i den här metoden användes teori från kapitel 2 (se sida 7), de tre hållbarhetsdimensionerna 'ekologisk-, ekonomisk- och social-hållbarhet', en del av de 17 globala hållbarhetsmålen från Förenta Nationernas (FN) dokument '*Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*' (2015) för att definiera kriterier för en hållbar stadsutveckling med elektromobilitet.

Med samlad data om hållbarhet kunde sedan antalet kriterier definieras för att elektromobilitetens roll i staden ska anses långsiktigt hållbar i förhållande till dagens perspektiv, dimensioner och de globala hållbarhetsmålen.

3.1.2 Steg 2 - Nulägesanalys

Även i Steg 2 användes teori från Kapitel 2. Mer specifikt användes teori om trafikbuller, de ansvariga i trafikbullerfrågan och dagens åtgärdsarbete mot buller. Därefter gjordes datainhämtning om buller från Göteborgs Stads Miljöförvaltning och Trafikkontor. Därefter formulerades nuläget gällande trafikbullernivåer, kommunala intressen och Göteborgs Stads tillgängliga lösningar i trafikbullerfrågan.

3.1.3 Steg 3 - Visionera framtida hållbara lösningar

I Steg 3 användes alla resultaten från de tidigare stegen i 'Metod fas I' för att designa visionära scenarier där elektromobilitet är en faktor i framtida hållbara lösningar inom stadsutveckling.

3.1.4 Steg 4 - Undersök redan givna frågeställningar

Inledande fanns redan givna frågeställningar till projektet och den var enligt Älvstranden Utveckling formulerad med två möjliga utgångspunkter:

- *'Kan tystare, utsläppsfria fordon med mindre vibrationer ge oss möjlighet att bygga tätare?'*
- *'Ger tystare fordon oss möjlighet att jobba med mer miljöanpassade materialval vid byggnation?'*

Slutligen i det sista steget av 'Metod fas I' bearbetades de givna frågeställningarna för att passa perspektiven för teknisk akustik och hållbar stadsutveckling. Detta användes för att sedan formulera den slutgiltiga frågeställningen till projektet.

4

Resultat fas I

I följande kapitel presenteras resultaten från fas I som grundar sig på den givna metodologin från kapitel 3 ‘Metod fas 1’. Kapitlet avslutas med projektets resulterade frågeställning.

4.1 Formulera en frågeställning

Metodologin som stod i grund till formuleringen av arbetets frågeställning kan följas i den här sektionen.

4.1.1 Steg 1 - Definiera kriterier för hållbarhet

Resultaten från Steg 1 i fas I beskrivs nedan med genomförd hållbarhetsanalys från ‘Metod fas I’.

Säkerhetsställandet av lösningars långsiktiga hållbarhet i en föränderlig värld är komplext och det är viktigt att de kan fungera över tid, plats, kultur, politik och olika vetenskaper (Gröndahl & Svanström, 2011). Hänsyn till hållbar utveckling är särskilt viktigt i situationer som direkt kan påverka människors liv och dagens globala utveckling tyder på att stadsutveckling och utformandet av hållbara samhällen fyller en viktig roll.

Begreppet hållbar utveckling grundar sig i ett politiskt ställningstagande som bygger på etiska principer skrivet i ‘*Our Common Future*’ också kallad Brundtlandsrapporten (1987). Hållbar utveckling definieras i den rapporten som:

“En hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov”

För att vidare definiera hållbar utveckling har det beskrivits med tre dimensioner: ekologisk, ekonomisk och social (Gröndahl & Svanström, 2011). En utveckling som tar hänsyn till alla tre dimensioner kan ses som en hållbar utveckling. Men i praktiken är denna utveckling svår att uppnå eftersom lösningen måste uppfylla målen inom alla tre dimensioner, det har därför blivit mer viktigt att definiera och beräkna vilka nyttor som måste prioriteras.

Kriterierna som även är skrivna här nedan är avsedda att användas genom hela projektet för att först och främst vägleda utformningen av projektets frågeställning och sedan fortsätta projektets genomgående hållbara perspektiv.

Ekologiskt kriterium

Det ekologiska kriteriet ska skydda miljön, biodiversiteten och mänskliga handlingar som påverkar naturresurser och ekosystemens funktioner och biologisk mångfald ska göras på så sätt att:

- Handlingarna inte ökar koncentrationen av luftföroreningar i ekosfären;
- Handlingarna inte skadar livsnödvändiga resurser såsom: vatten, land eller biodiversiteten genom misskötsel eller överexploatering.

Ekonomiskt kriterium

Det ekonomiska kriteriet ska verka för hushållningen av mänskliga och materiella resurser utan att äventyra kommande generationers möjligheter (Förenta nationerna, 1987). Detta kriterie ska också möjliggöra för att jordens befolkning ska kunna uppnå de andra kriterierna (ekologiskt och socialt). Det ekonomiska systemet ska drivas av att uppfylla de andra kriterierna;

- Det ska möjliggöra framtida bruk av resurser utan att förbruka litosfären;
- Det ska säkerhetsställa en jämn fördelning av resurser så att världsligt mänskligt välmående kan garanteras över tid.

Socialt kriterium

Det sociala kriteriet ska verka för ett samhälle där mänskliga behov och välmående uppfylls genom att respektera följande förhållanden:

- Lika mänskliga rättigheter;
- Jämställdhet och
- Säkerhetsställa lika tillgång till goda livsmiljöer

För att förtydliga jämställdhetsperspektivet i förhållande till buller beskriver Gustafsson & Lindskog (2018) det som tillämpligt främst eftersom barn och unga är särskilt känsliga för påverkan från bullerstörningar.

De globala hållbarhetsmålen som antogs av FN (2015) är en del av Agenda 2030 och innehåller 17 mål som även här inkluderar relevanta mål för hållbar samhällsutveckling. Mål 9, 11 och 13 här nedan kan användas för att diskutera hur den hållbara stadsmiljön i Göteborg kan byggas upp.

- **Mål 9: Hållbar industri, innovationer och infrastruktur** där målet med infrastrukturen är att den ska anpassas för att vara hållbar, effektiv, ren och miljövänlig.
- **Mål 11: Hållbara städer och samhällen** där målet med hållbar stadsutveckling omfattar hållbart byggande och hållbar planering av bostäder, offentliga platser såsom parker och torg samt transporter.
- **Mål 13: Bekämpa klimatförändringen** där målet att bekämpa klimatförändringen ska ske genom att öka medvetenhet för klimatförändringar och

integrera klimatåtgärder i politik, strategier och planering på nationell nivå.

Med vidare undersökning inom materialanvändning för elektromobilitetens funktion presenteras andra aktuella resultat under rubriken 'Etisk analys'.

4.1.1.1 Etisk analys

Enligt Grauers et al. (2014) förekommer de flesta elektromobilitetslösningarna med installerade batterier som lagrar drivmedlet i fordonen. Utformningen av batterierna kräver grundämnena litium och kobolt som idag, enligt Sveriges geologiska undersökning (SGU) (2018) endast kan brytas i ett fåtal platser i världen. Följden av ett globalt ökat behov för alternativ till fossila bränslen har enligt SGU (2018) format importberoende av batterimetallerna. Den begränsade årliga extraktionen och den geografiska koncentrationen av dessa sällsynta jordartsmetallerna riskerar resurssäkerheten och att brytningen sker med hållbar praxis.

I dagsläget är geopolitiken för utvinningen av dessa metaller avgörande för elektromobilitetens hållbarhet (SGU, 2018). Ska Sverige utveckla elektromobilitet bör landet och industrin förhålla sig till hållbar prospektering eller forskning för hållbar batteriteknik och användning.

Den här analysen resulterar i ytterligare ett kriterium till projektet:

- Elektromobilitetens utveckling ska bara ske utan att utnyttja och riskera andra länders människors liv och hälsa.

4.1.2 Steg 2 - Nulägesanalys

Det här projektet handlar om Göteborgs Stads ljudmiljö med en initial avsikt att förstå vilken grad elektromobilitet kan påverka stadsutvecklingen i staden. Nulägesanalysen ska således beskriva vad Göteborg Stad står i frågorna idag. Resultaten presenteras här nedan.

Trafikbuller anses vara ett stort miljö- och folkhälsoproblem som genom regelverk och hantering av bullerfrågor försvårat samhällsplanering särskilt vad gäller förätning (Boberg, 2015). På Göteborgs Stads hemsida (2018) står det att det räcker att en mängd av 600 fordon per dygn passerar en stadsgata med 50 km/tim för att ljudtrycksnivån ska ligga över 55 dB(A). I Miljöförvaltningens beräkningar av Holmes & Krslak (2017) sammanställdes med trafikdata från 2016 att cirka 180 800 göteborgare var exponerade för L_{den} bullernivåer över 55 dB(A) och cirka 83 000 för L_{night} över 50 dB(A) från all vägtrafik. Procentuellt motsvarar det 32 procent respektive 15 procent av kommunens befolkning det året. En sådan bullersituation är inte en långsiktigt god miljö för en stor andel av Göteborgs invånare och har en beräknad kostnad på över 1 miljard per år (Göteborgs Stad, 2017a).

Forssén (2017) skriver i en artikel i Göteborgs Posten att '*vi riskerar att bygga fast oss i bullriga städer*'. Bostadssituationen är en faktor som påverkar stadens prioriteringarna och byggandet av bostäder prioriterats över långsiktigt goda bebyggda

miljöer.

Göteborgs Stad har uttryckt i *'Strategi för Göteborg 2035 - Utbyggnadsplanering'* (2014c) att staden planeras att förtätas så att tillgängligheten att leva en hållbar livstil omfattar fler människor. Trots många fördelar med förtätning följer också konsekvenser, en av dem är att fler kommer bo i lägen där bullernivåer inte anses vara långsiktigt hälsosamma. Ambitionen att erbjuda en attraktiv stadsmiljö för människor kräver helhetslösningar som uppfyller befolkningens behov samtidigt som den skyddar från negativa hälsoeffekter.

I Miljöförvaltningens *'Årsrapport'* (2017) står stadens miljöpolicy med beskrivningen att utvecklingen ska drivas på för att medborgare, företagare, intresseorganisationer med flera ska underlättat minska sin miljöpåverkan. Viktiga utvecklingsområden är:

- Minskad klimatpåverkan
- Ökat hållbart resande
- Ökad resurshållning
- En sundare livsmiljö
- Främjad biologisk mångfald
- Tillgängliga och varierade parker och naturområden
- Göteborgs Stad som föregångare

Miljöbalkens perspektiv på hållbarhet definieras med: god och långsiktigt hållbar livsmiljö för människorna i dagens samhälle och för kommande generationer främjas (MB, 1998:808). I målen finns tillhörande delmål för att närma målet. En sundare livsmiljö har målet *'god bebyggd miljö'* och Göteborg Stad har sammanställt ytterligare delmål *'god ljudmiljö'*. Knappe (2014) från Miljöförvaltningen definierar en god ljudmiljö som en ljudmiljö där buller inte stör vila och sömn i bostaden, att det platser utomhus för rekreation ska finnas nära bostaden och där trafikbullret är så pass låg att ljud som hör till platsen och som upplevs positiva kan få dominera. Med målet *'god ljudmiljö'* vill Göteborgs Stad (u. å-b) uppfylla:

- *Minst 90 procent av Göteborgs invånare har senast år 2020 en utomhusnivå vid sitt boende som understiger 60 dB(A) ekvivalentnivå vid utsatt fasad.*
- *Minst 95 procent av stadens förskolor och grundskolor senast år 2020 högst 55 dB(A) ekvivalentnivå;*
- *och samtliga stadsparkar har senast år 2020 nivåer som ligger under 50 dB(A) ekvivalentnivå på större delen av parkytan.*

Enligt dagens prognoser kommer delmålet inte att uppnås då trenden är neutral.

För att fortsatt arbeta för en hållbar samhällsbyggnad och stadsutveckling har Göteborg tagit fram bland annat fyra strategiska dokument som ska vägleda staden i framtida planering. Dessa dokument är:

- Strategi för Utbyggnadsplanering
- Trafikstrategi för en nära storstad
- Grönstrategi för en tät och grön stad
- Vägledning för trafikbuller i planeringen

Dokumenterna är ett försök att samordna Göteborgs Stads markplanering för att utvecklas till en hållbar och attraktiv stad (Göteborgs Stad, 2015). Den staden definieras som en stad med lättillgängligt regioncentrum, attraktiva stadsmiljöer, hälsosamma bullermiljöer, naturnära och en stad där ärenden kan uträttas i närmiljöer.

I rapporten *'Nyttoberäkningar av minskat buller från elbusstrafik i Göteborg'* av Holmes & Larsson (2016) står det att det är effektivast att bearbeta bullret från källan. Undersökningarna i rapporten presenterar tydliga nyttor av den elektrifierade busstrafiken med bullernivåsänkningar vid start och stopp, tomgångskörning och bullernivåer vid fasad och inomhusnivåer.

Stadens investeringar i projektet 'ElectriCity' som sedan 2015 kört de eldrivna bussarna på linje 55 har i *'Statusrapport 2016'* (u. å.) visat goda resultat. Dels är resenärerna nöjdare med linje 55 än med annan stadstrafik men trafiken är också tystare och har betydligt lägre utsläpp av luftföroreningar och klimatpåverkande koldioxid (förutsatt att bussen körs på förnybar el). Planerna att utöka den eldrivna bussflottan är igång och linje 16 kommer år 2018 att börja köra på el (Volvo, 2018).

Sverige har ett nationellt mål att till 2050 drivas fossilfritt och Västra Götaland har ett regionalt mål att år 2030 drivas fossilfritt (Fossilfritt 2050, u. å.; Klimat 2030, u. å.).

"2030 är den västsvenska ekonomin inte längre beroende av fossil energi och medborgarna och näringslivet har en trygg och långsiktigt hållbar energiförsörjning. Boende, transporter och produktion såväl som konsumtion av varor och tjänster är resurssnåla, energieffektiva och baserade på förnybar energi. Sammantaget har detta bidragit till en stark ekonomi och ett innovativt och konkurrenskraftigt näringsliv." - Klimat 2030 (Västra Götaland, u. å.)

I klimatstrategin 'Klimat 2030' har Västra Götaland (u. å.) definierat fyra fokusområden: hållbara transporter, klimatsmart och hälsosam mat, förnybar och resurseffektiva produkter och tjänster och sunda och klimatsmarta bostäder och lokaler. Gällande hållbara transporter står punkterna:

- Klimatsmart vardagsresande där fler väljer gång, cykling och kollektivt resande
- Accelererad omställning till fossilfria fordon
- Effektiva godstransporter
- Klimatsmarta möten och semestrar

4.1.3 Steg 3 - Visionera framtida hållbara lösningar

I detta steg togs tidigare teori och resultaten från Steg 2 till hänsyn för att visionera hållbara lösningar för Göteborgs Stad.

Hållbarhetsanalysen av ämnesområdet och nulägesanalysen av den lokala situationen och de lokala strategierna har byggt en förståelse för Göteborgs Stads vision. Tidigare resultat har genererat perspektiven nedan:

- Eldrivna fordon ses som en samhällsnytta gällande trafikbuller, för människors hälsa
- Trafikstrategin har visionen om att 40 procent av transporterna ska ske med kollektivtrafik och 55 procent av de motoriserade transporterna ska göras kollektivt
- Planer att Västra Götaland ska vara fossiloberoende inför 2030 leder i sin tur till ett behov att accelerera omställningen till fossilfria fordon

Stadens visioner med ovanstående mål sammanflätas med Älvstrandens Utvecklings visioner med frågeställningen om lägre bullernivåer genom elektrifierad trafik. En bättre stadslig ljudmiljö kan ske med lösningen att dels elektrifiera trafiken vilket i sin tur kan minska Västra Götalands fossilberoende. Kan stadens energi genereras förnyelsebart och fördelas i elnätet kan en omställning till färre personbilsfordon i staden och fler elektrifierade kollektiva fordon vara mobilitetslösningen som förbättrar stadens ljudmiljö.

Det är viktigt att överväga samtliga möjliga åtgärder och att bedöma positiva och negativa effekter av respektive åtgärd. I första hand se över åtgärder som eliminerar eller minskar källan till buller, i andra hand att dämpa bullret vid/nära källan och som tredje alternativ titta på åtgärder som skärmar av mottagaren från buller. Problemet med att avskärmande åtgärder är att stadsbilden med täckande skärmar och människan kan i dessa miljöer inte röra sig störningsfritt mellan olika miljöer.

Dagens bullerproblematik i städer kan utvecklas till oattraktiva stadsmiljöer och kan potentiellt styra utflyttningar ur staden. En sådan utveckling är oönskad då det i praktiken innebär ökade transportbehov (Göteborgs Stad, 2015). Uppfyller elektrifieringen av trafiken de uppsatta hållbarhetskriterierna från Steg 1 (se sektion 4.1.1

sida 35) är det en potentiell lösning som kan gynna stadens folkhälsa och förtätning.

4.1.4 Steg 4 - Undersök redan givna frågeställningar och komplettera för det här projektets syfte och frågeställning

I denna, sista sektionen av fas I, formuleras den slutgiltiga frågeställningen och syftet med arbetet. Genom sammanställd information från litteraturstudier och dialoger med akustiker har frågeställningen mer specifikt omformats med ett akustiskt perspektiv till stadsplanering.

