



Reducering av trafikbuller på Gibraltarvallen

En studie av bullerreducerande åtgärders effekt på närområde och samhälle

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

VIKTOR BJÄRNKLINT
TOVE JENSEN
HENRIK JOHANSSON
OTTO PETRÉN
JONAS STRÖMBERG

KANDIDATARBETE I TEKNISK AKUSTIK:ACEX10-18-60

KANDIDATARBETE I TEKNISK AKUSTIK

Reducering av trafikbuller på Gibraltargatan - En studie av bullerreducerande åtgärders effekt på närområde och samhälle

VIKTOR BJÄRNKLINT
TOVE JENSEN
HENRIK JOHANSSON
OTTO PETRÉN
JONAS STRÖMBERG



CHALMERS

Instutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdeleningen för teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2018

Reducering av trafikbuller på Gibraltargatan
- En studie av bullerreducerande åtgärders effekt på närområde och samhälle
VIKTOR BJÄRNKLINT
TOVE JENSEN
HENRIK JOHANSSON
OTTO PETRÉN
JONAS STRÖMBERG

© VIKTOR BJÄRNKLINT, TOVE JENSEN, HENRIK JOHANSSON,
OTTO PETRÉN, JONAS STRÖMBERG, 2018.

Handledare: Jens Forssén, avdelningen för teknisk akustik
Examinator: Patrik Höstmad, avdelningen för teknisk akustik

Kandidatarbete 2018:ACEX10-18-60
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för teknisk akustik
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag: Detaljplan för nybyggnation vid Gibraltarvallen

Göteborg, Sverige 2018

SAMMANFATTNING

Rapporten är skriven vid avdelningen för teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola. Syftet är att föreslå åtgärder för sänkta trafikbullernivåer på Gibraltarvallen, ett område i centrala Göteborg. Detta eftersom nybyggnation planeras i området. Åtgärderna ska analyseras ur ett projektekonomiskt samt samhällsekonomiskt perspektiv för att sedan undersöka möjligheterna för samarbete och avtal mellan offentliga och privata aktörer involverade i byggprocessen.

Göteborgs Stad planerar att tillsammans med Akademiska Hus och Chalmersfastigheter uppföra flera fastigheter innehållande 75 000 kvadratmeter verksamhetsyta, 150 lägenheter samt 200 student- och forskarbostäder vid Gibraltarvallen. En tidigare utförd trafikbullerutredning redovisar dygnsekvivalenta ljudnivåer över 60 dBA på fasaden till de planerade bostäderna vilket överstiger riktvärdet enligt huvudregeln i *Trafikbullerförordningen (2015:216)*.

Forskning fastslår att det finns en tydlig koppling mellan buller och en rad sjukdomar och tillstånd, vilka ger upphov till samhällsekonomiska kostnader. I studien beräknas de samhällsekonomiska kostnader som uppkommer till följd av buller i området runt Gibraltarvallen och hur dessa kostnader varierar med de bullerreducerande åtgärder som föreslås.

Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader 3 § anger som huvudregel att trafikbuller inte bör överskrida 60 dBA ekvivalent ljudnivå vid fasad, eller 65 dBA ekvivalent ljudnivå för bostäder mindre än 35 kvadratmeter. Om inte huvudregeln uppfylls kan avsteg göras om minst hälften av bostadsrummen är vända mot en sida där 55 dBA ekvivalent ljudnivå ej överskrids vid fasad. En utformning av bostaden så att minst hälften av bostadsrummen är vända mot en sida där 55 dBA ej överskrids kan innebära en oönskad begränsning i utförandet av fastighet för byggherren. I studien undersöks möjligheten att genom implementering av olika bullerreducerande åtgärder sänka ljudnivån vid fasad till under 60 dBA ekvivalent ljudnivå så att huvudregeln i *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader* uppfylls vid planerade kvarter på Gibraltarvallen.

I studien har fem förslag på gatusektioner tagits fram, vars förmåga att reducera trafikbullret vid Gibraltarvallen utvärderas i beräkningsmodeller för trafikbuller.

Resultatet visar att bullerreducerande åtgärder i gaturummet kan sänka den ekvivalenta ljudnivån längs hela fasadens höjd i tillräcklig mån för att följa huvudregeln i *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader*. Föreslagna åtgärder ger en tydlig sänkning av trafikbuller vid fasaden på de första våningarna, samt för gångtrafikanter, vilket kan ge en attraktiv stadsmiljö att vistas i. De samhällsekonomiska beräkningarna visar att det rättfärdigas rent samhällsekonomiskt att investera i vissa bullerreducerande åtgärder. Sammantaget visar studien att genom en kombination av olika åtgärder går det att sänka bullernivån för en hel husfasad och att den samhällsekonomiska vinsten överstiger investeringskostnaden för flera föreslagna åtgärder. Studien visar dessutom att intresse för samarbete och avtalslösningar finns hos de berörda parterna men att praxis och rådande regelverk försvårar samverkan.

Nyckelord: Attraktiv stadsmiljö, ASEK, Buller, Bullerreducerande åtgärder, Gibraltarvallen, Gibraltarvallen, NORD2000, Nordisk beräkningsmodell, Samhällsekonomi, Trafikbuller

ABSTRACT

The report is written at the Division of Applied Acoustics at Chalmers University of Technology. The purpose is to propose measures for an improved sound environment at Gibraltarvallen, an area in Gothenburg, since new buildings are planned to be built in the area. The study will analyze said measures from an projecteconomic and socioeconomic perspective and also examine the possibilities for cooperation and agreements between involved public and private stakeholders in the building process.

Göteborgs Stad, together with Akademiska Hus and Chalmefastigheter, plans to construct several properties containing 75,000 square meters of business space, 150 apartments and 200 student- and researcher apartments at Gibraltarvallen. A previously conducted traffic noise investigation reports day-night equivalent noise levels above 60 dBA on the facade of planned houses, which exceeds the current regulation, *Trafikbullerförordningen (2015:216)*.

Research proves that there is a clear connection between noise and a number of diseases and conditions. These harmful effects give origin to socio-economic costs. The study calculates the socio-economic costs that occur in the area around Gibraltarvallen and how these costs vary with the noise reduction measures proposed by the study.

Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader states as main regulation, that traffic noise should not exceed 60 dBA equivalent sound level at the facade or 65 dBA equivalent sound level for homes with less than 35 square meters of living area. If the main regulation is not met, exceptions may be made if at least half of the living rooms are facing a side where 55 dBA equivalent sound level is not exceeded at the facade. A design of the property so that at least half of the living rooms are facing a side where 55 dBA equivalent sound level is not exceeded can imply an undesirable limitation in the execution of the project for the builder. The report examines the possibility to, with different noise reduction measures, reduce sound levels at facades to below 60 dBA equivalent sound level so that the main regulation of the *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader* is met for the planned buildings on Gibraltarvallen.

Five different suggestions of street sections have been proposed in the study, which ability to reduce traffic noise at Gibraltargatan is calculated.

The results demonstrate that measures that provide noise reducing effects in the street canyon have the capacity to reduce the equivalent sound level sufficiently on the whole facade to make the sound level comply with the main rule in *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader*. The suggested measures gives a significant noise reduction on the facade on the lower levels of the buildings and for pedestrians. This provides potential of creating an attractive urban environment. The study concludes that a combination of several different measures is the most efficient way to reduce the noise level at all levels of the facade. It also concludes that the reduction in socio-economic costs exceeds the investment cost for most of the noise reducing measures. The study demonstrates that there is an interest for cooperation and agreement solutions among the concerned stakeholders but that customs and current regulations complicates collaboration.

FÖRORD

Arbetet skrivs som kandidatarbete vid avdelningen för teknisk akustik på institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Vi författare läser tredje året civilingenjör i maskinteknik respektive samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola.

Vi vill framför allt rikta ett stort tack till vår handledare Jens Forssén, biträdande professor på avdelningen för teknisk akustik vid institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola och vår examinerator Patrik Höstmad, utbildningsområdesledare för arkitektur och samhällsbyggnad och docent i teknisk akustik på avdelningen för teknisk akustik på avdelningen för teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola för hjälp med alla oändliga frågor som gruppen haft om akustik, Matlab och samhällsbyggnad. Tack också till Fia Börjesson, universitetslektor vid fackspråk och kommunikation för värdefull handledning under arbetets gång.

Vi vill även tacka de personer som ställt upp på intervjuer och bidragit med sin expertis: Mikael Ögren, akustiker på avdelningen för samhällsmedicin och folkhälsa vid institutionen för medicin på Göteborgs universitet, Mikael Lindberg, projektledare på Akademiska Hus, Malin Ekstrand, teknisk specialist på Trafikkontoret, Belma Krslak, miljöutredare på Miljöförvaltningen och Krister Larsson, forskare på avdelningen för teknisk akustik.

Avslutningsvis vill vi tacka Åsa Östlund från Chalmersfastigheter, initiativtagare för denna studie, för ett intressant och roligt kandidatarbete.