Innan omformandet av frågeställningen undersöktes Älvstranden Utvecklings frågeställning:

- *'Kan tystare, utsläppsfria fordon med mindre vibrationer ge oss möjlighet att bygga tätare?'*
- *'Ger tystare fordon oss möjlighet att jobba med mer miljöanpassade materialval vid byggnation?'*

Akustisk teori, svensk lag och Göteborgs Stads miljömål ger att god ljud miljö till stor del handlar om att skapa tillräckligt bra inomhusmiljöer så att människor är ostörda av de externa trafikbullernivåerna. Det ska också finnas platser utomhus för rekreation utan trafikbullernivåer som stör. Positiva ljud som fågelkvitter som ofta överskrider 55 decibel får däremot förekomma.

Med principer för akustik och ett framtidsscenario i linje med Sveriges fossilfria mål ska förbränningsdrivna fordon helst ersättas av elektrifierad trafik och det kan potentiellt förbättra stadens ljudmiljö. Om förbränningsfordon ersättes helt av elfordon så kan bullernivån sänkas mellan 5 - 10 dB(A) och ännu mer dB(C) enligt projektrapporter från 'CityHush' (2012) och analyser av miljözoner som förbjuder förbränningsmotorer. Detta kommer öppna upp för framtida exploatering och lösningar som kräver mindre luftljudsisolering genom byggnadsmaterial. Den slutliga formulerade frågeställningen ska gynna och generera nya visioner om stadsutvecklingsmöjligheter utan bullerbarriärer.

- *'Hur kan visionen för Göteborgs Stads gaturum med elektrifierad trafik se ut?'*
- *'Vilka kriterier för hållbarhet bör tas i beaktande vid akustik i stadsplanering?'*
- *'Vilka drivkrafter och barriärer har Göteborg i utvecklingen mot en stad med god ljudmiljö?'*

Följande kapitel är undersökning av dessa frågeställningar.

5

Metod fas II

Det här kapitlet beskrivs metodologin som användes under fas II i projektet och tillvägagångssättet för att samla data och slutligen skapa scenarier för uppskattningsstudier. Först beskrivs en perspektivbildande process av deltagande i workshops och utförda intervjuer i sektionen 'Datainsamling' (se sektion 5.1). Kapitlet fortsätter med 'Avgränsningar' som förklarar hur uppstruktureringen av projektet avgränsningar sammanställdes (se sektion 5.2 sida 45). Sektionen efter 'Scenario design' (se sektion 5.3 sida 45) beskriver vilka scenarier som genererades och uppskattningar med dessa scenarier görs i sektion 'Uppskattningar' (se sektion 5.4 sida 46). Resultaten från hela fas II analyseras och sammanställs sedan i sektionen 'Elektromobilitet i stadsutvecklingsperspektiv' (se sektion 5.5 sida 47) och kapitlet avslutas sedan med 'Drivkrafter och barriärer' (se sektion 5.6 sida 47).

5.1 Datainsamling

Data samlades genom att använda resultaten från fas I (se Kapitel 4 sida 35) som utgångspunkt. Datainsamlingen har skett genom litteraturstudier av projekt, vetenskapliga böcker, artiklar och officiella hemsidor. I tillägg till litteraturstudierna gjordes kvalitativa studier genom mailkontakt med områdesexperter, deltagande i workshops och organisering av intervjuer med lokala intressenter från den offentliga och akademiska sektorn.

5.1.1 Workshops

Elektromobilitetens inverkan på dagens diskussioner i Göteborg går inte obemärkt. Studenter, pop-up-events och myndigheter arbetar med frågan angående elektromobilitetens möjligheter i staden. Under våren 2018 faciliterades ämnesrelaterade workshops med elektromobilitet och automatiserad trafik som var av intresse för det här projektet. Information om dessa workshops hittades på anslagstavlor på Chalmers campus Johanneberg, Facebook och genom inbjudan från handledare Åsa Svensson.

Inga förberedelser gjordes inför deltaganden i workshops. Deltaganden användes som insamling av data i form av 'nyhetsvärden' inom elektromobilitet och stadsplanering. Huvudämnen och diskussioner skrevs ned på pappersblock under deltaganden.

‘**Mobility as a service**’ tog plats i bostadshuset HSB Living Lab, Göteborg den 5 februari, 2018. Information om workshopen satt på anslagstavlor på Chalmers campus Johanneberg.

Syftet med workshopen var att undersöka möjligheter med framtida transporttjänster i städer. Deltagarna utvärderade olika tjänster vid olika förhållanden samt diskuterade dessa utvärderingar.

‘**Mobility as networks**’ tog plats i lokalen Kolgruvan, Göteborg den 14 mars, 2018. Information om workshopen fanns på Facebook.

Syftet med workshopen var att sprida kunskap, hämta inspiration och driva diskussionen kring framtidens mobilitet. I workshopen faciliterades ett panelsamtal med deltagare från Chalmers, Skjutsgruppen och Volvo.

‘**Hur utformar vi staden för elektrifierad och automatiserad kollektivtrafik**’ tog plats i Trafikkontoret, Göteborg den 23 mars, 2018. Information och inbjudan till workshopen gick genom handledare Åsa Svensson.

Syftet med workshopen var att identifiera förutsättningar och ta fram idéer för ämnesområdena trafik, stadsliv och fastigheter om framtida utformning av Per Dubbsgatan, Göteborg. Intressenter från staden och företag deltog för att diskutera elektromobilitet och möjliga lösningar i området. I workshopen delades intressenterna upp i tre grupper och SWOT-analyser av de olika ämnesområdena togs fram.

‘**Backcasting elmobilitet: WS4**’ tog plats i Scandic Crown, Göteborg den 16 maj, 2018. Information och inbjudan till workshopen gick genom handledare Åsa Svensson.

Syftet med workshopen var att i ämnesgrupperna, cykel, godstransport, bil och kollektivtrafik diskutera tidigare framtagna prioriteringar angående lagstiftning, kommunikation, marknad och ett flertal andra områden. Intressenter från staden och företag deltog för att med utgångspunkt från tidigare prioriteringar diskutera hur och vem som skulle ansvara i de prioriterade områdena.

5.1.2 Intervjuer

Intervju som datainsamlingsmetod valdes för att samla in och få inblick i relevanta perspektiv om buller, elektromobilitet och stadsplanering. Personer bestämdes efter dess erfarenhet inom områden samt tillgänglighet. En akustiker och en stadsplanerare valdes att intervjuas. Kontakten togs genom mail med en inledande kort presentation av arbetet och varför intervjun skulle hållas med just dem och vad det skulle tillföra projektet.

Intervjuerna gjordes med intervjumetodik från Bell & Brymans bok ‘*Business Research Methods*’ (2015) och den semi-strukturerade intervjutypen användes enligt

teoridelen (se sektion 2.7.2 sida 32). Förberedelserna inför intervjuerna var att undersöka ämnesområdena akustik och stadsplanering, strukturera upp frågor och utforma Power Points med projektets syfte och frågeställning samt frågor till den intervjuade. Datum, tid och plats för intervjuerna bestämdes med respektive person och sedan skickades intervjuupplägget till dem.

Innan respektive intervjustart frågades om det var 'OK' att spela in intervjun, vid klartecken påbörjades intervjun. Power Point med frågor utnyttjades under intervjuerna och frågorna ställdes i den följd som de stod i. I slutet av respektive intervju frågades den intervjuade om det var 'OK' att citera och referera till personen efter att ha sammanställt och återkopplat sammanställningen.

Efter respektive intervju sammanställdes tankar, svar och slutsatser som genererades under intervjuerna och dessa skickades sedan till personen för återkoppling om möjlig citering.

5.2 Avgränsningar

Den färdigställda datainsamlingen från litteraturstudier, deltagande i workshops och organiserade intervjuer användes sedan med större föreståelse över trafik, akustik och stadsplanering för att strukturera upp avgränsningar till projektets uppskattningar.

5.3 Scenario design

Den här sektionen beskriver metodologin som användes för att designa scenarion med relevanta parametrar som användes för att göra akustiska trafikbulleruppskattningar

Ett scenario i det här fallet definieras som en modelluppbyggnad som ska fungera för beräkningsunderlag då beräkningarna ger bäst isolerad trafikbullernivåer från annat omgivningsbuller (Holmes & Larsson, 2016). Scenarierna kommer i sina former representera ett antal möjliga scenarier för att ha underlag för jämförelser och effektiva lösningar. Datan som genereras ur uppskattningarna av scenarierna ska sedan kunna användas som beslutsunderlag för att redovisa vilken lösning som kan vara effektiv för specifikt område.

Designmetodologin fortsatte med att definiera:

- Nulägestillståndet
- Visionära tillståndet

5.3.1 Val av beräkningsområde

Ljudutbredning av vägtrafikbuller är komplext och beror exempelvis på hur specifika gaturum ser ut, detta öppnar upp för ett stort antal beräkningsområden. Visionen

att elektrifiera all trafik i staden från resultaten i fas I skulle kräva en stor uppsättning av data och uppskattningar.

Med begränsad tid för beräkningar listades Älvstadens olika områdens centrala vägtrafikstråk ut med Älvstranden Utvecklings fokusområden och Göteborgs Stads Miljöförvaltnings bullerkarta (u. å-h). Studieområde valdes sedan med konsultation och handledning från Åsa Svensson, Älvstranden Utveckling (2018).

5.4 Uppskattningar

Göteborgs Stad bidrar med offentlig data om trafikleder och hur många fordon som passerar dessa under dagar. Lindholmsallén söktes upp för utforskning av data från Trafikkontoret och detaljplaner.

Baserat på indata och arbetets genomgående resonemang ska lämpliga uppskattningar baserat på insamlade resultat fungera som en vägledning i utformningen av gatuutrymmen som besvarar rapportens frågeställning. Av tidigare nämnd scenario design kunde lämpliga scenarier användas för beräkningar.

Jens Forssén, biträdande professor i Teknisk Akustik på Chalmers Tekniska Högskola har med hjälp av Nord2000 utvecklat MATLAB-funktionen "Compute road traffic source strengths, according to Nord2000 method". Funktionen plottar med en tillhörande MATLAB-kod framdrivnings- och däck/vägbanebuller från tunga och lätta fordon baserat på hastighet, bullerkälla, hur många axlar de tunga fordonen har och andel tunga fordon. Koden plottar A-vägda ljudtrycksnivåer med 1/3-oktavband. I det här projektet har Jens Forsséns MATLAB-kod används för uppskattningar av källstyrkan och dess bullernivå vid två hastigheter och andra olika ingående parametrar från specifikt valt gatuutrymme.

Beräkningskoden alternerades för att representera de olika scenarierna enligt resonemanget att elektrifierad trafik inte har något motorljud. När källstyrkan var beräknad för alla scenarier användes 'Nordic Road Noise' som är en applikation av Tyréns som gör förenklade trafikbullerberäkningar enligt den Nordiska beräkningsmodellen av dygnsekvivalenta nivåer och maximalnivåer. Alternativen 'City' och 'Hard ground' valdes för att det bäst representerar gaturummet. Olika passager, distanser, hastigheter och andel tunga fordon valdes baserade på trafikdata, uppskattningsscenarier och gatusektioner.

Förhållandet mellan olika källstyrkor användes sedan för att justera de ekvivalenta ljudtrycksnivåerna och dessa adderades sedan för en uppskattad totalnivå enligt ekvationer i paragraf 2.1.4 (se sida 13)

5.5 Elektromobilitet i stadsutvecklingsperspektiv

I den här sektionen samlas resultaten från fas I och fas II för att påvisa hur frågeställningen kan besvaras med uppskattningar från scenarion, teorier och slutligen planförslag hur utrymmen kan användas annorlunda med nya trafikbullernivåer. Planförslagen konkretiserades sedan genom att ta fram 'Key Performance Indicators' (KPI) för utrymmet och ritningar med SketchUp.

KPIs används vanligtvis som mätbara indikatorer över hur företag presterar i förhållande till dess mål (PricewaterhouseCoopers, 2007). Till det här projektet genererades och värderades KPIs med målet att användas som ett vägledande verktyg i stadsutveckling. För att undersöka människors behov av staden användes stadsplaneringsprinciper från Jan Gehls bok '*Cities for People*' (2013) och projektrapporten '*Stadslivet i centrala Göteborg*' (2012a).

5.6 Drivkrafter och barriärer

Formuleringar av drivkrafter och barriärer som Göteborg har i utvecklingen mot en stad med god ljudmiljö sammanställdes genom litteraturstudier, deltaganden i workshops och frågor under intervjuer.

6

Resultat fas II

I det här kapitlet har resultaten från metod II samlats för att besvara frågeställningen från fas I (se sektion 4.1.4 sida 41).

6.1 Datainsamling

I den här sektionen beskrivs resultaten från deltagande i workshops och utförda intervjuer.

6.1.1 Workshops

Deltaganden i workshops enligt metoden från fas II (se sektion 5.1.1 sida 43) genererade flera perspektiv över elektromobilitet i staden och hur de hör ihop med varandra. Följande presenteras intressanta perspektiv som identifierades inom elektromobilitet och stadsbyggnad.

Mobility as a Service

- Användarvänlighet
- Elektromobilitet som transporttjänst med exempelvis shuttle pods och Bzzt transporter
- Säkerhet i mindre fordon
- Ökad onlinehandel

Mobility as Networks

- Behov och användning av mobilitetslösningar
- Delningskultur
- Effektivisera fordonens användning med bland annat tjänsten Ubigos
- Google's Sidewalk Labs i samarbete med Toronto bygger digitaliserade smarta städer
- Inkluderande samhällen

Hur utformar vi staden för elektrifierad och automatiserad kollektivtrafik

- Alternativa logistika lösningar
- Omplanering av parkeringsutrymmen
- Trafikreduktion
- Trafikstrategi

Backcasting elmobilitet: WS4

- Hållbarhetsutmaningar
- Stadens metabolism
- Stadsvision

Slutliga perspektiv

Stadens trafik rör många aktörer och har i uppgift att uppfylla ett flertal behov. Hållbarhet diskuteras men det krävs en genomgående samverkan för att ord ska gå till tydlig handling. Det finns risk att den mänskliga dimensionen i staden bortprioriteras till följd av olika intressen. Perspektiven som deltaganden i samtliga workshops slutligen genererade blev:

- Antalet aktörer
- Infrastrukturella brister
- Mänskliga behov i staden
- Stadsplaneringens roll i en utvecklande stad
- Teknologiska framsteg och lösningar

6.1.2 Intervjuer

Den slutliga datainsamlingsmetoden tog sin form av två semi-strukturella intervjuer enligt metodologin från sektion 5.1.2 (se sida 44). Intervjuerna resulterade i fler perspektiv till projektet med värden att ta hänsyn till i utformandet av projektets avgränsningar och scenarier. Sammandrag från intervjuerna finns här nedan.

6.1.2.1 Lukas Memborn, Fastighetskontoret

Memborn (2018) beskriver att det finns en problematik med dagens hantering av stadsytor där trafiken tar upp yta som med alternativ stadsplanering kan utnyttjas för exploatering. Trafiken inte bara tar plats i form av vägleder utan också i buffertzoner i form av skyddsavstånd, trafikbuller och partikelutsläpp vilket i sin tur innebär att potentiella exploateringsytor blir icke byggbara (Memborn, 2018).

Memborn (2018) säger under intervjun begreppet 'Cittaslow' som är en stadsplaneringsfilosofi och movement, med fokus att öka livskvalitén i medlemsstäderna. Lösningen för att uppnå detta är enligt filosofin, genom långsamhet. Det finns listade principer som exempelvis reducering av trafik, fler gång- och cykeltrafikstråk, bättre parker och grönområden samt reducering av buller, ljud och partikelutsläpp (Cittaslow, 2014). En viktig aspekt från Cittaslow som Memborn (2018) nämner är att sänkta hastigheter för lokaltrafik kan jämna ut trafikflödet och kan således öka medelhastigheten och den totala effektiviteten med transportsystemet. Sänks

hastigheterna för lokaltrafik till 25 km/tim kan trafikintegrering ske mellan vägtrafikfordon och cykel, gatuutrymmena kan på så sätt minska påståt Memborn (2018). En annan positiv aspekt av dessa hastighetssänkningar är att det blir mer säkert och trivsamt att antingen gå eller cykla längst dessa gator.

Gällande gatubredd bör innerstadsgator inte vara bredare än 35 meter (undantaget riksgator). Vid större gatubredd än 18 meter så riskeras kundunderlaget halveras till ena sidan (Memborn, 2018).

Drivkrafter och barriärer inom stadsplanering säger Memborn (2018) att drivkraften är en gemensam attraktiv vision och barriärerna är skyttegravsfrågor mellan de som vill ha full framkomlighet för motortrafik och de som vill banna motortrafik från stadens gator för en mer gång- och cykelvänlig stad. Han hävdar att det som måste ske är en lösning där ökad effektivitet gynnar båda trafikslag och således stadens förtätning.

6.1.2.2 Jens Forssén, Chalmers Tekniska Högskola

Forssén (2018) säger att den största vinsten med elektromobilitet kan ske om de tunga fordonen blir tystare genom elektrifiering vilket i sin tur kan minska trafikbullrets negativa effekterna. Enligt Forssén (2018) korrelerar den mänskliga upplevelsen av ljud och störningar generellt väl med ljudtrycksnivån. Eftersom elektrifierade fordon är tystare i hastigheter under 30 km/tim där motorljudet annars dominerar så blir störningen till följd av elektrifierad trafik lägre (Forssén, 2018).