Göteborg 14 Maj 2018

Viktor Bjärnklint
Tove Jensen
Henrik Johansson
Otto Petrén
Jonas Strömberg

ORDLISTA

- A-vägd ljudnivå** Den mest använda frekvensvägningen
- Arousalsvar** Ökning av nervsystemets aktivitet
- ASEK** Verktyg för samhällsekonomiska beräkningar
- Autonoma nervsystemet** Den del av nervsystemet hos människa och djur som inte står direkt under viljans inflytande
- Bituminösa bindemedel** Bindemedel i asfaltsbeläggningar
- Böjvågor** Den huvudsakliga vågtyp vid stomljud. Förskjutningen sker mot normalenriktningen av strukturen.
- Diffraction** När ljudvågor böjer bakom en skärm
- Ekvivalent ljudnivå** Mått på medelljudnivån under en tidsperiod
- Emissionsriktade åtgärder** Åtgärder vid bullrets emissionskälla
- Endokrina systemet** Det organsystem som utsöndrar hormoner i människokroppen
- Epidemiologiska studier** Läran om ett sjukdomsbegrepps demografi
- Frekvens** Antalet svängningar på 1 sekund
- Frekvensband** Uppdelning av frekvensspektrat i band. Varje frekvensband anges efter mittfrekvens
- Frekvensspektra** Beskriver ljudets frekvensinnehåll
- Hypertension** Högt blodtryck
- Impedans** Impedans är måttet på den rörelse en ljudvåg skapar på ett material.
- Kardiovaskulära sjukdomar** Hjärt- och kärlsjukdomar
- Kognitiv förmåga** Förmåga att förstå, lagra och använda information
- Kranskärlsjukdomar** Åderförkalkningssjukdomar i hjärtat
- Kritisk frekvens** Den lägsta frekvens vid vilken coincidenceeffekten uppstår
- Ljudabsorption** Absorption ljudvågornas energi genom att viss del av energin omvandlas till värme
- Ljudeffektnivå** En källas effektnivå [W]
- Longitudinella vågor** Longitudinella vågor svänger partiklarna parallellt mot vågutbredningen
- Luftpumpningar** Luft som trycks ut följd av ett däckets rörelse över vägbanan
- Multipelreflex** Reflexer från flera reflektionsytor
- NORD2000** Beräkningsmodell för vägtrafikbuller
- Nordisk beräkningsmodell** Beräkningsmodell för vägtrafikbuller
- Oktav** Innehållet mellan två toner vars frekvensfördelning är 2:1
- Oktavband** Frekvensband med konstant relativ bandbredd där varje mittfrekvens är en fördubbling av den tidigare
- Phon** Enhet för upplevd ljudstyrka
- Porositet** Hålrumsvolym i förhållande till materialvolym

Propagering av ljudvågor Spridning av ljudvågor

Punktkälla När ljudet utbreder sig rundstrålande, vilket betyder att ljudstyrkan är samma i alla riktningar

Refraktion Vågors böjning vid övergång från ett tätare medium till ett tunnare medium.

Reflektionsfaktor En faktor som beskriver hur mycket av den infallande vågen som reflekteras

Resonansfrekvens Den frekvens där ett material börjar svänga i takt med en ljudvåg

Siktlinje Visuell linje mellan två objekt

Stomljud Ljud som utbreder sig genom stommen till en byggnad.

Stressor Påfrestning som framkallar kroppsliga och psykiska reaktioner.

Tersband Ett tersband är 1/3 oktavband

Transmission Överföring av ljudvågor genom ett material

Transversella vågor Transversella vågor flyttar partiklar vinkelrät mot vågutbredningen

Väghållande väggar Väggar som går från väggkanten upp till ovanliggande trottoar i gatusektion 4

Vägning av ljudnivån Vid frekvensvägning av ljudnivån tas det hänsyn till människans hörselkänslighet vid olika frekvenser

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Frågeställningar	3
1.4	Avgränsningar	3
1.5	Rapportens disposition	3
1.6	Metod	4
2	Ljudteori	5
2.1	Vad är ljud?	5
2.2	Hur människan upplever ljud	6
2.3	Frekvenser och vägning av ljudnivå	7
2.4	Ljudutbredning	11
2.5	Ljudkällor	11
2.6	Vågtyper	12
2.7	Luftljudsisolering	13
3	Bullrets effekt på hälsa och samhällsekonomi	17
3.1	Hälsoeffekter till följd av buller	17
3.2	Hörselskador	17
3.2.1	Hörselnedsättning	17
3.2.2	Tinnitus	18
3.3	Sjukdomar och tillstånd till följd av bullerrelaterad stress	18
3.3.1	Kardiovaskulära sjukdomar	18
3.3.2	Sömnpromblem	19
3.3.3	Störning till följd av buller	20
3.4	Kognitiv nedsättning hos barn	20
3.5	Samhällsekonomiska effekter	21
4	Lagar, riktlinjer och rekommendationer	23
4.1	Plan- och Bygglagen	23
4.2	Miljöbalken	23
4.3	Miljömål	23
4.4	Förordningar	24
4.5	Boverket	25
4.6	Naturvårdsverket	25
4.7	Trafik för en attraktiv stad	25
4.8	Vägar och gators utformning	26
4.9	Lokala planer och riktlinjer i Göteborg	26
4.9.1	Stadsutveckling 2035	26
4.9.2	Teknisk handbok Göteborg	26
4.9.3	Vägledning för trafikbuller i planeringen	27
4.9.4	Miljömål	27
4.9.5	Åtgärdsprogram mot buller för Göteborgs Stad 2014-2018	27
5	Bullerreducerande åtgärder	29
5.1	Emission av vägtrafikbuller	29
5.2	Beläggningar	30
5.2.1	Standardbeläggning med mindre stenstorlek	30
5.2.2	Tunn, tät eller halvtät beläggning	30

5.2.3	Porös eller dränerande asfalt	31
5.3	Fordons hastighetens påverkan på bullret	31
5.4	Elektrifiering som åtgärd	32
5.5	Fasadens bullerreducerande förmåga	32
5.6	Utformning av bullerskärm	33
5.6.1	Generell utformning av bullerskärm	33
5.6.2	Låga barriärer	34
5.6.3	Åtgärder från URBAN SOUND PLANNING - the Sonorus project	34
5.7	Minskad trafikmängd som bullerreducerande åtgärd	35
5.8	Växtbeklädnad som åtgärd	36
5.9	Markbehandlingsåtgärder	37
6	Nuvarande buller- och trafiksituation på Gibraltargatan	38
6.1	Trafiksituation på Gibraltarvallen	38
6.2	Nordisk beräkningsmodell	38
6.2.1	Beräkning av L_{Aeq}	39
6.2.2	Beräkningsgång i Nordisk beräkningsmodell	40
6.2.3	Resultat från beräkningarna i Nordisk beräkningsmodell	42
7	Val av åtgärdsförslag	44
7.1	Tillvägagångssätt för val av åtgärder	44
7.2	Åtgärdsförslag	44
7.2.1	Gatusektion 1	44
7.2.2	Gatusektion 2	45
7.2.3	Gatusektion 3	45
7.2.4	Gatusektion 4	46
7.2.5	Gatusektion 5	46
8	Utvärdering av åtgärdsförslag	48
8.1	Tillvägagångssätt för utvärdering	48
8.2	Nord2000	48
8.3	Beräkningsgång för samtliga gatusektioner	49
8.3.1	Beräkningsgång för gatusektion 1	49
8.3.2	Beräkningsgång för gatusektion 2	50
8.3.3	Beräkningsgång för gatusektion 3	50
8.3.4	Beräkningsgång för gatusektion 4 och 5	50
8.4	Beräkningsresultat för ljudnivåer	50
8.4.1	Beräkningsresultat för gatusektion 1	51
8.4.2	Beräkningsresultat för gatusektion 2	52
8.4.3	Beräkningsresultat för gatusektion 3	53
8.4.4	Beräkningsresultat för gatusektion 4	55
8.4.5	Beräkningsresultat för gatusektion 5	55
8.4.6	Beräkningsresultat för gaturummet	56
8.5	Samhällsekonomisk beräkning	57
8.6	Beräkningsresultat från ASEK	60
8.7	Kostnad för åtgärder	63
8.8	Jämförelse av åtgärdsförslag	63
9	Avtalslösningar	66
9.1	Nulägesanalys och intresse för avtalslösningar	66
10	Diskussion	68

10.1	Åtgärdsförslag	68
10.2	Val och användning av beräkningsmodeller	70
10.3	Samarbete och avtalslösningar	71
10.4	Etiska aspekter	72
11	Slutsats	73
	Referenser	74
	Bilagor	

1 Inledning

Göteborg är en stad i förändring, staden har som mål att växa med nästan en tredjedel tills år 2035 (Göteborg Stad, u. å.-e). Detta innebär en ökning av befolkningen med 150 000 personer samt 80 000 nya bostäder och arbetsplatser. Även trafikmängden kommer påverkas, mellan år 2011 till 2035 förväntas det totala antalet resor öka med 27 % (Göteborg Stad, u. å.-k).

I Sverige är buller den miljöstörning som berör flest människor (Boverket, 2016a). Den vanligaste källan till buller är trafik vilket innefattar vägar, järnvägar samt flyg. Boverket menar att trots arbetet med att begränsa buller så minskar inte problemet vilket beror på allt större städer samt ökande transporter. En god ljudmiljö, för hela stadsrummet och inte endast för bostadsmiljöer, är en förutsättning för en hållbar och attraktiv stad (Boverket, 2016b). Akustisk design kan användas för att förbättra ljudmiljön genom att begränsa oönskade ljud och förstärka positiva ljud.

Enligt World Health Organization har individer som vistas och bor i bullerutsatta områden en förhöjd risk att lida av kognitiv nedsättning, hjärt- och kärlsjukdomar samt sömnstörningar (Fritschi, Brown, Kim, Schwela & Kephelopoulos, 2011). En bullrig miljö medför därmed ökade alternativkostnader för samhället på grund av produktionsbortfall och ökade resurskostnader till följd av större behov av läkar- och sjukvård (H. Andersson, Jonsson & Ögren, 2009).

Idag lever många göteborgare i en ljudmiljö som inte anses vara en långsiktigt god ljudmiljö (Göteborg Stad, u. å.-c). Cirka 45 000 invånare i Göteborg utsätts för ljudnivåer på 60 dBA eller mer vid sin bostad. Ett av Göteborg Stads miljömål är *God bebyggd miljö* där *God ljudmiljö* ingår som delmål. Delmålet innefattar att sänka ljudnivån vid fasad till under 60 dBA för 90 % av stadens invånare.

Gibraltargatan är en gata belägen i området Johanneberg i centrala Göteborg. Delar av gatan ligger i anslutning till området Gibraltarvallen, där den huvudsakliga markägaren Akademiska Hus tillsammans med Göteborg Stad planerar att uppföra flera fastigheter innehållande 75 000 kvadratmeter verksamhetsyta, 150 lägenheter samt 200 student- och forskarbostäder (Göteborg Stad, 2015b). Detta projekt benämns härefter projekt Gibraltarvallen.