En stad med mindre trafikbuller längst vägarna kommer att öppna upp för att bygga närmre vägarna (Forssén, 2018). Fler fördelar är att områdets potential kan användas om parkytor och andra stadsytor för rekreation och lek kan bli tystare och på så sätt uppfylla sin stadsfunktion bättre.

Sveriges bullerförordningar är börkrav och de som väger tyngst är (Forssén, 2018):

- Inomhus med stängt fönster ekvivalentnivå
- Utanför bostaden fasad

Forssén (2018) beskriver dessutom att elektrifierad trafik har blivit så tyst att fordonen i framtiden måste ha artificiella ljud för att människor ska höra dess framfart. Det är främst organisationer för synskadade som har drivit dessa frågor.

I intervjun nämner Forssén (2018) en intressant lösning som en gästforskare på Chalmers Tekniska Högskola hade undersökt. Det var att städers trafikbullerutmaning kan mötas med principer om 'polluter pays' och fungerar på så sätt att fordonsägare skattas efter vilka bullernivåer som deras fordon emitterar.

Enligt Forssén (2018) är klagomål på buller en betydande drivkraft för att hantera trafikbuller i staden. Barriärerna med trafikbuller är att det är dyrt att bygga om

redan bullriga miljöer samt att buller generellt kommer långt ned på listan vid upphandling eller köp av fordon både offentligt och privat.

6.2 Strukturering av avgränsningar

Den här delen av projektet startade som en analys av den ingående datan som har stakats ut. Med ett huvudsakligt fokus på tidigare nämnda hållbarhetskriterium från 'Resultat fas II' (se sektion 4.1.1 sida 35) kunde avgränsningar i arbetet struktureras upp. Ett hållbart scenario innebär enligt Gröndahl & Svanström (2011) kompromisslösningar mellan olika hållbarhetsdimensioner genom kommunikation och tvärvetenskap.

Avgränsningen enligt presenterade kriterium måste säkerhetsställa ett hållbart stadium där elektromobilitet som ett hållbart transportsystem är fördelaktigt från konventionella metoder. Avgränsningen ska vara konkret och koncis för att öka förståelsen och inriktningen i projektets visionära mål. Punkter från datainsamling att ta till hänsyn vid formuleringen av avgränsningen:

- Geografi
- Akustisk komplexitet
- Teknologisk utveckling
- Infrastruktur
- Hållbara kriterium
- Etik

Det här projektet har ett fokus att undersöka potentiella lösningar mot trafikbuller inom Göteborgs Stad med hänsyn till akustik har en mängd ingående faktorer som påverkar det akustiska landskapet. Arbetet har tagit hänsyn till förekommande gatuumrums som i sin tur kan appliceras i en större skala än just Göteborgs lagar och regler och kan på så sätt appliceras nationellt och möjligtvis inom EU. Den formulerade avgränsningen blir därför:

Det här projektet fokuserar på att undersöka trafikbuller i förhållande till Göteborgs Stads bullersituation och är därmed avgränsad till kommunens geografiska utbredning. Projektet förhåller sig till de nuvarande lagarna och reglerna gällande buller.

Vidare avgränsning till projektet är att uppskattningarna endast avser luftburet vägtrafikbuller med befintliga tillgängliga beräkningsmodeller. Bullret från fordonen har avgränsats till källstyrkor från bullerberäkningsmetoden 'Nord2000' och endast personbilar och 6-axlig tung trafik har undersökts i uppskattningarna. Indatan till uppskattningarna har baserats på trafikflödesmätningar och trafikprognoser och har inte tagit hänsyn till ytterligare framtida inverkningar på trafiken.

Akustik varierar i olika väder och gatuutrymmen men dessa skillnader är oberäknade i det här projektet. Anledningarna till undantagen är att väder inte har en signifikant påverkan på ljudtrycksnivåer i korta avstånd som gaturum. Gällande akustikens variationer i gatuutrymmen är det främst bebyggelsen längst gatans sidor som påverkar rummets ljudtrycksnivåer där rummets detaljerade gatumöblering har mindre relevans. Ljudförhållandena som dessa två faktorer kan åstadkomma är förhållandevis litet i jämförelse med utförda ljudtrycksnivåuppskattningar och beräknas därför inte.

Studien kommer inte att undersöka hälsonyttorna av minskat partikelutsläpp som bytet från konventionella förbränningsmotorer till elektromobilitet kommer att innebära.

6.2.1 Områdesspecifika bullernivåsänkningmål

I linje med WHO:s hälsosamma bullernivåer under 55 dB(A) ekvivalentnivå vid fasad för en god hälsosam ljudmiljö kan olika lösningar vara mer effektiva i de bullerutsatta områden. Data visar att hälsoeffekter börjar vid långvarig exponering för ekvivalenta ljudtrycksnivåer över 55 dB(A) vid fasad och därav kan åtgärder för bullermiljöer projektera och prioritera lösningar utifrån dagens och prognoserade bullernivåer.

Bullernivåer	Förklaring
55-60 dB(A)	Bör ha målet att sänka bullernivåer med 5 dB(A).
60-65 dB(A)	Bör ha målet att sänka bullernivåer med 5 - 10 dB(A).
>65 dB(A)	Bör ha målet att sänka bullernivåer med mer än 10 dB(A).

Tabell 6.1: Bullernivåsänkningmål för god ljudmiljö

Bullersänkningmålen ovan ska fungera som vägledning för att uppnå en ljudmiljö med ekvivalenta ljudtrycksnivåer under 60 dB(A). Dessa mål kan användas för att vägleda vilken lösning som kan användas i valt gaturum.

6.3 Scenario design

Avgränsningarna skapade bättre möjlighet att med att utvärdera insamlad data för att göra en nulägesanalys och applicera den visionära bilden på möjliga uppskattningar. Designmetodologin resulterade på så sätt i scenariona nedan identifieras, väljs i form av beräkningsområde och vilka applicerbara scenarion med parametrar som fungerar på plats. Det blir alltså i det här arbetet design för en mer hållbar framtid av följd av god bebyggd miljö.

6.3.1 Val av beräkningsområde

Älvstaden täcker en stor del av centrala Göteborg där definierade noderna i förtättningsplanerna är:

Backaplan: Deltavägen, Kokegårdsgatan

Centralenområdet: Berglagsgatan, Kruthusgatan

Frihamnen

Gullbergsvass: Gullbergsvass strandgata

Lindholmen: Lindholmsallén

Ringön: Järnmalmmsgatan

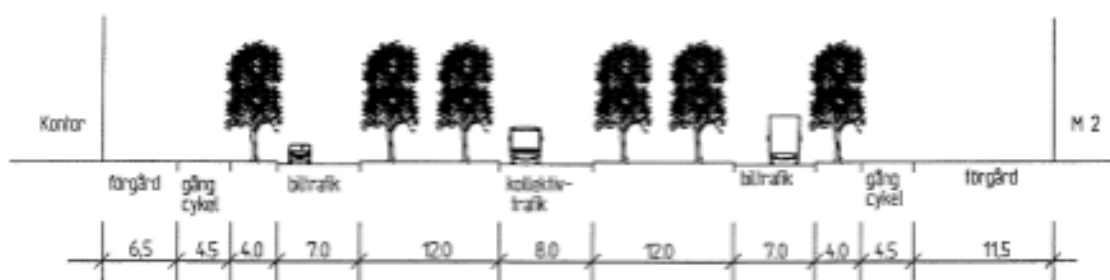
Södra Älvstaden: Emigrantvägen, Stora badhusgatan

Valt studieområde är Lindholmsallén som idag är rum för Lindholmens över 21 000 arbetande, studerande, forskare och boende enligt Lindholmen Science Parks hemsida (u. å.). Lindholmsallén har den vardagsaktiva busslinje 55 som är en elektrifierad busslinje från projektet ElectriCity. Runt Lindholmsallén finns det flera aktiva detaljplaner och det är planerat att cirka 30 000 personer ska använda området senast år 2020 (Lindholmen Science Park, u. å.).

Lindholmen ska utvecklas och är idag en plats där svenska och internationella företag möts och samverkar. Många ytor är idag obebyggda eller bebyggs förnuvarande och platsen har utmaningar att hålla goda ljudstandarder för att hållbart förtäta för bostäder och företag.

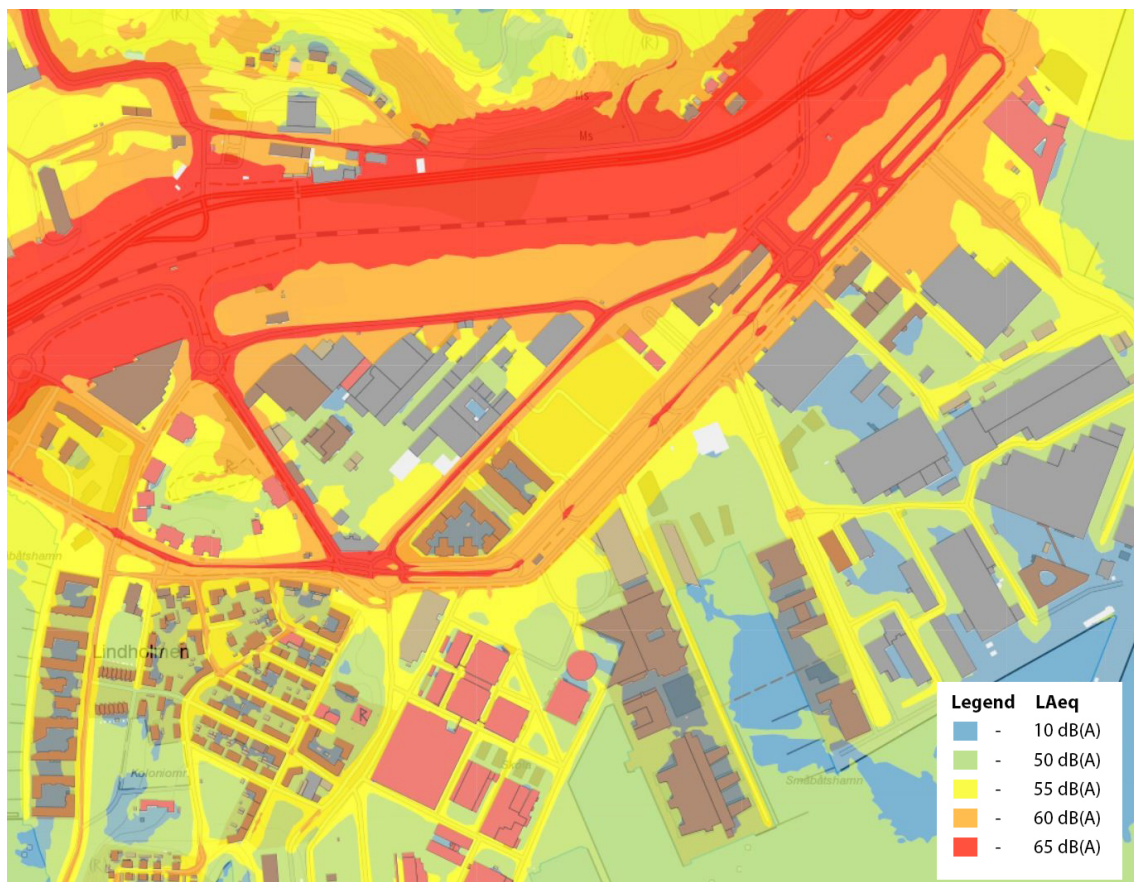
6.3.2 Lindholmsallén

Lindholmsallén utgörs av enligt detaljplan 1480K-II-4554 sammanställd av Göteborgs Stads Stadsbyggnadskontor (2001) en cirka 800 meter lång huvudgata som är 80 meter bred. Lindholmsalléns täckande areal uppgår till cirka 6.5 hektar. I den gällande detaljplanen står det att Lindholmsallén ska bli områdets ryggrad i form av ett tydligt stråk med raka gator ned mot vattnet längst med. Den breda gatan ger rum för biltrafik, kollektivtrafik samt gång- och cykeltrafik. Det står också att Lindholmsallén ska utgöra 'entrérummet' för Lindholmen och Lundbystrand och att det är ett av de viktigaste gång- och cykelstråken utmed älvstranden. Dimensionerna för gatans uppdelade trafikfält är utritade i gatusektionen i figuren 6.1 nedan.



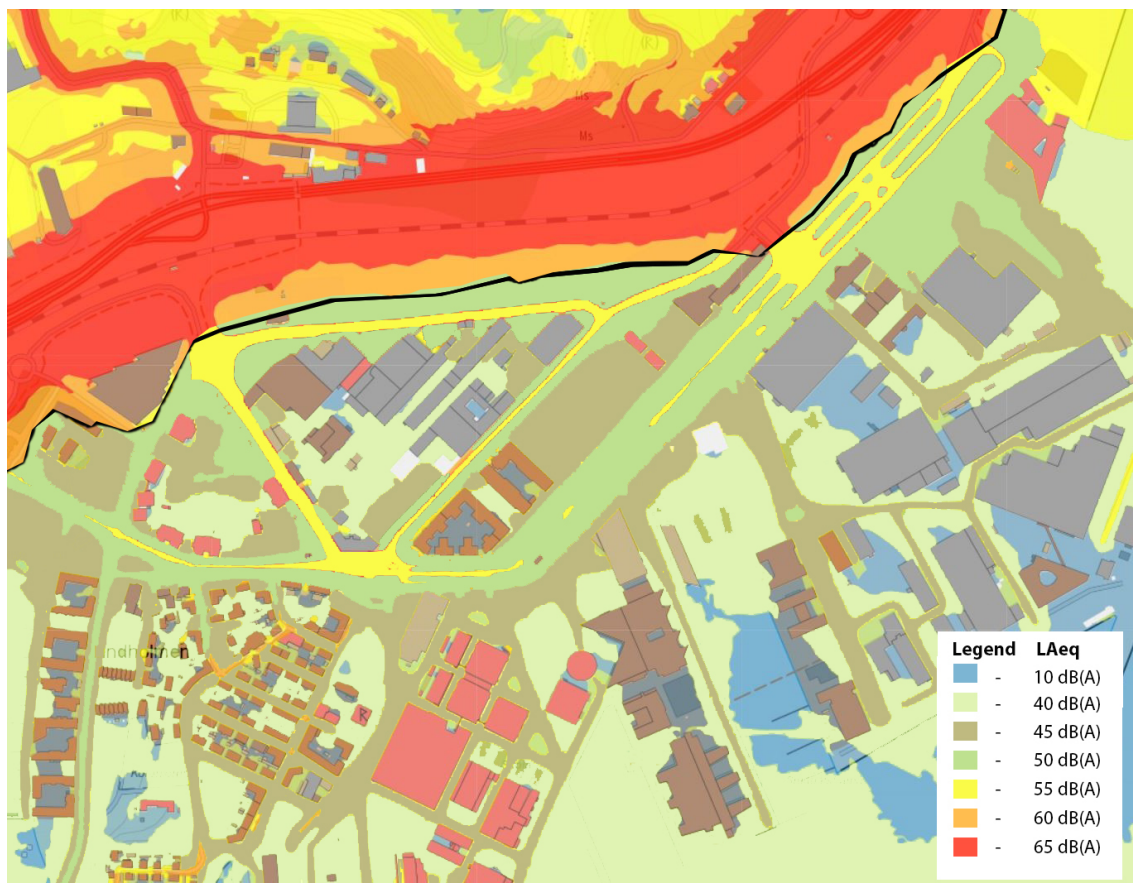
Figur 6.1: Gatusektion av Lindholmsallén från detaljplan 1480K-II-4554 (Stadsbyggnadskontoret, 2001)

Data från Göteborgs trafikbullernivåer år 2013 har sammanställts i Miljöförvaltningens webbkarta (2013). Webbkartan är framtagen bara med hänsyn till trafikbuller från de närmaste gatorna och inte med hänsyn till trafikbuller från stadens alla gator. Bullernivåer ner mot 10 dB(A) är orealistiska i Göteborg då det i verkligheten finns ett bakgrundsbuller i staden som är 40-50 dB(A). Bakgrundsbullret kallas bullerregn och är bullerkällor som inte utgör direkt exponering av planområdet utan är källor som påverkar på större avstånd (Boverket, 2017). I större tätorter har det visat sig vara svårt att nå ekvivalenta ljudnivåer under 45 dB(A) på grund av bullerregn (Åkerlöf, 2006). Trafikbullernivåerna runt Lindholmsallén från webbkartan presenteras i figuren nedan.



Figur 6.2: Miljöförvaltningens bullerkarta över området Lindholmsallén

Ersätts förbränningsfordonen helt av elektrifierad trafik längst Lindholmsallén så kan det innebära en ljudmiljö med 6 - 10 dB(A) lägre bullernivåer enligt analyser av miljözoner som förbjuder förbränningsmotorer (CityHush, 2012). En sänkning av 10 dB(A) ekvivalentnivå har visualiserats genom en retuschering av Miljöförvaltningens bullerkarta över området nedan.