Trafikflödet på Gibraltargatan gör att gaturummet och närliggande husfasader utsätts för höga bullernivåer (Göteborg Stad, 2015a). För att fastigheter ska kunna uppföras krävs bland annat att svensk lagstiftning för trafikbullernivåer följs. Lagstiftningen kan uppnås genom att antingen angripa bullret vid källa eller genomföra åtgärder närmare mottagaren (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

1.1 Bakgrund

Ambitionen med projekt Gibraltarvallen är att expandera området och öka samverkan mellan näringsliv, Chalmers och övriga staden (Göteborg Stad, 2015b). Detaljplanen medger för Gibraltarvallen bebyggelse av cirka 350 bostäder samt verksamhetsyta för Chalmers. Se figur 1 för plankarta över projektets omfattning.



Figur 1: Illustrationsritning tillhörande samrådshandlingarna för detaljplanen för Gibraltarvallen. Ritad av White arkitekter AB (White arkitekter AB för Stadsbyggnadskontoret, 2015)

Projektet omfattar inte bara nya byggnader utan även ombyggnad av gator och en ändrad trafikföring i området (Göteborg Stad, 2015b). Enligt detaljplanen planeras en omläggning av busstrafiken med en omplacering av busshållplatserna som idag finns längs Gibraltargatan till en gemensam hållplats söder om Eklandagatan. Engdahlsgratan berörs också vilken planeras att bli en återvändsgata.

Gibraltargatan och Gibraltarvallen ligger i de centrala delarna av Göteborg där bullernivåerna är bland de högsta i staden (Göteborg Stad, u. å.-b). Riktvärdet för trafikbuller är 60 dBA (SFS 2015:216, 2015) och enligt bullerkartläggningen för Göteborg är den dygnsekvivalenta ljudnivån på Gibraltargatan 65 dBA (Göteborg Stad, u. å.-m). Detta gör att många boende längs gatan samt framtida boende blir utsatta för en dålig ljudmiljö.

I fotgängarprogrammet från trafikstrategin finns mål för att ge fotgängare en mer prioriterad roll utefter stadens utveckling. Ett av dessa mål är att 85 % av göteborgarna år 2035 ska anse att gaturummen i innerstaden och i andra stadsmiljöer är attraktiva att vistas i (Göteborg Stad, u. å.-j). Dessutom ska 85 % av göteborgarna anse att gång är ett attraktivt sätt att röra sig i innerstaden och andra täta stadsmiljöer samt att gång är det mest attraktiva sättet att ta sig fram (Göteborg Stad, u. å.-j).

1.2 Syfte

Studiens syfte är att föreslå åtgärder för en förbättrad ljudmiljö på Gibraltarvallen. Åtgärderna ska analyseras ur ett ekonomisk samt samhällsekonomiskt perspektiv för att sedan undersöka möjligheterna för samarbete och avtal mellan projektets intressenter.

1.3 Frågeställningar

Studiens syfte uppnås genom att besvara följande frågeställningar.

- Vilka tekniska åtgärder kan sänka trafikbullernivån på Gibraltarvallen?
- Vad blir kostnaden för respektive teknisk åtgärd?
- Vilken samhällsekonomisk effekt kan de föreslagna åtgärder få?
- Hur kan föreslagna åtgärder bidra till en attraktiv stadsmiljö?
- Hur stort är berörda aktörers intresse kring samarbete och/eller avtal rörande bullerdämpande åtgärder?

1.4 Avgränsningar

Studien har en bred omfattning där allt från tekniska aspekter till ekonomiska undersöks och utvärderas. För att skapa ett tydligt ramverk för studien har följande avgränsningar fastställts.

- Endast området Gibraltarvallen och Gibraltagatan kommer att studeras.
- Akustik är den enda byggnadstekniska parameter som beaktas vid framtagande samt utvärdering av tekniska åtgärder.
- Endast beprövade bullerdämpande åtgärder samt bullerdämpande åtgärder från tidigare utförda studier beaktas.
- Inga avtal kommer utformas.

1.5 Rapportens disposition

Rapporten inleds med en litteraturstudie. Denna omfattar; kapitel 2: Ljudteori, kapitel 3: Bullrets effekt på hälsa och samhällsekonomi, kapitel 4: Lagar, riktlinjer och rekommendationer samt kapitel 5: Bullerreducerande åtgärder.

Nuvarande buller- och trafiksituation på Gibraltagatan beräknas respektive beskrivs i kapitel 6 vartefter val av åtgärdsförslag presenteras i kapitel 7. I kapitel 8, Utvärdering av åtgärdsförslag, beräknas åtgärdsförslagets effekt och samhällsekonomiska påverkan med hjälp av Nord2000 respektive ASEK 6.

I kapitel 9, Avtalslösningar, granskas berörda parter intresse för samarbete och avtalslösningar. I resterande kapitel diskuteras resultat, antaganden och metod. Felkällor tas upp och diskuteras. Rapporten avrundas med en slutsats.

1.6 Metod

En litteraturstudie genomfördes för att insamla den information och kunskap som krävdes för att analysera frågeställningarna. Denna började med en genomgång av grundläggande ljudteori, hälsoeffekter relaterade till buller, styrande och vägledande dokument samt lagstiftning. Litteraturstudien fortsatte sedan med kartläggning av olika typer av bullerreducerande åtgärder samt en undersökning av metoder för att uppskatta samhällsekonomiska effekter. Studien gjordes främst genom genomgång av tekniska rapporter, litteratur på området, styrande dokument samt planer framtagna av Göteborgs Stad.

Med litteraturstudien som grund inleddes en analys av den nuvarande situationen på Gibraltargatan där trafiksituationen och bullernivåer i gaturummet undersöktes. Bullernivåerna fastställdes genom beräkningar i Nordisk beräkningsmodell och presenterades med värden för ljudtrycksnivåer i ett referensfall.

Med ett fastställt referensfall analyserades fem utvalda åtgärdsförslag i beräkningsmodellen Nord2000 och resultatet från denna analys låg sedan till grund för samhällsekonomiska beräkningar i ASEK 6. Den samhällsekonomiska effekten jämfördes med åtgärdsförslagets investeringskostnad och den besparing som uppstår vid byte till en billigare fasad. Parallellt med beräkningarna genomfördes intervjuer med projektets berörda parter i syfte att kartlägga intresse för samarbete och avtalslösningar.

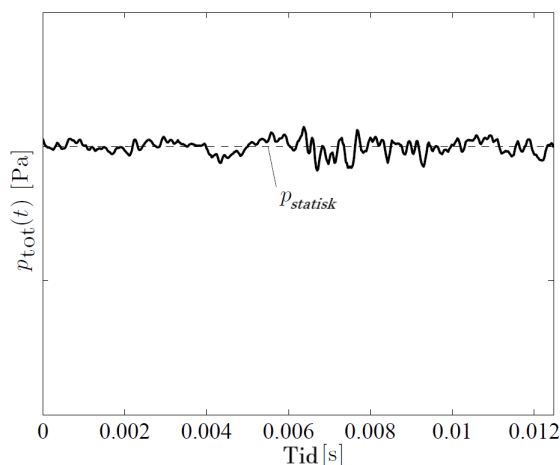
2 Ljudteori

Följande kapitel innefattar en grundläggande beskrivning av vad ljud och buller är, hur människan upplever det, hur ljud utbreder sig i luft och mark samt hur det kan dämpas där en lägre ljudnivå är önskvärd.

2.1 Vad är ljud?

Ljud- och vibrationsvågor är tryckskillnader som propagerar genom ett elastiskt medium (Bodén m. fl., 2001). Villkoren för att ljud skall uppträda är att det måste finnas en källa som skapar en tryckskillnad och ett elastiskt medium med en massa som kan sprida dessa tryckskillnader. Tryckskillnaderna varierar flera gånger varje sekund. Antalet tryckskillnader eller svängningar per sekund kallas frekvens och anges i enheten $[Hz]$. Den mänskliga hörseln är kapabel att urskilja ljud med frekvenser mellan 20-20000 Hz (Bodén m. fl., 2001).

Ljud kan beskrivas som små tryckförändringar under en kort tid och betecknas som $p(t)$ (Höstmad & Kropp, 2016). Dessa tryckförändringar är jämfört med det statiska atmosfärtrycket mycket små, se figur 2. Atmosfärtrycket betecknas som p_0 eller $p_{statisk}$, och varierar med tiden men mycket långsamt och antas i akustiksammanhang vara konstant vid ca 101,35 kPa. För att sätta detta i perspektiv motsvarar den tillåtna medelljudnivån på en konsert i Göteborg endast en tryckskillnad på 2 Pa (Höstmad & Kropp, 2016).



Figur 2: Tidberoende tryckvariation (Höstmad & Kropp, 2016)

Den totala trycknivån är lika med summan av det statiska atmosfärtrycket och tryckförändringen orsakad av en extern ljudkälla, se ekvation 1.

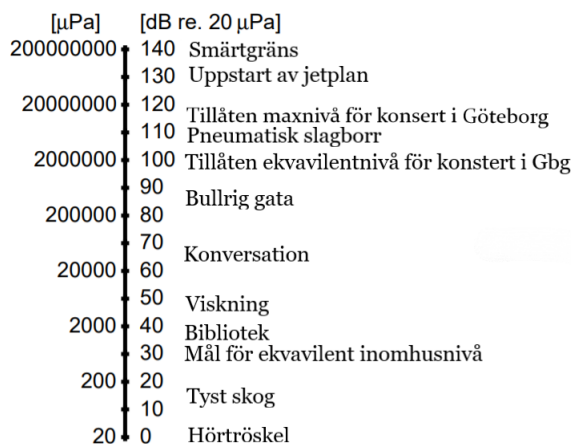
$$p_{tot}(t) = p(t) + p_{statisk} \quad (1)$$

Buller definieras som icke önskvärd ljud, och bullerkällorna i vårt samhälle är många (J. Andersson, 1998).