Figur 6.3: Retuschering av Miljöförvaltningens bullerkarta över området Lindholmsallén

Figuren 6.3 ovan visar en idealistisk bild av hur ljudmiljö kring Lindholmsallén kan se ut. Mindre buller i området innebär en hälsosammare miljö och kan öppna upp för en annan användning av omgivande gaturum.

6.3.2.1 Insamling av relevanta parametrar

Data om antalet förbipasserande fordon, skyltad hastighet, andel tung trafik och antalet tunga fordon inhämtades från detaljplaner och Trafikkontorets 'Trafikmängder på olika gator' (2015). Passagerna presenteras med ett ÅDT-värde vilket betyder enligt Trafikverket (2013) 'årsdygnstrafik' och är det genomsnittliga trafikflödet per dygn mätt som fordon per dygn. Tabellen 6.2 nedan presenterar dagens trafik på Lindholmsallén enligt detaljplan (2012).

Parameter	Värde
Skyltad hastighet	50 km/tim
ÅDT	2200 passager per dag
Andel tung trafik	7 %
Busstrafik	620 passager per dag

Tabell 6.2: Parametrar för dagens trafik på Lindholmsallén

Trafikprognos från Stadsbyggnadskontorets gällande detaljplan 1480K-2-5400 (2017) uppskattar att Lindholmsallén år 2035 kommer att ha trafik med 2700 passager österut samt 2700 passager västerut. Kollektivtrafiken kommer enligt planen att bestå av 560 spårvagnar och 320 bussar men eftersom det här projektet inte tar hänsyn till spårvagnstrafik så antas spårvagnarna ingå i busstrafik och uppskattas alltså vidare som tung trafik (se tabell 6.3 nedan).

Parameter	Värde
Skyltad hastighet	50 km/tim
ÅDT	2700 passager per dag
Andel tung trafik	5 %
Busstrafik	880 passager per dag

Tabell 6.3: Parametrar med hänsyn till trafikprognos på Lindholmsallén

6.3.3 Scenarier

Designen av scenarier resulterade i 8 olika scenarier som beskriver hur totalelektrifiering av olika fordonstyper kommer att påverka den omgivande ljudmiljön. Uppskattningarna ska visa dagens bullernivåer, bullernivåerna med dagens trafikflöde då all personbilstrafik är elektrifierad, bullernivåerna med dagens trafikflöde då all tung trafik är elektrifierad och slutligen bullernivåerna med dagens trafikflöde då all trafik är elektrifierad. Detta upprepas sedan för att undersöka hur ljudmiljön kan uppskattas med en trafikprognos för Lindholmsallén år 2035.

- dB(A) idag
- dB(A) idag med elektrifierad personbilstrafik
- dB(A) idag med elektrifierad tung trafik
- dB(A) idag med all trafik elektrifierad
- dB(A) enligt trafikprognos 2035
- dB(A) enligt trafikprognos 2035 med elektrifierad personbilstrafik
- dB(A) enligt trafikprognos 2035 med elektrifierad tung trafik
- dB(A) enligt trafikprognos 2035 med all trafik elektrifierad

6.4 Uppskattningar scenarier

Den uppskattade bullernivån kring Lindholmsallén blev $L_{pAeqtot} = 63.44$ dB(A) och bullernivån för trafikprognosen blev $L_{pAeqtot} = 64.17$ dB(A).

Resultaten från uppskattningarna visar att elektrifiering av trafik på Lindholmsallén kan sänka bullernivåerna med 0.4 - 2.5 dB(A). Elektrifiering av tung trafik visar sig vara mer effektivt då bullernivåerna sänks mest i förhållande till andelen fordon (se hela resultaten i bilagor A.2 sida IV).

Framdrivningsbullret från vägtrafikfordon är dominerande i lägre hastigheter. Uppskattningar av bullernivåer i förhållande till hastighetssänkningar är intressant.

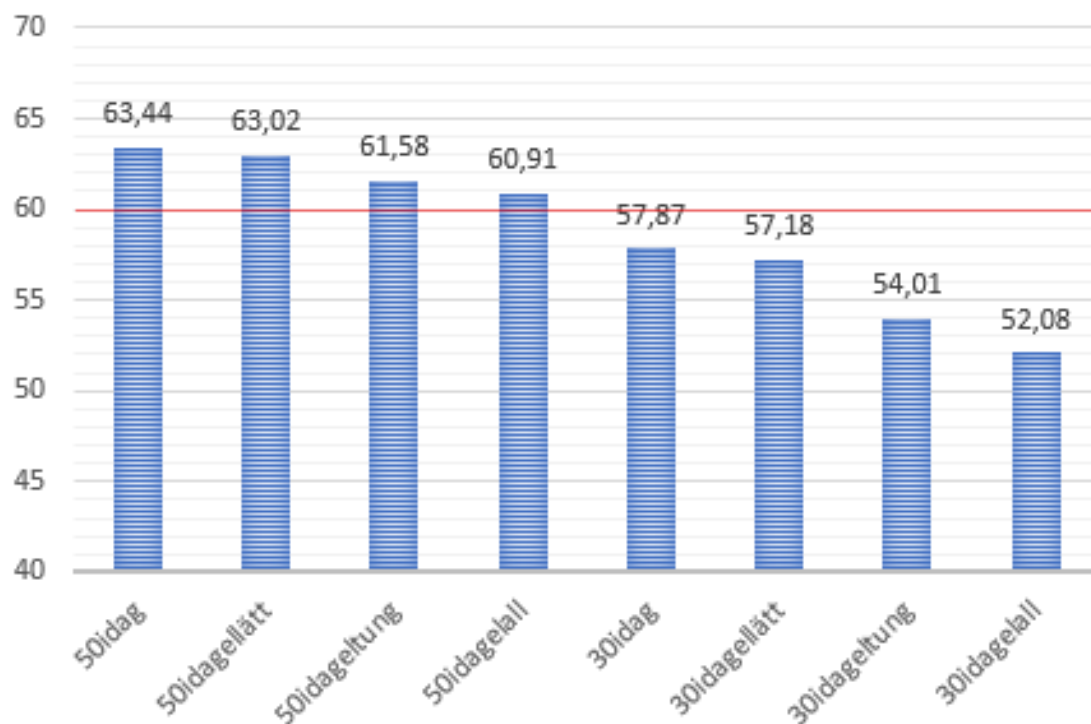
Ytterligare parametrar till scenarierna resulterade till fler uppskattningar över tidigare givna scenarier med 30 km/tim istället för dagens skyltade 50 km/tim.

- dB(A) idag med skyltad hastighet 30 km/tim
- dB(A) prognos med skyltad hastighet 30 km/tim

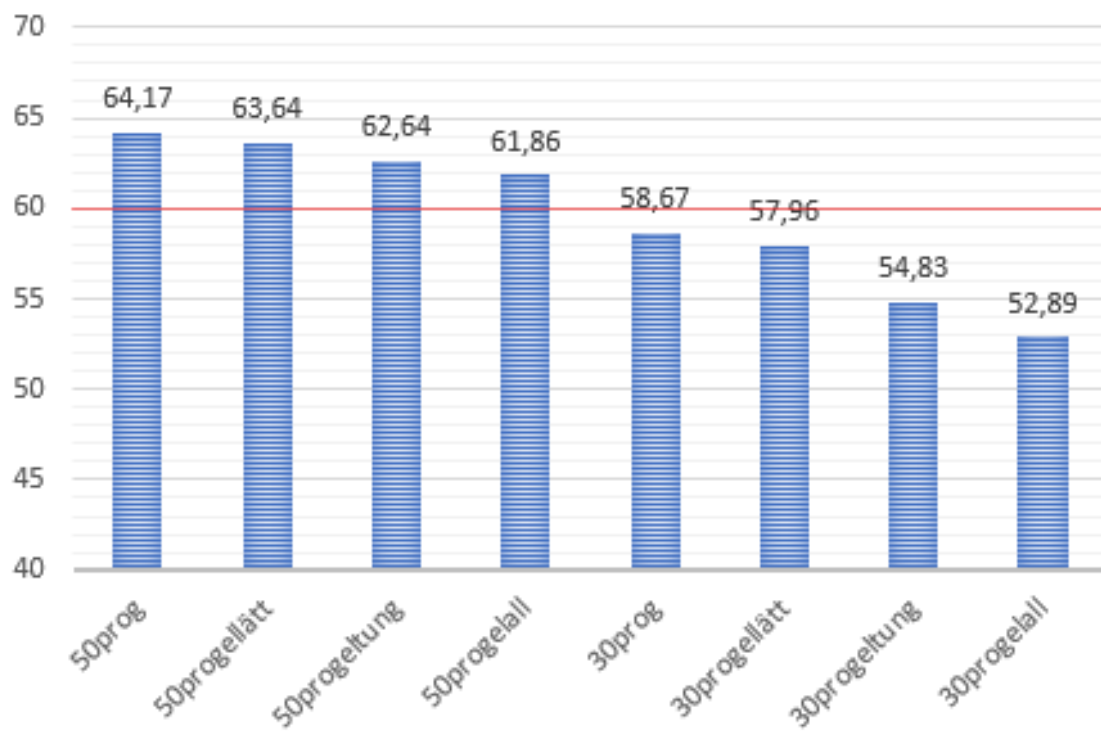
Uppskattningar av bullernivåerna med hastighetssänkningar och elektrifiering resulterade i bullernivåsänkningar mellan 5.5 - 11.4 dB(A) (se hela resultaten i bilagor A.2 sida IV). I tidigare sektion definierades områdesspecifika bullernivåsänkningmål för god ljudmiljö (se sektion 6.2.1 sida 53). För att följa de målen då Lindholmsallén har en uppskattad bullernivå mellan 60 - 65 dB(A) redovisas nedan endast de scenarier som kan anses vara lösningar som sänker bullernivåerna med 5 - 10 dB(A). Uppskattningarnas resultat presenteras i tabell 6.4 nedan:

[km/tim]	-	[dB(A)]	[db(A)]
v	scenario	L_{pAeq}	skillnad L_{pAeq}
30	idag	57.87	5.6
30	idag el lätt	57.18	6.3
30	idag el tung	54.01	9.4
30	idag el all	52.08	11.4
30	prog	58.67	5.5
30	prog el lätt	57.96	6.2
30	prog el tung	54.83	9.3
30	prog el all	52.89	11.3

Tabell 6.4: Resultat uppskattningar med Nord2000 och Nordiska beräkningsmodellen



Figur 6.4: Stapeldiagram med uppskattade bullernivåer för dagens trafik



Figur 6.5: Stapeldiagram med uppskattade bullernivåer för trafikprognos 2035

6.5 Elektromobilitet i stadsutvecklingsperspektiv

Tidigare resultat i form av hållbarhetsperspektiv, datainsamling och tolkning av Göteborgs Stads strategier bygger idén om elektromobilitetens roll i stadsutveckling. Den samlade analysen är att bullernivåer från vägtrafikfordon i stadsmiljöer kan reduceras effektivt genom hastighetssänkningar i kombination med elektrifiering av trafiken.

Göteborgs Stads strategier om ett ökat kollektivt resande kan leda till minskad energiförbrukning och partikelutsläpp av stadens trafikapparater. För att kollektivtrafiken ska ses som ett alternativ till personbilstrafik krävs det att den går nära och frekvent till bostäder och arbetsplatser. Det är fördelaktigt om den kollektiva trafiken anses vara mer effektiv än personbilstrafiken i staden. Det kan ske genom att sänka hastigheten på personbilstrafiken och sämre tillgänglighet till parkeringar. Täta turer med tunga fordon kommer att öka bullernivåerna i staden och för att ha bostadsnära kollektivtrafik är åtgärder som minskar bulleralstringen hos fordonen nödvändiga. Förtätningen av en redan bullrig stad kommer att kräva bullerreducerande åtgärder vid källan.

6.5.1 Möjligheter exploatering Lindholmsallén

Bullernivåerna vid Lindholmsallén är omkring 60 - 65 dB(A) enligt Miljöförvaltningens bullerkartläggning (2013) och det här projektets uppskattningar. Exploatering av ytor längst med allén kan ske beroende på vilken användning byggnaden kommer att ha.

För bostäder gäller:

- nybyggnation möjlig om ekvivalentnivån vid fasad är under 60 dB(A)
- nybyggnation möjlig för lägenheter med en area under 35 kvadratmeter utan tillgång till tyst sida om ekvivalentnivån vid fasad är under 65 dB(A)

Nybyggnation är vidare möjlig om tillgång till tyst sida ges (se sektion 2.4.1 sida 23).

Vid byggandet av verksamheter finns inga riktvärden men Arbetsmiljöverket (u. å.) har sammanställt vägledande värden för dessa. Värden under 40 dB(A) ekvivalentnivå inomhus är enligt Arbetsmiljöverket bra för verksamheter. Ljudmiljön inomhus beror främst på bullerkällor och dessa kan motverkas baserat på konstruktionens reduktionstal.

Med dagens bullernivåer längst Lindholmsallén bör inga större bostäder än 35 kvadratmeter byggas i direkt anslutning till allén utan tillgång till tyst sida. Kontorslokaler längst Lindholmsallén bör endast byggas om en hälsosam ljudmiljö inomhus kan försäkras med väl ljudisolerade konstruktioner. Lindholmsallén som ett offentligt rum är inte behagligt då de höga bullernivåerna kan störa samtal.

Hade Lindholmsallén endast trafikerats av elektrifierad trafik hade det enligt uppskattningarna inneburit en bullernivåsänkning med cirka 3 dB(A) vilket är en reduktion av störning men inte en tillräcklig reduktion för att nå under 60 dB(A) ekvivalentnivå. Det betyder att inga större bostäder än 35 kvadratmeter bör byggas i direkt anslutning till allén utan tillgång till tyst sida.

Elektrifierad trafik i kombination med hastighetssänkningar från 50 km/tim till 30 km/tim kan enligt uppskattningarna vara en lösning som möjliggör vidare exploatering kring Lindholmsallén. Åtgärderna sänker bullernivåerna mellan 6.2 - 11.4 dB(A) och kan innebära ekvivalentnivåer under 60 dB(A). Under 60 dB(A) ekvivalentnivå kan nybyggnation av bostäder ske och det offentliga rummet blir behagligt att vistas i förhållande till bullernivån.

I dagsläget pågår en expansiv period i området där det fysiska området utvecklas i form av ett flertal nybyggnationer längst med Lindholmsallén. Planerna har rum för bostäder och arbetslokaler men inga lugna större rum eller torg. Den kvarvarande byggbara marken i området blir således Lindholmsallén som i dagsläget används för transporter.

6.5.2 Möjlighet till offentligt rum längst Lindholmsallén

“Viktigt att offentliga rummet är till för alla, välkomnar alla och är ändamålsenliga för stadsliv inte bara som transport. Det offentliga rummet är stadens bas och bultande hjärta. Det är där stadslivet försigår, grunden till vår samexistens. Ordnar vi inte bra häng och bra ställen att bara finnas, med eller i närheten av varann så har vi inte ordnat en bra stad.” Björn Siesjö, Urbanum (u.å)

Projektrapporten *‘Stadslivet i centrala Göteborg’* av Göteborgs Stads Stadsbyggnadskontor (2012) beskriver upplevelsen av Göteborg genom observationer, besvarade enkäter och andra stadsanalyserande metoder. Resultaten visar bland annat att barnens tillgänglighet i staden är starkt begränsad utan vuxnas sällskap mycket beroende på stadens motortrafik. Barn under 12 år klassas som ej trafikmogna och har svårt att trafiksäkert röra sig genom Göteborg. Rapporten anger också antalet rekommendationer på hur Göteborg och älvrummet borde utvecklas för att främja stadslivskvalitéer såsom gångtrafik, lek och rekreation. Rekommendationerna är exempelvis att Göteborg borde utveckla torg för både boende och besökare, utveckla älvrummet till ett rekreativt gång- och cykelstråk och utveckla värdetäta platser för alla och gemensamma platser för grannskapet.

Områdets användning av människor beror av många faktorer och för att Lindholmsallén ska utvecklas till en användbar yta har resultatet från metod fas II (se sektion 5.5 sida 47) presenteras här nedan i form av en KPI med fyra kriterier:

- Användning
- Design
- Miljö
- Tillgänglighet

Värderingen av de olika indikatorerna i det offentliga rummet presenteras nedan genom dess numrering där kriterie 1 är av högsta prioritet:

1. Det viktigaste kriteriet för att det offentliga rummet ska användas är dess **tillgänglighet**. Tillgängligheten beskriver möjligheten att ta del av miljön och kan mätas med hur kopplat området är med omgivningen och hur lätt det är att ta sig dit (Göteborgs Stad, 2012a). Är rummet kopplat till kollektivtrafik kommer områdets aktivitet att öka (Gehl, 2013).
2. Rummets **användning** och dess roll i staden beror enligt Gehl (2013) till stor del på hur människor behöver samlas. Han beskriver att offentliga ytor som möjliggör aktiviteter som exempelvis rekreation och lek kommer skapa aktiva områden. Andra attraktiva element som beskrivs är stadsliga attraktioner som parker, museum och marknader.
3. Ytterligare viktig aspekt är den fysiska komforten av **miljön** (Gehl, 2013). Principen är att människan ska ha möjlighet att känna sig skyddad i rummet mot bland annat vind, sol och höga bullernivåer.
4. Slutligen den sista indikatorn är hur miljön är **designad**. Stadsplaneringsprinciperna från Gehl (2013) beskriver att fontäner och statyer kan attrahera

människor att samlas. Vidare beskrivs att i många av fallen är mindre torg bättre än större torg. Sittplatser och ljus beskrivs också vara viktiga för det offentliga rummet om staden vill att människor ska stanna längre.

Personliga observationer av Lindholmsallén beskriver hur ytan inte används mer av människor än att resa längst och över. Att resa över Lindholmsalléns bredd kan även vara problematiskt då människan måste passera flera breda körfält för att nå den andra sidan. Figur 6.7 (se sida 66) är en utritad topvy baserat på den gällande detaljplanen (Göteborgs Stad, 2001). Utrymmet utbreder sig över en cirka 60 meter bredd exklusive de svartmarkerade förgårdarna längst sidorna. Inom gatuutrymmet finns sex körfält och flera grönområden som ej används av människor mer än som skydd mot trafik.

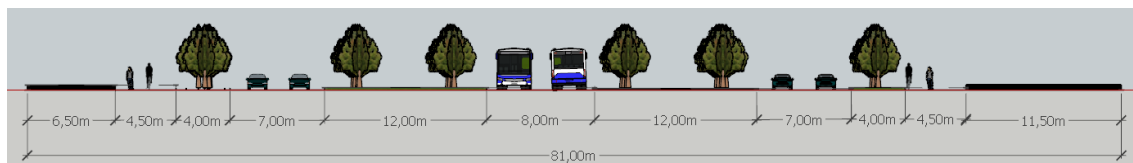
Identifierade problem med Lindholmsallén från den mänskliga dimensionen:

- Yta där gående går och stannar är skilda
- Konflikt mellan gående och motortrafik
- Parkeringsplatser tar värdefullt utrymme

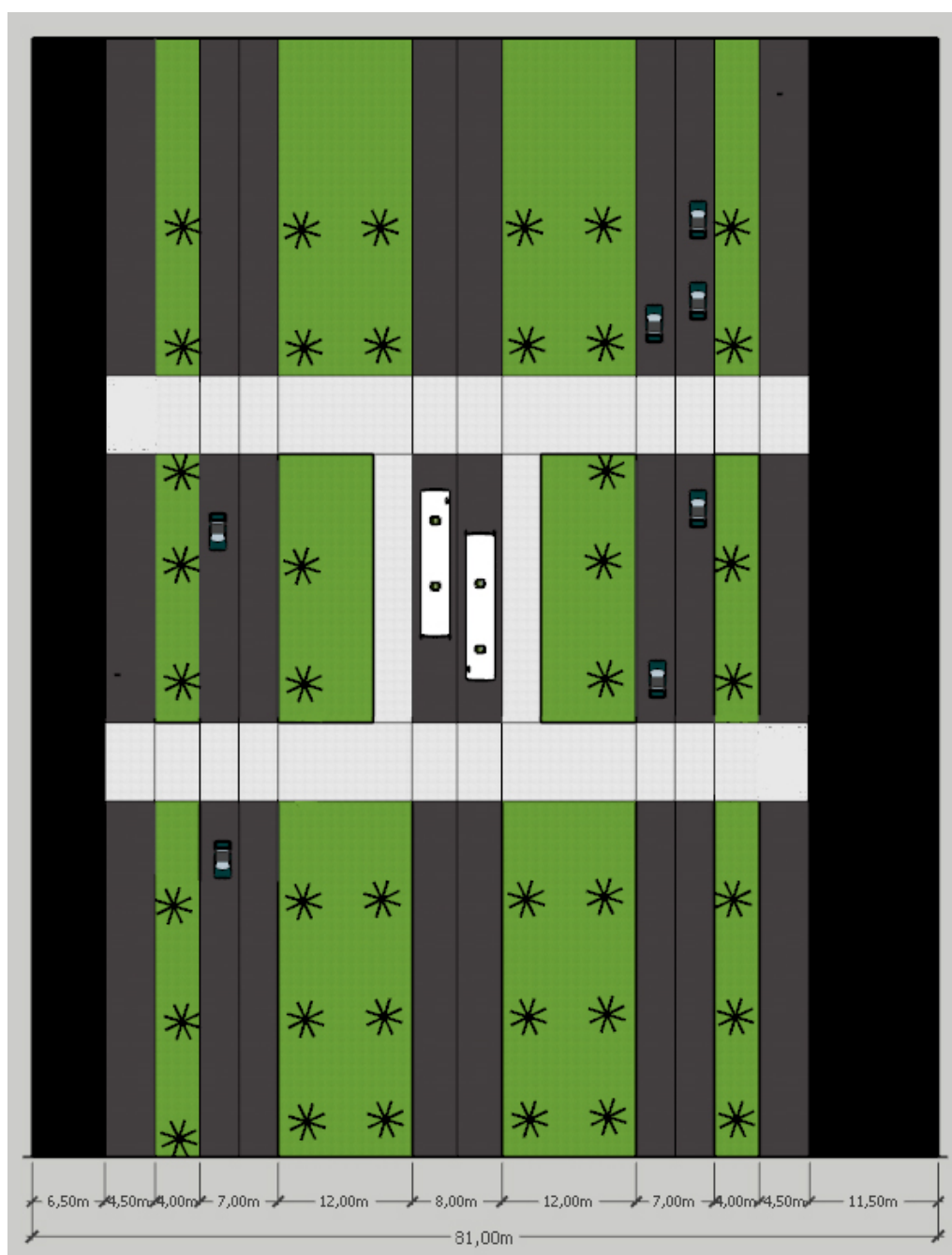
Baserat på de ovanstående indikatorerna för användning av offentliga rum och Lindholmsalléns identifierade problem har området god tillgänglighet, sämre användning, dålig miljö i form av buller och ingen mänskligt inkluderande design. Området kan utvecklas sin användning om mer plats prioriteras och skapas för mötesplatser, gång- och cykeltrafik, lek samt rekreation.

Lindholmsalléns ljudmiljö överstiger idag bullernivåer som klassas som goda ljudmiljöer. Enligt Boverket (2016) är en god ljudmiljö en förutsättning för hållbara och attraktiva städer. En sådan miljö skapar förutsättningar för vila och återhämtning och det ska också vara en miljö som är bekväm att samtala i. Gehl (2013) hävdar att normala konversationer vid en normal distans kan ske om omgivningsbullret är högst 60 dB(A). I rapporten '*Störande buller*' av Arlinger, Hygge, Johansson, Kjellberg, Landström & Waye (1999) står det att höga bullernivåer generellt försämrar taluppfattbarheten. Försämrad taluppfattbarhet kräver ansträngning då konversationer måste ske med höjda röster. Detta begränsar också möjligheter till vila och återhämtning i området.

Om Lindholmsallén omformas för bättre användning och bullernivåerna sänks finns det goda möjligheter för området att bli en mer utnyttjad plats för möten, lek och rekreation.



Figur 6.6: Dagens gatusektion enligt gällande detaljplan (Göteborgs Stad, 2004)



Figur 6.7: Dagens översikt av gatuanvändning enligt gällande detaljplan (Göteborgs Stad, 2004)

6.5.2.1 Alternativ lösning till Lindholmsallén

En alternativ lösning till Lindholmsalléns nuvarande utformning är att flytta motortrafik till ena sidan av kollektivtrafiken samt smalna av trädpartierna som i figur 6.12 (se sida 69). Den omformningen öppnar upp för cirka 24 meter vilket kan användas för antingen mer rum för byggnader och bostäder eller så kan Lindholmsallén bli ett stort offentligt rum och ett välkomnande entrérum till Lindholmen med park och sittytor.

Det offentliga rummet kan hela staden likt Superkilen i Köpenhamn (se följande figur 6.8), vara utrymme för lek, park, träningsyta, uteserveringar och mötesplatser som alla kan använda. En sådan yta kan också användas för att leda de stadsbor och besökare ned mot vattnet.



Figur 6.8: Superkilen, Danmark, BIG - Bjarke Ingels Group - SUK - Superkilen Park (2012)

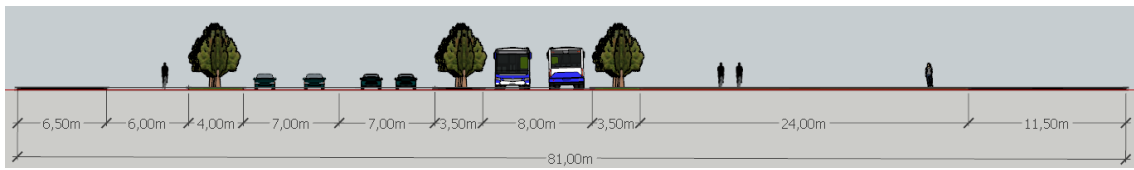
Fler exempel av hur gaturummet kan användas annorlunda till bland annat stadsodlingar eller marknader presenteras i följande figurerna.



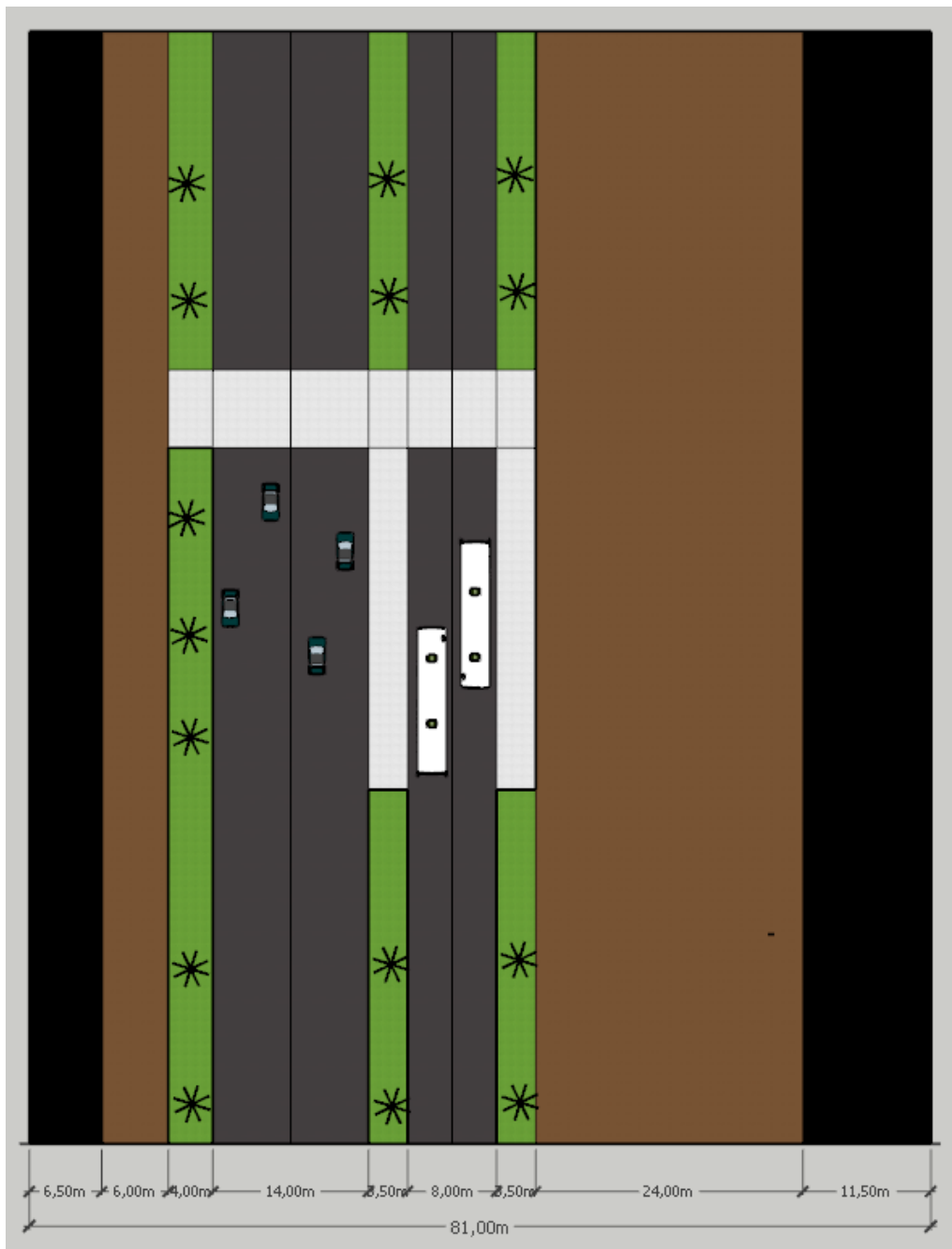
Figur 6.9: Amsterdam Avenue, New York med retuscherings (Terreform Center for Advanced Urban Research, 2015)



Figur 6.10: Los Angeles Figueroa Street Corridor Design (CRA/LA & Gehl Architects, 2010)



Figur 6.11: Alternativ gatusektion baserat på stadsutvecklingsteorier från Gehl (2013)



Figur 6.12: Alternativ översikt av gatanvändning med bruna ytor som potentiella areor för exploatering och byggnation

6.5.2.2 Fler alternativ till Lindholmsallén

Fler alternativ till utformningen av Lindholmsallén kan bland annat vara att:

- Använd öppen yta från den alternativa lösningen för att få in 12 meter breda byggnadskroppar.
- Avsmala gatan med hälften av ytan för att skapa mer plats åt bebyggelse 80 meter kan smaltas av till 45 meter.
- Eller enligt tidigare stadsplaner undersökta av Memborn & Älfvåg i '*Historisk stadsplaneanalys i Göteborg*' (2017) dra en kanal genom Lindholmsallén för att bland annat samla vatten från dagvatten men också för att skapa ett trevligare stadsrum.

6.6 Samhällsplanering för en bättre ljudmiljö

För att nå en god ljudmiljö i städer bör bullerutmaningar mötas med en kombination av bullerreducerande åtgärder. Att bearbeta källan genom elektrifiering av trafiken är en av lösningarna men enligt projektets tidigare uppskattningar beror även bullernivåerna hos elektrifierade fordon till stor grad av vilken hastighet de färdas i.

Hastighetssänkningar i staden beror enligt rapporten *'Ljudmiljön i stadens offentliga rum'* (2014) på hur vägen är utformad. Det står att en väg som har 70-standard men är skyltad 50 km/tim kommer köras i 70 km/tim. Bättre ljudmiljöer kräver således lösningar som är tekniska, fysiska och begränsningar med lag.

'Urban Sound Planning - The SONORUS project' (2016) är ett projekt som belyser hur städer kan arbeta med ljudmiljön. I projektet står det att ljudmiljöplanering kan ske i tre nivåer: macro, meso och micro.

- **Macro** definierar hela stadens behov och ambitioner med ljudmiljön samt vilka metoder och förhållningssätt som behöver tas i hänsyn för att kontrollera den övergripande ljudmiljön.
- **Meso** beaktar olika stadsmiljöer där kontroll av transport och trafikens genomfart används för att kontrollera ljudmiljön.
- **Micro** använder fysiska förändringar i rummet för att anpassa ljudmiljön till de lokala behoven. Ett exempel på en sådan teknisk lösning är bullerskärmar.

Samhällsplanering för en bättre ljudmiljö beskrivs i *'SONORUS-projektet'* (2016) som en komplex uppgift som kräver en konsekvent tillämpning av transdisciplinära metoder genom: stads- och trafikplanering, arkitektur, akustik, bullerkontroll och arbete med ljudlandskapet. Detta måste ske genom samverkan med politiska och administrativa processer som tar hänsyn till de tillhörande ekonomiska aspekterna.

Att sakta ner motortrafiken likt stadsplaneringsprinciperna inom *'Cittaslow'* har visat sig vara en effektiv åtgärd för att minska bullernivåer enligt projektets uppskattningar. Ytterligare effekter av dessa hastighetssänkningar är att staden kan bli mer attraktiv för andra transportmedel. En attraktiv stad med goda ljudmiljöer kräver att hållbarhetsaspekter gällande vår byggda miljö är med i hela planeringsprocesser till färdigställd fysisk utveckling och vidare efter att byggnaderna eller miljöerna står klara.

6.7 Drivkrafter och barriärer

Projektets tidigare kapitel och sektioner visar ett stort behov att sänka bullernivåer för att fortsätta utvecklas hållbart. Investeringar i elektromobilitet är och bör vara en av lösningarna eftersom transportsättet har potentiella symbioser med andra miljömål. Studier om buller, regelverk, lagar samt den information som erhölls genom intervjuer har skapat en överblick om potentiella drivkrafter och barriärer gällande elektromobilitet i stadsutveckling.

Drivkrafter

- **Alternativa byggnadsmöjligheter:** Inomhushållplatsen för ElectriCitys 55 buss är ett exempel på hur elektromobilitet inte har samma behov av ventilation. Möjligheterna att komma närmare utan att skada byggnader eller brukarna är attraktivt för transporter.
- **Färre tar körkort:** Enligt Trafikverket (2014) tar färre personer körkort vilket kan korrelera med att framtida stadsbor kommer att förlita sig på andra förare exempelvis kollektivtrafik. Mindre personbilstrafik kan leda till mer kollektivtrafik och således en bullermiljö som lättare hanteras av staden.
- **Folkhälsa:** Omgivningsbuller har visat evidenta bevis på att det har negativa hälsoeffekter.
- **Klagomål:** Många i Göteborg lever idag med en ljudtrycksnivå som inte är acceptabel. Mer medvetenhet om trafikbullrets långsiktiga hälsoeffekter kan leda till mer missnöje och således fler bråskande ärenden.
- **Ökad förståelse för hållbarhet:** Bruket av fossila bränslen har visat negativa lokala och globala effekter.