Vad som uppfattas som icke önskvärt eller önskvärt ljud är dock subjektivt, men några vanliga bullerkällor är trafik, installationsteknik i bostäder samt stegljud från grannar.

2.2 Hur människan upplever ljud

Det mänskliga örat uppfattar inte en ändring i tryckvariation som en linjär funktion (Höstmad & Kropp, 2016). En fördubbling av ljudtrycksskillnad från en ljudkälla upplevs inte som en fördubbling i ljudstyrka. Enheten Decibel, dB , är ett logaritmiskt skalande mått som används för att karaktärisera ljudtrycksnivå (Höstmad & Kropp, 2016). Den logaritmiska skalan används för att lättare behandla det breda hörspannet samt människans icke linjära upplevelse av ljudtryck. Vidare har människan möjlighet att urskilja ljudtryck från $20 \mu Pa$ (0 dB) upp till ca $200 Pa$ (140 dB), detta motsvarar den ljudnivå för vilken vi upplever fysisk smärta. Nedan, se figur 3, listas en rad vanligt förekommande ljud samt deras ljudnivå och tryck. En reduktion av ljudtrycksnivån med 1 dB kan endast höras vid perfekta förhållanden, medan en sänkning med 3 dB är tydligt hörbar, och en sänkning med 10 dB uppfattas som en halvering av ljudstyrkan (Höstmad & Kropp, 2016).



Figur 3: Den logaritmiska skalan för decibel med exempel som visar vilken tryckskillnad som korresponderar med vilken ljudnivå (Höstmad & Kropp, 2016).

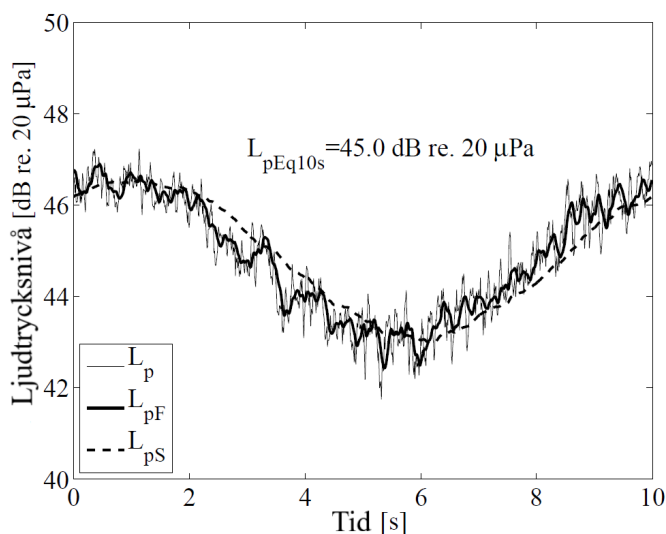
Ljudnivån beräknas enligt ekvation (2).

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} \quad (2)$$

p_{ref} är en referenstrycknivå och sätts ofta till $20 \mu Pa$, detta motsvarar 0 dB och anger hörtröskeln vid vilken vi börjar uppfatta ljud (Höstmad & Kropp, 2016). p_{rms} står för *root mean squared pressure* och är ett medelvärde av ljudtrycket över en standardiserad integrationstid. Detta beräknas enligt ekvation (3).

$$p_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} p^2(t) dt\right)} \quad (3)$$

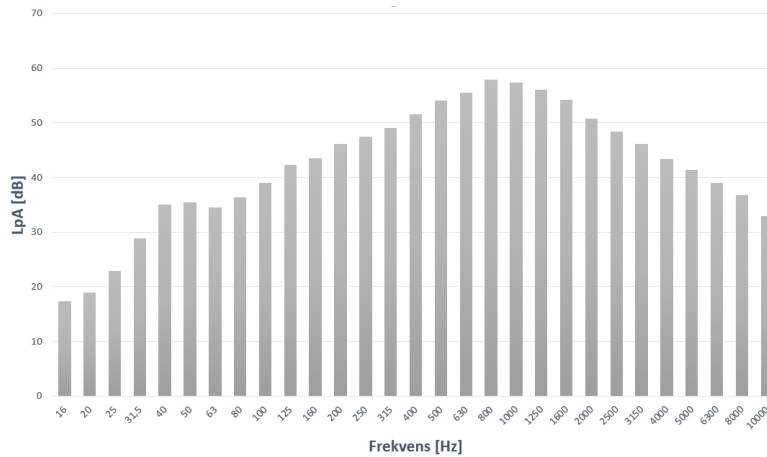
Mätinstrument skapade för att mäta ljudnivåer har en viss fördröjning, det vill säga att de inte mäter momentana tryckändringar utan istället över ett fixt tidsintervall för vilket instrumentet utför den aktuella beräkningen (Höstmad & Kropp, 2016). T_m är integrationstiden, det vill säga tiden för vilken mätningen av ljudnivån skall utföras för att uppmäta ett medelvärde på aktuell trycknivå. Den vanligaste integrationstiden är $T_m = 0,125$ s vilket är standard för en snabb mätning, men i vissa fall används $T_m = 1$ s för en långsammare och mer jämn mätning (Höstmad & Kropp, 2016). Se figur 4 för visualisering av vad snabb- och långsam mätning förhåller sig mot den verkliga tryckvariationen. L_p är den verkliga tryckvariationen, L_{pF} är tryckvariationen för den kortare integrationstiden och L_{pS} är för den längre integrationstiden.