Barriärer

- **Bostadsmarknad:** Bristen på bostäder är i målkonflikt med att bygga hållbara samhällen. Dagens byggnadsprioritering riskerar helhetsperspektiv, god hälsa och välmående.
- **Bullrets roll i samhällsplanering:** Buller är en komplex utmaning som kräver planprocesser som inkluderar stadsplanerare, trafikplanerare, arkitekter och politiker. Idag följer planprocesser en uppdelad struktur vilket i sin tur hämmar helhetslösningar som värnar om områdets ljudmiljö.
- **Dyrt att bygga om:** Redan bullriga miljöer är både komplexa och dyra att bygga om för bättre ljudmiljöer. Omställningen till elektrifiering av trafik kommer att kräva infrastrukturella kostnader.
- **Gatuutformning:** Beroende på hur vägen är utformad så kommer bilarna köra i hastigheter som motsvarar utformningen, exempelvis på en väg som har 70-standard men som är skyltad 50 km/tim kommer fordon generellt att framföras i 70 km/tim.
- **Lagstiftningen:** för att möta bullerproblematiken är bristfällig. Det går idag att bygga väg jämte hus men det går inte att bygga hus jämte en väg. Bullerförfordningarna begränsar bara vad vi får göra nytt men behandlar sällan den redan byggda miljön.
- **Personbilstransport:** Så länge personbilstransport är effektivt kommer det

transportsättet att fortsätta. Dessutom är det dyrt för privatpersoner att köpa nytt. Om miljözoner uträttas för endast elektromobilitet kan ekonomisk segregering bli en utmaning.

- **Svårt att kommunicera buller:** Buller är omkring oss varje dag, den omedvetna störningen av buller är subjektiv, ljud är svårt att visualisera och dess omedvetna effekter är också svåra att kommunicera. Ens uppfattning av hörsel.
- **Tyst sida:** Att bostäder har en tyst sida har visat sig vara en god lösning för människors hälsa. Utmaningen med tyst sida är att den rättfärdigar bullriga utemiljöer utanför bostäder genom lagstiftning.

7

Diskussion

I det här kapitlet diskuteras lagar, regelverk och Göteborgs Stads miljöpolicy (se sektion 7.1), projektets metodologi (se sektion 7.2 sida 76) och slutligen resultatens rimlighet (se sektion 7.3 sida 77).

Det här projektet har undersökt buller och elektromobilitetens roll i stadsutveckling. Trenden för att uppnå god ljudmiljö i Göteborg är neutral och med prognoser om ökad trafiktransport förväntas de redan bullriga stadsmiljöerna att bli ännu bullrigare enligt Barregard, Molnár & Ögren (2018). Göteborg planerar en omvälvande förtätning av den fysiska miljön men de tidiga hållbarhetsambitionerna kan inte anses hållbara om staden bygger sig fast i bullriga miljöer.

Konkreta verktyg och rekommendationer för att möta stadens bullerutmaningar finns tillgängliga och åtgärderna måste vidtas för att säkerhetsställa god bebyggd miljö och goda ljudmiljöer. Det mest intressanta resultatet från det här projektet är att elektrifieringen av tunga fordon i kombination med hastighetssänkningar från 50 till 30 km/tim i Lindholmsallén kan reducera bullernivåerna för vidare exploatering.

7.1 Lagar, regelverk och Göteborgs Stads miljöpolicy

I 2 kap. 6 a § PBL (2018) anges att bostadsbyggnader ska lokaliseras till mark som är lämpad för ändamålet med hänsyn till möjligheterna att förebygga olägenhet för människors hälsa i fråga om omgivningsbuller, och utformas och placeras på den avsedda marken på ett sätt som är lämpligt med hänsyn till möjligheterna att förebygga olägenhet för människors hälsa i fråga om omgivningsbuller.

Bulleremissionerna från trafiken i Göteborg försvårar förtätningen av staden och enligt ovanstående paragraf från PBL riskerar byggandet i en bullring miljö människors hälsa. Göteborgs Stad har i ett flertal strategier för buller, utbyggnad och trafik uttryckt att hela staden ska arbeta tillsammans för god livsmiljö och en hållbar utveckling (Göteborgs Stad, 2015). De genomgående strategierna och målen ska användas för att forma en attraktiv och trivsamt stad. Trafikstrategin menar att gång-, cykel- och kollektivtrafik ska vara de vanligaste transportmedlen i det framtida Göteborg men för att vara ett alternativ till bilen krävs det att dessa transportsätt är effektivare. Planering av den fysiska miljön och tillgängligheten för personbilstrafik

blir således ett viktigt verktyg för att nå dessa mål.

Miljöförvaltningen (2016) i Göteborgs Stad har i rapporten '*Bullerkartläggning av Göteborgs Stad 2017*' med data från 2016 beräknat att cirka en tredjedel av Göteborgs befolkning utsattes för trafikbullernivåer och ljudmiljöer som inte anses vara långsiktigt hälsosamma. Rapporten '*Burden of Disease from Environmental Noise*' av WHO (2011) listar vägledande riktvärden för omgivningsbuller. Riktvärdena för en hälsosam ljudmiljö är bullernivåer under 55 dB(A) ekvivalentnivå. I rapporten '*Night Noise Guidelines*' av WHO (2009) bör också L_{night} nivåer vara under 40 dB(A) ekvivalentnivå.

Revideringen av förordningen '*om trafikbuller vid bostadsbyggnader*' SFS 2017:359 innebär att svenska städer kan fortsätta förtätas med högre ekvivalentnivåer vid fasad än tidigare 60 dB(A) (tidigare 55 dB(A)) och mindre bostäder om högst 35 kvadratmeter 65 dB(A) (tidigare 60 dB(A) och ännu tidigare 55 dB(A)). Den gällande bullerförordningen överskrider därmed det rekommenderade riktvärdet av ekvivalentnivå från WHO (2011). Problematiken med den nya förordningen är att vi, i en tid av förtätning riskerar att låsa fast staden i bullriga miljöer. Riktvärdena i förordningen kan klaras vid fasader även vid många motortrafikpassager men eftersom det lågfrekventa bullret inte mäts kan betydligt högre ljudnivåer förekomma inomhus då väggkonstruktioner och fönster generellt har lägre ljudisolering vid låga frekvenser (Socialstyrelsen, 2008).

Lagar och regelverk för buller omfattar människors levnadsstandard i boendemiljön men det fattas riktvärden för miljön utomhus och det offentliga rummet. Det innebär i många fall att goda ljudmiljöer endast blir tillgängliga för bostäder och arbetsplatser avskärmade från trafik och eller i lokaler med god luftljudsisolering. En stad med målet att enligt Älvstaden vara inkluderande och verka för att hela staden kräver att den framtida trafiken inte orsakar ökad störning vid redan bullerutsatta miljöer.

I det här projektet resoneras det att konstaden borde flyttas till källan istället för att bearbeta omkringliggande miljöer. Det kan göras bland annat med hastighets-sänkningar, minskat motortrafiksflöde, lågbullerdäck och elektrifiering av trafiken. Uppskattningarna visar att hastighetssänkningar på Lindholmsallén kan sänka bullernivåerna till tillräckliga nivåer för att anses som god ljudmiljö. Vidare kan elektrifieringen av trafiken också användas som en bullerreducerande åtgärd för att skapa mer plats i staden för vila, sömn återhämtning och rekreation. Kombinationen av dessa åtgärder kan gynna hela stadsmiljön på dagtid såsom på nattetid.

7.2 Projektets metodologi

Metodologin i det här projektet kan sammanfattas med litteraturstudier, hållbarhetsanalyser, deltagande i workshops, organisering av intervjuer samt bulleruppskattningar.

Projektets litteraturstudie har varit en grundläggande del för att driva tydliga resonemang och bygga upp scenarier för de slutgiltiga bulleruppskattningarna. Studierna har väglett för bättre detaljerade utredningar och påbörjat hållbarhetsanalyserna. Processen var nödvändig för att undersöka den givna frågeställningen och generera bättre lämpade forskningsfrågor.

Deltagandet i workshops och organisering av intervjuer genererade fler detaljerade akustiska och stadsplaneringsperspektiv som användes för att formulera avgränsningarna till projektet och projektets uppskattningar. För att försöka analysera vad elektromobilitet kan uppnå för bullernivåskillnader användes scenarier och bulleruppskattningar. Detaljerade uppskattningar sammanställdes med Lindholmsallén som exempelområde. Uppskattningarna användes för att slutligen påvisa skillnader i hur olika totalelektrifierade vägtransporter kan sänka bullernivåerna i två olika hastigheter.

7.3 Resultatens rimlighet

Det här projektet har resulterat i en översiktlig analys av Göteborgs Stads väg till god ljudmiljö och hur en specifik lösning kan påverka ljudmiljön. Frågeställningen har besvarats genom en process som inkluderat ett flertal moment där många delar rent varit beroende på vilken informationskälla som har använts. Intressen i bullerfrågan är olika mellan samhällsbyggnadsaktörerna och ansvaret ligger till störst del på statlig förvaltning. För att forma en tydlig bild och analys har det därför varit genomgående viktigt i projektet att använda rapporter, data och studier från näringslivet, staten och akademien.

Uppskattningarna för Lindholmsallén visar att bullernivåerna i området reduceras ett par decibel vid totalelektrifiering av trafiken. Störst nivåskillnad ges i beräkningar där den elektrifierade trafikens hastighet sänks från 50 till 30 km/tim. Det stämmer överens med att vid låga hastigheter dominerar motorljudet och vid högre hastigheter däck/vägbane. Metodiken för att uppskatta de omgivande bullernivåerna och bullerreduceringen till följd av trafikens elektrifiering kan ha genererat värden med en viss osäkerhet. Det beror på att de uppskattade bullernivåerna vid de olika scenarierna beror av ett förhållande mellan två beräkningsmetoder, källstyrka från Nord2000 och ekvivalentnivåer från den Nordiska beräkningsmodellen. Resultaten bör därför endast användas som en indikator på hur ljudmiljön på Lindholmsallén kan förändras vid olika scenarier. Som utgångspunkt var däremot den första uppskattningen av gaturummets trafikbullernivå 'idag' är likt värdena på Miljöförvaltningens webbkarta.

Parametrarna och indatan till uppskattningarna har stora osäkerheter i både beräkningarna av källstyrkan och antalet trafikpassager. Dessa osäkerheter är också mycket svåra att kvantifiera och har ingen indikation av avvikelse sammanställts. Osäkerheten beror till stor del på att olika fordon har olika komponenter och ljudkaraktärer som påverkar bland annat hur ljuden utbreder sig och vilken ljudstyrka de har. Uppskattningarna baserades på två generaliserade fordonstyper lätta och

tunga där elektrifieringen innebar att motorljudet raderades ur källstyrkan. Det är inte heller tydligt om fordonstyperna i den använda beräkningskoden är representerade i Göteborgs Stads trafik.

Redovisade parametrar för trafikpassager (se sektion 6.3.2.1 sida 58) är hämtade från stadens gällande detaljplaner från år 2012 och 2017. Uppskattningarna för bullernivåerna idag är således baserade på äldre trafikdata och den prognostiserade trafikdatan till år 2035 är baserade på prognoser. Datan från detaljplanerna användes eftersom Trafikkontorets redovisade 'trafikmängder på olika gator' (2015) inte hade data om den passerande kollektivtrafiken. Den framtida prognosen innehöll också information om att en stor del av kollektivtrafiken på Lindholmsallén år 2035 kommer att bestå av spårvagnstrafik. Med projektets avgränsning från spårvagnsbuller direktöversattes antalet spårvagnar till bussar vilket i sin tur ger stora osäkerheter i den uppskattade prognostiserade ljudmiljön.

De slutliga uppskattningarna visar att det trots undantagen av det lågfrekventa bullret och spårvagnsbullret att det finns stora nyttor för ljudmiljön genom elektrifiering av den passerande trafiken. För att uppnå god ljudmiljö i Göteborg krävs det att enligt de bestämda områdesspecifika bullersänkningmålen (se sektion 6.1 sida 53) att staden arbetar med olika bullerreducerande åtgärder i olika delar. Kan åtgärderna göras vid källan är det vanligtvis mest kostnadseffektivt och dessa lösningar riskerar inte inskränka människor i den fysiska miljön. Istället kan lösningar vid källan öppna upp för en bättre och hälsosammare användning av Göteborgs stadsrum.

8

Sammanfattning

Genom resultaten från projektets fas I och fas II konstaterades det att elektromobilitet kan ha en betydande roll för Göteborgs Stads ljudmiljö och stadsutveckling. Här sammanfattas de tydligaste slutsatserna som relaterar till projektets frågeställning.

8.1 Hur kan visionen för Göteborgs Stads gaturum med elektrifierad trafik se ut?

- **Uppskattningarna** i projektet från bilaga A.2 visar en bullernivåskillnad på Lindholmsallén mellan konventionella förbränningsdrivna fordon och elektriskt drivna fordon omkring 0.4 - 2.5 dB(A) med hastigheten 50 km/tim. Elektrifieringen av tung trafik visade sig vara mest effektivt för bullerreduktion på Lindholmsallén. En totalelektrifiering av trafiken hade inte varit tillräcklig för att säkerhetsställa en bullernivå under 60 dB(A) som krävs för nybyggnation. I hastigheten 30 km/tim är framdrivningsbullret mer dominerande och bullernivåskillnader för elektrifieringen av trafiken uppskattades vara omkring 5.5 - 11.4 dB(A). Elektrifiering och hastighetssänkningar i scenarierna med enbart tung- och sedan all trafik uppskattas ge tillräckliga bullernivåsänkningar för att hamna under 60 dB(A).
- **Sänkta** bullernivåer innebär främst lägre störning men ger också nybyggnadsmöjligheter om bullernivåerna är under 60 dB(A) vid fasad enligt sektion 2.4.1 (se sida 23). Lägre bullernivåer än 60 dB(A) ekvivalentnivå i rummet innebär också att konversationer mellan människor kan ske på ett normalt avstånd utan större störningar. Bättre ljudmiljöer bidrar till attraktivare stadsmiljöer och kan leda till att människor använder stadsrummen annorlunda.
- **Lågfrekvent buller** genereras i lägre ljudnivåer av elektrifierad trafik. Lägre lågfrekvent buller innebär lägre bullernivåer inomhus i byggnader längst vägar och således mindre störningar inomhus. Elektrifiering av trafiken kan öppna upp för nyttjandet av alternativa fasadmateriäl med lägre bullerreduceringstal och att färre bullerreducerande fasadåtgärder behöver installeras på befintliga byggnader.
- **Den fysiska miljön** speglar vilken hastighet som trafiken kommer att passera i. Planeras gaturummen enligt stadsplaneringsprinciper från 'Cittaslow' med små ytor för motortrafik och föredraget vägar med mötande trafik kan hastigheter och bullernivåer sänkas.

Resultaten från samlad data och metodologi kan sammanfattas med att elektromobi-

litet ska ha en roll för att förbättra Göteborgs Stads ljudmiljö. Först och främst kan projektet generellt sammanfattas med att en stad med tystare fordon kan utvecklas närmare befintliga vägar med mindre negativa effekter av befolkningens hälsa. Ett tystare transportsystem i hela eller delar av staden kan leda till bättre områden för vila, sömn, återhämtning och rekreation i exempelvis bostaden och parker. Detta gör så att staden blir en mer attraktiv plats för både den boende och den förbipasserande.

8.2 Vilka kriterier för hållbarhet bör tas i beaktande vid akustik i stadsplanering?

- **Jämlighet** för att städers barn och unga är särskilt känsliga för påverkan av bullerstörningar. En mindre bullrig stad ser till att nästkommande generationer växer upp i hälsosammare ljudmiljöer.
- **Planering** av stadens struktur och vägstandarder har enligt sektion 6.6 (se sida 71) visat gynna olika transportsätt. Hållbar stadsutveckling kan ske enligt globalmål 9 (se sektion 4.1.1 sida 35) med hållbar planering av transport, bostäder och offentliga platser såsom parker och torg. Om den planerade miljön gynnar och gör det mer effektivt att färdas med transportsätten gång- och cykeltrafik kan stadens trafikbullernivåer i följd sänkas.
- **Stadens** ljudmiljö och akustik påverkas enligt Miljöförvaltningens webbkarta över trafikbuller till stor del av bullret från användningen av dagens byggda biltrafikapparater. Alla presenterade bullerreducerande lösningar i teorin från 2.4.2.1 utom en, att köra mindre, kräver ett extensivt användande av material för att antingen bygga bullerskärmar, lägga tyst asfalt eller producera nya elektrifierade bilar. Både det ekologiska och det ekonomiska kriteriet kan potentiellt påverkas negativt av bullerreducerande åtgärder om inte återanvändning av redan extraherat material sker.
- **Vidare** är stadens infrastruktur och energitillförsel viktig för att upprätthålla ett elnät som potentiellt ska försörja stadens framtida elektromobilitet med hållbara energikällor.

Hållbar stadsutveckling inkluderar många aktörer som behöver ha en samsyn och samverkan hela vägen från idé till slutprodukt. De konkreta verktygen för att arbeta fram en god ljudmiljö i staden finns tillgängliga i bland annat projektet '*Urban Sound Planning - the SONORUS project*' (2016) (se sektion 6.6 sida 71). Aktörer behöver enligt slutsatserna i det här projektet en bredare medvetenhet om buller och ljudmiljöer för att bättre kunna prioritera dessa i stadsplanering.

8.3 Vilka drivkrafter och barriärer har Göteborg i utvecklingen mot en stad med god ljudmiljö?

Ett flertal drivkrafter och barriärer för att uppnå god ljudmiljö genererades i Resultat fas II (se sektion 6.7 sida 72). I listorna nedan sammanfattas dessa.

Drivkrafter

- **Nyttan** med alternativa byggnadsmöjligheter kan både vara ekonomisk och hälsosam om stadens trafikbullernivåer sänks. Bullerreduktionen kan bland annat ske genom färre personbilstransporter.
- **Större** medvetenhet och förståelse om omgivningsbullers påverkan på människors psykiska och fysiska hälsa kan potentiellt leda till fler klagomål och i sin tur högre prioritet för att reducera bullret i stadens ljudmiljö.

Barriärer

- **Dagens** bostadsbrist kräver höga byggtakter och det kan lätt hända att viktiga aspekter inom samhällsplanering överses. Gaturummet kommer att användas beroende på hur det utformas och om slutprodukten blir en bullrig miljö är det dyrt att bygga om.
- **Bullerförordningen** om trafikbuller vid bostadsbyggnader i Sverige har höjts till riktvärden som är högre än WHO:s rekommenderade riktvärde om 55 dB(A) ekvivalentnivå. Problematiken med det är att staden riskerar att planera in framtida områden och bostäder som inte har en långsiktigt hälsosam ljudmiljö.
- **Mätningar** av lågfrekvent buller bör inte ske med A-vägda mätningssinstrument som sett i tabellen 2.11 för att representera dess verkliga ljudtrycksnivåer. Det behövs mer resurser för att undersöka det lågfrekventa bullrets hälsoeffekter och dess utbredning i städer. Nyttorna med lösningen att elektrifiera trafiken utöver sänkt bullernivå behöver undersökas vidare.

9

Rekommendationer för framtida studier

Det här projektet har med visioner försökt beskriva vad elektromobilitet kan betyda för Göteborgs Stads ljudmiljö och huruvida Göteborg skulle kunna förtätas med lägre bullernivåer. Projektet genererade fler möjligheter för vidarestudier inom områden som inte undersöktes genomgripande. En av de områdena är vilka samhällsekonomiska nyttor som elektromobilitetens bullernivåsänkningar vid Lindholmsallén kan innebära. Sådana beräkningar kan göras över minskade hälsoeffekter eller det priset på den potentiella bullerfrigjorda marken och borde visualiseras antingen med diagram eller befriade areor på kartor. Sänkning av bullernivåer kan således värderas och jämföras med andra lösningar.

Göteborgs Stads kollektivtrafik och således tunga trafik förväntas att öka med åren. Försättningsvis behövs fler studier om mätningar av lågfrekvent buller och dess hälsoeffekter för att dels kommunicera buller till allmänheten men också för att utveckla effektivare åtgärder mot dess effekter.

Med städers mål att gynna gång- och cykeltrafik kan det vidare vara intressant att undersöka elektromobilitetens bullernivåer i lägre hastigheter än 30 km/tim. Vid sådana hastigheter kommer framdrivningsbullret vara den mest dominerande bullerkällan fordon och elektrifiering av dessa kan visa mer bullerreducering är det här projektets uppskattningar.

Rapportens resultat baseras på uppskattningar med äldre ingående trafikdata och bullerdata från endast två typer av fordon, lätta och tunga. Beräkningsprogrammet har inte heller indata för elektrifierad trafik och resultatens slutsats bygger således på en förenklad analys. Ett större omfång av fordon, uppdaterad trafikdata och mer specifik bullerindata krävs för att säkerhetsställa bättre bulleruppskattningar.

Referenser

- [1] AFS 2005:16. (2005). *Buller*. Hämtad från: <https://www.av.se/globalassets/filer/publikationer/foreskrifter/buller-foreskrifter-afs2005-16.pdf>
- [2] Alves, S., Altreuther, B., Scheuren, J., Forssén, J. & Kropp, W. (2016). *Urban Sound Planning - the SONORUS project*. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/242257/local_242257.pdf
- [3] Arlinger, S., Hygge, S., Johansson, Ö., Kjellberg, A., Landström, U & Waye Persson, K. (1999). *Störande buller*. Arbetslivsinstitutet. Hämtad från: https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/4203/1/ah1999_27.pdf
- [4] Barregard, L., Molnár, P & Ögren, M (2017). *Trafikbullret ökar - vilka åtgärder kan vända trenden?* [PowerPoint-presentation]. Hämtad från: https://www.regionorebrolan.se/Files-sv/US0/Kliniker_enheter/amm/Projekt/V%C3%A4gtrafikbuller/Seminarium%20okt%202016/mikael_ogren_orebro_2016_okt.pdf
Backlund & Nationalencyklopedin [NE]. (u. å.). *Förbränningsmotor*. Hämtad 2018-05-26 från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/f%C3%B6rbr%C3%A4nningsmotor>
- [5] Bell, E. & Bryman, A. (2015). *Business Research Methods*. Oxford University Press.
- [6] Bergbrant, U., Börjesson, K. & Sjöberg, P. (2014). *Ljudmiljön i stadens offentliga rum*. Göteborgs Stads Stadsbyggnadskontor. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/146cc654-17b9-43d7-b7ed-6a0b965134d1/Rapport_ljudmilj%C3%B6n+i+stadens+offentliga+rum_G%C3%B6teborgs+stad_2014.pdf?MOD=AJPERES
- [7] Boberg, S. *När gäller förordningen (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggande? Vilka skillnader finns i förhållande till Boverkets allmänna råd 2008:1 och vad gäller för pågående ärenden? - analys*. (2015). JP Infonet Förlag.
- [8] Boverket. (2015). *Vad är buller?*. Hämtad 2018-02-06 från Boverkets webbsida: <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/Allmant-om-PBL/teman/industrialbuller/vad-ar-buller/>
- [9] Boverket. (2008). *Buller i planeringen - Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik*. Hämtad från: https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2008/buller_i_planeringen_allmanna_rad_2008_1.pdf
- [10] Boverket. (2017). *Regler och riktvärden för buller*. Hämtad 2018-02-06 från Boverkets webbsida: <https://www.boverket.se/sv/PBL->

- kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/buller-vid-detaljplanering/regler-och-riktvarden-for-buller/
- [11] Boverket. (2016). *Rätt tätt - en idéskrift om förtätning av städer och orter*. Hämtad från: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2016/ratt-tatt-en-ideskraft-om-fortatning-av-stader-orter.pdf>
 - [12] C40. (u. å.). *About*. Hämtad 2018-04-23 från C40s webbsida: <https://www.c40.org/about>
 - [13] Cittaslow. (u. å.). *Philosophy*. Hämtad 2018-05-16 från Cittaslows webbsida: <http://www.cittaslow.org/content/philosophy>
 - [14] CityHush. (2012).
 - [15] CRA/LA & Gehl Architects. *Figueroa Street Corridor concept* [Elektronisk bild].
 - [16] ElectriCity. (u. å.). *Statusrapport 2016*. Hämtad från: https://www.electricitygoteborg.se/sites/default/files/content/resource/files/statusrapport_2016_web.pdf
 - [17] Encyclopedia. (u. å.). *Social settlements*. Hämtad 2018-05-01 från Encyclopedias webbsida: <https://www.encyclopedia.com/social-sciences-and-law/sociology-and-social-reform/social-reform/social-settlements>
 - [18] Europeiska kommissionen. (2016). *Common noise assessment methods for Europe (CNOSSOS-EU): implementation challenges in the context of EU noise policy developments and future perspectives*. Hämtad från: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/common-noise-assessment-methods-europe-cnossos-eu-implementation-challenges-con>
 - [19] Europeiska miljöbyrån. (2014). *Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders*. Hämtad från: <https://www.eea.europa.eu/publications/adaptation-of-transport-to-climate>
 - [20] FoHMFS 2014:13. (2014). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om buller inomhus*. Hämtad från: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/66c03ed04e244b92a9165705ef3ac3c2/fohmfs-2014-13.pdf>
 - [21] Forssén, J. (2017a). *Ska vi bygga oss fast i bullriga städer?*. Göteborgs Posten. Hämtad från: <http://www.gp.se/debatt/ska-vi-bygga-fast-oss-i-bullriga-st%C3%A4der-1.4241221>
 - [22] Forssén, J. (2017b). *Teknisk samhällsplanering 2017* [PowerPoint-presentation]. Hämtad från: <http://www.gp.se/debatt/ska-vi-bygga-fast-oss-i-bullriga-st%C3%A4der-1.4241221>
 - [23] Forssén, J. (2014). *Suggested facade cases for study of sound insulation considering wall, window and air intake*. Hämtad från: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/196216/local_196216.pdf
 - [24] Fossilfritt2050. (u. å.). *Sveriges klimatmål*. Hämtad 2018-03-05 från Fossilfritt2050s webbsida: <http://www.fossilfritt2050.se/sveriges-klimatmal>
 - [25] Förenta nationerna [UN]. (1987). *Our Common Future*. Hämtad från: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

- [26] Förenta nationerna [UN]. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Hämtad från: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E
- [27] Gehl, J. (2013). *Cities for People*. Washington: Island Press.
- [28] Gollisch, T, Andreas, M. V. Herz & Public Library of Science. (2005). *Acoustic schematic* [Elektronisk bild]. CC-BY.
- [29] Google Maps. (2018). *Lindholmsallén*. Hämtad från: <https://www.google.se/maps/place/Lindholmsall%C3%A9n,+G%C3%B6teborg/@57.7103878,11.9394069,586m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x464ff35997c1a0eb:0xf014e3291d9a7ed8!8m2!3d57.7103878!4d11.9415956>
- [30] Grauers, A. Karlström, M. & Sarasini, S. (2014). *Why Electromobility and what is it?. Systems Perspective on Electromobility* [E-bok]. Kapitel 2. Hämtad från: http://www.chalmers.se/en/areas-of-advance/energy/Documents/Systems%20Perspectives%20on/Systems_Perspectives_on_Electromobility_2014_v2.1.pdf
- [31] Gröndahl, F. & Svanström, M. (2011). *Hållbar utveckling - en introduktion för ingenjörer och andra problemlösare*. Liber.
- [32] Gustafsson, A. & Lindskog, H.A. (2018). *Yttrande till miljö- och klimatnämnden över remiss Göteborgs Stads åtgärdsprogram mot buller 2019-2023* (dnr 2016/11720). Hämtat från: [http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/00a6e57140003184c125826e0041b42c/\\$FILE/13.%20Yttrande%20till%20miljo%20och%20klimatnamnden%20over%20remiss%20Goteborgs%20Stads%20atgardsprogram%20mot%20buller%202019%202023.pdf](http://www4.goteborg.se/prod/Intraservice/Namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/93ec9160f537fa30c12572aa004b6c1a/00a6e57140003184c125826e0041b42c/$FILE/13.%20Yttrande%20till%20miljo%20och%20klimatnamnden%20over%20remiss%20Goteborgs%20Stads%20atgardsprogram%20mot%20buller%202019%202023.pdf)
- [33] Göteborgs Stad. (2013). *Attraktiv stadsmiljö*. Underlagsrapport för Trafikstrategi för Göteborg. Hämtad från: <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/38408f44-6c86-4220-8162-83eee0e784d2/Attraktiv+stadsmilj%C3%B6.pdf?MOD=AJPERES>
- [34] Göteborgs Stad. (u. å-a). *Buller och ljud*. Hämtad från: http://goteborg.se/wps/portal/start/miljo/miljolaget-i-goteborg/buller-och-ljud/!ut/p/z1/hY7BCoJAGISfxuv-6KpddsII5U0CrS9hMa2CurKurXQ02fHoGhuw3zDDHAogQ_Vo5WVadVQdbM_c-SO_gQrinDbLuMcHdK8mifpNlxEOdxD-BzjD_EEGLgbd0Te-0JEoqUuui7C-QC9NAP3vtsqN1QAtfiJrTQ5K7nW40x47Ry0EFrLZFKyU6QSTj4rdGoyUD5AcLY189UF0wFKP-Fog!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- [35] Göteborgs Stad. (2017a). *Bullerkartläggning av Göteborgs Stad 2017*. Miljöförvaltningen. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/3f21e8f6-3408-4c79-8566-953c86624ad8/N800_R_2018_7.pdf?MOD=AJPERES
- [36] Göteborgs Stad. (2016). *Bulleruppföljning av Västsvenska paketet. Del 4: Nulägesbeskrivning av exponering för vägtrafikbuller i Göteborg och Mölndal, 2014*. Miljöförvaltningen. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/eddc4bc8-f3f5-4c70-86d4-8fca48161d8b/Rapport_Bulleruppf%C3%B6ljning+av+V%C3%A4stsvenska+paketet_del+4_nul%

- c3%a4gesbeskrivning.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=eddc4bc8-f3f5-4c70-86d4-8fca48161d8b
- [37] Göteborgs Stad. (u. å-b). *Delmål: God ljudmiljö*. Hämtad 2018-04-10 från Göteborgs Stads webbsida: <http://goteborg.se/wps/portal?uri=gbglnk%3Agbg.page.bfdd990b-6dcb-47a8-a4a7-e21d02e097aa>
 - [38] Göteborgs Stad. (2012b). *Detaljplan för Blandad stadsbebyggelse vid Göta-verksgatan inom stadsdelen Lindholmen i Göteborg*. Samrådshandling 2012. Stadsbyggnadskontoret. Hämtad från: [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Lindholmen%20-%20Blandad%20bebyggelse%20vid%20Götaverksgatan-Plan%20-%20samråd-Planbeskrivning/\\$File/Planbeskrivning.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Lindholmen%20-%20Blandad%20bebyggelse%20vid%20Götaverksgatan-Plan%20-%20samråd-Planbeskrivning/$File/Planbeskrivning.pdf?OpenElement)
 - [39] Göteborgs Stad. (2017b). *Detaljplan för Bostäder och verksamheter vid Kar-lavagnsplatsen inom stadsdelen Lindholmen i Göteborg*. 1480K-2-5400. Stadsbyggnadskontoret. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/proxy/http/62.88.129.68/sbk_plandokument_v1/1480K-2-5400.pdf
 - [40] Göteborgs Stad. (2001). *Detaljplan för Lindholmsallén*. 1480K-II-4554. Stadsbyggnadskontoret. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/proxy/http/62.88.129.68/sbk_plandokument_v1/1480K-II-4554.pdf
 - [41] Göteborgs Stad. (2014a). *Grönstrategi för en tät och grön stad*. Park och natur. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/0bbf9fb8-a6a9-43bf-9548-34e7697d8f0e/Gr%C3%B6nstrategi_20140324.pdf?MOD=AJPERES
 - [42] Göteborgs Stad. (u. å-c). *Miljözon*. Hämtad 2018-05-07 från Göteborgs Stads webbsida: http://goteborg.se/wps/portal/start/gator-vagar-och-torg/gator-och-vagar/trafikregler/miljozon/!ut/p/z1/hY5BC4IwHMU_jdf9Nxc2u62DkUoaSNouobGmoE7matCnz45B0bs93u_xHgioQIz1o1017fRY94s_i-CSk_jItoTjbBdGeF8keXRI0qw4-VD-A8QS4x_iGGIQTmgdx0QRiEJ12xFAkYpIz6l73k-NpQpEEbepJEG3c3yqrV2mjce9rBzDimtVS_RLD38rdHq2UL1AcIOVM9UlvwFkyKeyw!!/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
 - [43] Göteborgs Stad. (2014b). *Göteborg 2035 trafikstrategi för en nära storstad*. Trafikkontoret. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/32f1301c-7e10-4f6d-a0fa-ee4f1c2f3f3a/Trafikstrategi_Slutversion_swe_web_140402.pdf?MOD=AJPERES
 - [44] Göteborgs Stad. (2014c). *Strategi för utbyggnadsplanering 2035*. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/2b48a33f-df7f-4109-8f7e-6a188582c2cc/up_slutrapport_lag.pdf?MOD=AJPERES
 - [45] Göteborgs Stad. (2012a). *Stadslivsanalys i centrala Göteborg*. Hämtad från: <https://goteborg.se/wps/wcm/connect/71f2744b-fa19-4546-8959-00178310c2d1/Stadslivsanalys+centrala+G%C3%B6teborg+%281%C3%A4tt%29.pdf?MOD=AJPERES>
 - [46] Göteborgs Stad. (u. å-d). *Trafikmängdsuppgifter Lindholmsallén*. Hämtad från: <http://www.statistik.tkgbg.se/L/Lindholmsallén.html>
 - [47] Göteborgs Stad. (2012b). *Vision Älvstaden*. Hämtad från: http://alvstaden.goteborg.se/wp-content/uploads/2015/05/vision_alvstaden_sv_web.pdf

-
- [48] Göteborgs Stad. (2015). *Vägledning för trafikbuller i planeringen*. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/abd0adee-9a5d-437f-8b2d-5194d7b1213b/V%C3%A4gledning+f%C3%B6r+trafikbuller+i+planeringen_2015.pdf?MOD=AJPERES
- [49] Göteborgs Stad. (u. å-e). *Åtgärdsprogram mot buller*. Hämtad från: http://goteborg.se/wps/portal/start/miljo/det-gor-goteborgs-stad/atgardsprogram-mot-buller!/ut/p/z1/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziQw0NAi2cDBONDMy9zA0cvb3NDIyc_Yz9XU31wwkpiAJKG-AAjgb6BbmhigAUjKIv/dz/d5/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/
- [50] Göteborgs Stad. (u. å-f). *Åtgärdsprogram mot buller 2014-2018*. Hämtad från: https://goteborg.se/wps/wcm/connect/1f5915ba-910f-4df3-8cbb-8d1604851ed4/%C3%85tg%C3%A4rdsprogram_mot_buller.pdf?MOD=AJPERES
- [51] Göteborgs Stad. (u. å-g). *Åtgärdsprogram mot buller 2019-2023*. Remissversion. Hämtad från: [http://www4.goteborg.se/prod/intraservice/namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/5093A411CAAFFEB2C12582740043DEA2/\\$File/01%20Goteborgs%20stads%20atgardsprogram%20mot%20buller%202019_2023.pdf?OpenElement](http://www4.goteborg.se/prod/intraservice/namndhandlingar/SamrumPortal.nsf/5093A411CAAFFEB2C12582740043DEA2/$File/01%20Goteborgs%20stads%20atgardsprogram%20mot%20buller%202019_2023.pdf?OpenElement)
- [52] Göteborgs Stad. (2017c). *Årsrapport 2017*. Miljöförvaltningen. Hämtad från: http://goteborg.se/wps/wcm/connect/605d8eab-227f-4ccb-aed2-3f19e780451e/R800_R_2018_1.pdf?MOD=AJPERES
- [53] Göteborgs Stad. (u. å-h). *Webbkarta - Trafikbullernivåer i Göteborg*. Miljöförvaltningen. Hämtad från: <https://karta.miljoforvaltningen.goteborg.se/>
- [54] Hansen, C.H, & World Health Organization. (1995). *Fundamentals of acoustics*. Hämtad från: www.who.int/occupational_health/publications/noise1.pdf
- [55] Holmes, M. & Larsson, K. (2016). *Nyttöberäkningar av minskat buller från elbusstrafik i Göteborg*. Hämtad från: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1111080/FULLTEXT02>
- [56] Höstmad, P. & Kropp, W. (2016a). *Applied Acoustics - Introduction*. Hämtad från: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6273/node.do?id=2839272&ts=1453911885571&u=-851579285>
- [57] Höstmad, P. & Kropp, W. (2016b). *Applied Acoustics - Wave motion*. Hämtad från: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6273/node.do?id=2879831&ts=1455820035862&u=-851579285>
- [58] Höstmad, P. & Kropp, W. (2016c). *Applied Acoustics - Sound propagation*. Hämtad från: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6273/node.do?id=2891536&ts=1456417855107&u=-851579285>
- [59] International Electrotechnical Commission. (u. å.). *Electropedia*. Hämtad från: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/index?openform&part=801>
- [60] Klimat2030. (u. å.). *Om klimat 2030*. Hämtad 2018-03-05 från Klimat2030s webbsida: <http://klimat2030.se/om-klimat-2030/>
- [61] Kropp, W. (u. å.). *Buller*. Hämtad från: <http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/>

- [62] Larsson, K. (2015). *Buller och vibrationer påverkan på människor samt regelverk* [PowerPoint-presentation]. Hämtad från: <https://pingpong.chalmers.se/courseId/6273/node.do?id=2839273&ts=1455057950459&u=-851579285>
- [63] Lindholmen Science Park. (u. å.). *På området*. Hämtad 2018-04-01 från Lindholmen Science Parks webbsida: <https://www.lindholmen.se/pa-området>
- [64] Ljudlandskap. (u. å.). Hämtad från webbplats: <http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/>
- [65] Ljungblad, H. Koucky & Partners & Strömmer, K. (2013). *Tystare bus-sar - kravställning vid upphandling för minskat källbuller*. Hämtad från: http://www.koucky.se/images/PDF/TystareStadsbussar_kravstallning_vid_upphandling.pdf
- [66] Long, M. (2014). *Architectural acoustics 2 ed.* Academic Press Inc.
- [67] Lunds Tekniska Högskola. (u. å.). *Formler och tabeller till tentamen i Akustisk Planering VTA070*. Hämtad från <http://www.lth.se/fileadmin/tekniskakustik/education/FormelbladAkustik.pdf>
- [68] MathWorks. (u. å.). *MATLAB*. Hämtad 2018-04-02 från MathWorks webbsida: <https://se.mathworks.com/products/matlab.html>
- [69] Memborn, L & Älfvåg, S. (2017). *Historisk stadsplaneanalys Lindholmen*. Hämtad från: <https://stadsutveckling.goteborg.se/siteassets/pdf/er/historisk-stadsplaneanalys-utr-material-lindholmen-maj-2017.pdf>
- [70] Memborn, L. (2008). *Återta staden*. Examensarbete, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Hämtad från: <https://stadsutveckling.goteborg.se/siteassets/pdf/er/ater-ta-staden-examensarbete-vid-chalmers-arkitektur-januari-2008---januari-2010.pdf>
- [71] Miljömål. (2013). *Besvär av trafikbuller*. Hämtad från: <https://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=26&pl=1>
- [72] Nationalencyklopedin [NE]. (u. å.). *Samhällsplanering*. Hämtad 2018-05-21 från: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/samh%C3%A4llsplanering>
- [73] Naturvårdsverket. (u. å.). *Vem gör vad i bullerfrågan?*. Hämtad 2018-03-22 från Naturvårdsverkets webbsida: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Buller/>
- [74] Pricewaterhousecoopers. (2007). *Guide to key performance indicators*. Hämtad från: https://www.pwc.com/gx/en/audit-services/corporate-reporting/assets/pdfs/uk_kpi_guide.pdf
- [75] Proposition 1996/97:53. *Infrastrukturinriktning för framtida transporter*. Hämtad från: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/proposition/infrastrukturinriktning-for-framtida-transporter_GK0353/html
- [76] Regeringen. (2018). *Regeringen ger besked om miljözoner*. Hämtad från: <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2018/03/regeringen-ger-besked-om-miljozoner/>

-
- [77] SFS 2010:900. (2018). Plan- och bygglag. Hämtad från: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900
- [78] SFS 2014:901. (2015). Plan- och bygglag. *Om bebyggelse*. Hämtad från: <http://rinfo.stage.lagrummet.se//publ/sfs/2014:901/pdf,sv>
- [79] SFS 2014:901. (2015). Plan- och bygglag. *Om bebyggelse*. Hämtad från: <http://rinfo.stage.lagrummet.se//publ/sfs/2014:902/pdf,sv>
- [80] SFS 2015:216. (2015). *Förordning om trafikbuller vid bostadsbyggnader*. Hämtad från: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015216-om-trafikbuller-vid_sfs-2015-216
- [81] SFS 2017:359. (2017). *Förordning om trafikbuller vid bostadsbyggnader*. Hämtad från: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2015216-om-trafikbuller-vid_sfs-2015-216
- [82] SFS 2004:675. (2004). *Förordning om omgivningsbuller*. Hämtad från: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2004675-om-omgivningsbuller_sfs-2004-675
- [83] Siesjö, B. (u. å.). *Vilka problem behöver Göteborg lösa?* [Inspelad intervju]. Utställning Urbanum i Göteborgs Stadsmuseum.
- [84] Sorkin, M. (2014). *Empire state of mind* [Elektronisk bild]. Hämtad från: <https://aeon.co/essays/nyc-can-this-city-state-be-completely-self-reliant>
- [85] Socialstyrelsen. (2008). *Buller - Höga ljudnivåer och buller inomhus*. Hämtad från: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/ad862888cbd54496b6aa8ec71247bd75/buller-hoga-ljudnivaer-inomhus.pdf>
- [86] Bjarke Ingels Group [BIG]. (2012). *Superkilen* [Elektronisk bild].
- [87] Sveriges geologiska undersökning [SGU]. (2018). Hämtad 2018-04-20 från SGUs webbsida: <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2018/januari/kobolt--en-konfliktfylld-metall/>
- [88] Sveriges miljömål. (u. å.-a). *God bebyggd miljö*. Hämtad från: <http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/>
- [89] Sveriges miljömål. (u. å.-b). *Miljömålen*. Hämtad från: http://www.sverigesmiljomal.se/?_ga=2.160364157.1534805357.1530209573-1895195015.1530209573
- [90] Sveriges miljömål. (u. å.-c). *Preciseringar av God bebyggd miljö*. Hämtad från: <http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/>
- [91] The Danish Environmental Protection Agency. (u. å.). Hämtad 2018-04-20 från The Danish Environmental Protection Agency's webbsida: <http://eng.mst.dk/air-noise-waste/noise/traffic-noise/nord2000-nordic-noise-prediction-method/>

- [92] Trafikverket. (2017). *Buller och vibrationer*. Hämtad 2018-04-19 från Trafikverkets webbsida: <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/Buller-och-vibrationer/>
- [93] Trafikverket. (2013). *Dataproduktspecifikation – Årsmedeldygnstrafik (ÅDT) på statliga bilvägar mätt med mobil utrustning*. Hämtad från: https://www.trafikverket.se/TrvSeFiler/Foretag/Bygga_och_underhalla/Vag/Dataproduktspecifikationer/Vagtrafikdata/Kvalitetsdeklaration_ADT.pdf
- [94] Trafikverket. (2014). *Färre körkort och bilägare*. Hämtad 2018-05-24 från Trafikverkets webbsida: <https://www.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/Rapporter/Omvarldsanalyser/Trender-i-transportsystemet/Transporttrender/Bilberoendet/Farre-korkort/>
- [95] Trafikverket. (2012). *Råd för vägar och gators utformning*. Hämtad från: https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/12043/RelatedFiles/2012_180_rad_for_vagars_och_gators_utformning.pdf
- [96] Volvo. (2018). *Eldrivna ledbussar testas i Göteborg*. Hämtad från: <https://www.volvogroup.se/sv-se/news/2018/mar/news-2859887.html>
- [97] Världshälsoorganisationen [WHO]. (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Hämtad från World Health Organizations webbsida: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1
- [98] Världshälsoorganisationen [WHO]. (2009). *Night noise guidelines for Europe*. Hämtad från World Health Organizations webbsida: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf
- [99] Världshälsoorganisationen [WHO]. (u. å-a). *Noise*. Hämtad från World Health Organizations webbsida: <http://www.who.int/sustainable-development/transport/health-risks/noise/en/>
- [100] Världshälsoorganisationen [WHO]. (u. å-b). *Who we are*. Hämtad 2018-04-19 från World Health Organizations webbsida: <http://www.who.int/about/who-we-are/en/>
- [101] Åkerlöf, L.Å. (2006). *Trafikbuller och planering III*. Hämtad från: [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/Askim%20-%20Cirka%20500%20nya%20bostäder%20vid%20Sisjövägen-Plan%20-%20inför%20antagande-Bullerutredning/\\$File/11Bullerutredning.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planobygg.nsf/vyFiler/Askim%20-%20Cirka%20500%20nya%20bostäder%20vid%20Sisjövägen-Plan%20-%20inför%20antagande-Bullerutredning/$File/11Bullerutredning.pdf?OpenElement)
- [102] Älvstranden Utveckling. (u. å.). Älvstaden. [Elektronisk bild].

A

Bilagor

A.1 Frågeställningar till intervjuer

Generella frågor

- Vad för nyttor kan elektromobilitetens låga bulleremissioner betyda för samhällsplanering?
- Vad är din vision av en stad med lägre bullernivåer?
- Vilka åtgärder och metoder tror du på för en bättre ljudmiljö i Göteborg?

Specifika frågor

- Vad är Cittaslow och vilka idéer kan implementeras i Göteborg?
- Vilka drivkrafter och barriärer har Göteborg för att uppnå god ljudmiljö?

A.2 Uppskattningar

Nedan är uppskattningarna på de genererade scenarierna från Resultat fas II sektion 6.3.3. De ingående parametrarna är tagna från tabeller 6.2 och 6.3 (se sida 58). Uppskattningarna av källstyrka (N_{2k}) gjorda med Jens Forsséns beräkningskod, ljudtrycksnivåer vid mottagare (L_{pAeq}) med den Nordiska beräkningsmodellen, justeringar ($j-L_{pAeq}$) och skillnader från ursprunglig ljudtrycksnivå ($s-L_{pAeq}$).

hastighet	distans	scenario	ADT	% tung	tung	N2k	LpAeq	j-LpAeq	s-LpAeq
[km/tim]	[m]	-	[pass]	[andel]	[pass]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
50	50	idag	2200	7%	154	99,36	55	55	0
50	30	idag	620	100%	620	107,666	58	58	0
50	10	idag	2200	7%	154	99,36	61	61	0
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,44	63,44	0
30	50	idag	2200	7%	154	94,6126	53	48,26	4,7
30	30	idag	620	100%	620	103,893	57	53,23	3,8
30	10	idag	2200	7%	154	94,6126	60	55,26	4,7
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							62,31	57,87	5,6
50	50	idag el lätt	2200	7%	154	98,7541	55	54,4	0,6
50	30	idag el lätt	620	100%	620	107,666	58	58	0,0
50	10	idag el lätt	2200	7%	154	98,7541	61	60,4	0,6
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,44	63,02	0,4
30	50	idag el lätt	2200	7%	154	93,5103	53	47,15	5,8
30	30	idag el lätt	620	100%	620	103,893	57	53,23	3,8
30	10	idag el lätt	2200	7%	154	93,5103	60	54,15	5,8
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							62,31	57,18	6,3
50	50	idag el tung	2200	7%	154	98,0229	55	53,67	1,3
50	30	idag el tung	620	100%	620	104,127	58	54,46	3,5
50	10	idag el tung	2200	7%	154	98,0229	61	59,67	1,3
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,44	61,58	1,9
30	50	idag el tung	2200	7%	154	91,7986	53	45,44	7,6
30	30	idag el tung	620	100%	620	96,8166	57	46,15	10,8
30	10	idag el tung	2200	7%	154	91,7986	60	52,44	7,6
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							62,31	54,01	9,4
50	50	idag el all	2200	7%	154	97,1821	55	52,83	2,2
50	30	idag el all	620	100%	620	104,127	58	54,46	3,5
50	10	idag el all	2200	7%	154	97,1821	61	58,83	2,2
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,44	60,91	2,5
30	50	idag el all	2200	7%	154	89,3688	53	43,01	10,0
30	30	idag el all	620	100%	620	96,8166	57	46,15	10,8
30	10	idag el all	2200	7%	154	89,3688	60	50,01	10,0
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							62,31	52,08	11,4

hastighet	distans	scenario	ADT	% tung	tung	N2k	LpAeq	j-LpAeq	s-LpAeq
[km/tim]	[m]	-	[pass]	[andel]	[pass]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]	[dB(A)]
50	50	prog	2700	5%	135	98,78	56	56	0
50	30	prog	880	100%	880	107,666	58	58	0
50	10	prog	2700	5%	135	98,78	62	62	0
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							64,17	64,17	0
30	50	prog	2700	5%	135	93,8516	54	49,07	4,9
30	30	prog	880	100%	880	103,893	59	55,227	3,8
30	10	prog	2700	5%	135	93,8516	60	55,07	4,9
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,11	58,67	5,5
50	50	prog el lätt	2700	5%	135	98,0691	56	55,29	0,7
50	30	prog el lätt	880	100%	880	107,666	58	58	0,0
50	10	prog el lätt	2700	5%	135	98,0691	62	61,29	0,7
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							64,17	63,64	0,5
30	50	prog el lätt	2700	5%	135	92,468	54	47,69	6,3
30	30	prog el lätt	880	100%	880	103,893	59	55,23	3,8
30	10	prog el lätt	2700	5%	135	92,468	60	53,69	6,3
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,11	57,96	6,2
50	50	prog el tung	2700	5%	135	97,7254	56	54,95	1,1
50	30	prog el tung	880	100%	880	104,127	58	54,46	3,5
50	10	prog el tung	2700	5%	135	97,7254	62	60,95	1,1
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							64,17	62,64	1,5
30	50	prog el tung	2700	5%	135	91,5905	54	46,81	7,2
30	30	prog el tung	880	100%	880	96,8166	59	48,15	10,8
30	10	prog el tung	2700	5%	135	91,5905	60	52,81	7,2
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,11	54,83	9,3
50	50	prog el all	2700	5%	135	96,7967	56	54,02	2,0
50	30	prog el all	880	100%	880	104,127	58	54,46	3,5
50	10	prog el all	2700	5%	135	96,7967	62	60,02	2,0
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							64,17	61,86	2,3
30	50	prog el all	2700	5%	135	88,9209	54	44,14	9,9
30	30	prog el all	880	100%	880	96,8166	59	48,15	10,8
30	10	prog el all	2700	5%	135	88,9209	60	50,14	9,9
							LpAeq tot	j-LpAeq tot	s-LpAeq
							63,11	52,89	11,3