Figur 4: Visualisering av den verkliga trycknivån samt hur snabb- och långsam ljudmätning förhåller sig till denna (Höstmad & Kropp, 2016).

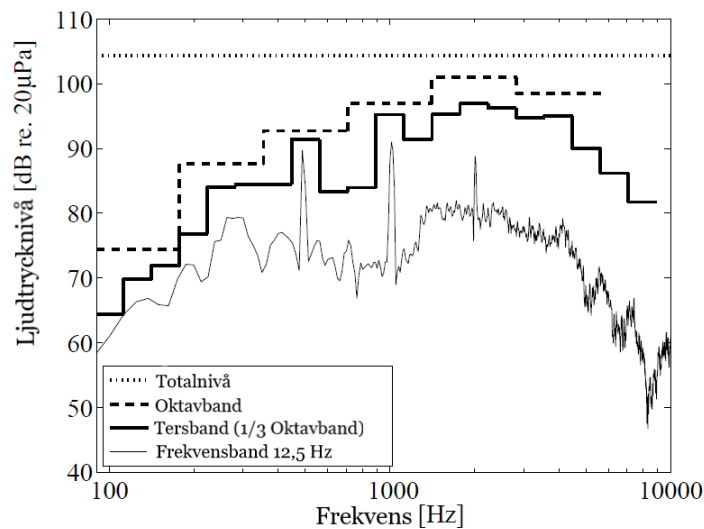
2.3 Frekvenser och vägning av ljudnivå

Den mänskliga hörseln är frekvensberoende (Höstmad & Kropp, 2016). Detta betyder att vi upplever ljudvågor med samma trycknivå olika starkt beroende på svängningsfrekvensen. Frekvenser i spannet 2000-5000 Hz upplevs som starkast hos människan (Höstmad & Kropp, 2016). Vidare är ljud oftast uppbyggt av flera olika frekvenser där vissa frekvenser är mer vanligt förekommande än andra. Figur 5 visar en frekvensberoende ljudnivåfördelning för en vältrafikerad gata, Gibraltargatan i centrala Göteborg.



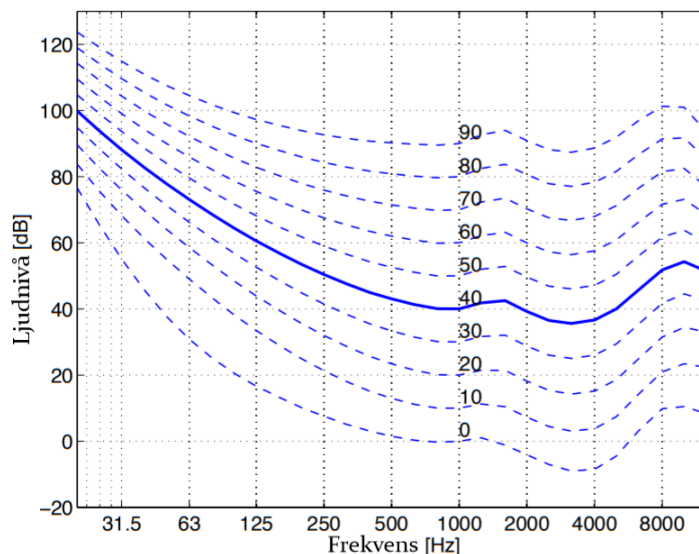
Figur 5: Ljudmätning för Gibraltargatan utförd under en 15-minutersperiod. Mätningen är utförd enligt Nordtestmetoden (Nordtest, 2002). Mätningen visar A-vägd ljudtrycksnivå, re. $20 \mu\text{Pa}$. A-vägning presenteras längre ner i detta kapitel.

Skalan för frekvens sätts i akustiksammanhang nästan uteslutande som logaritmisk och för att förenkla analysen av en ljudmiljö delas denna skala ofta in i frekvensområden, så kallade oktav- och tersband (J. Andersson, 1998). Dessa har ett sidförhållande 2:1, vilket betyder att den högra delen av bandet innehåller dubbelt så många frekvenser som den vänstra sidan. Istället för att analysera varje enskild frekvens går det att analysera varje oktav- eller tersband för en lättare överblick av ljudmiljön (J. Andersson, 1998). Tersband kallas även 1/3 oktavband då det går tre tersband på ett oktavband. Figur 6 ger en bild av hur denna indelning kan se ut vid en verklig mätning. Indelningen sänker detaljnivån men är användbart vid beräkningar (J. Andersson, 1998). Oktavbanden ökar i bredd vid högre frekvenser men på logaritmisk skala ser de lika stora ut, se figur 6 för oktav- och tersbandsindelning av en ljudmiljö. Oktavband benämns av sin mittfrekvens enligt internationell standard satt av ISO (International Organization for Standardisation) : 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 och 16000 Hz.



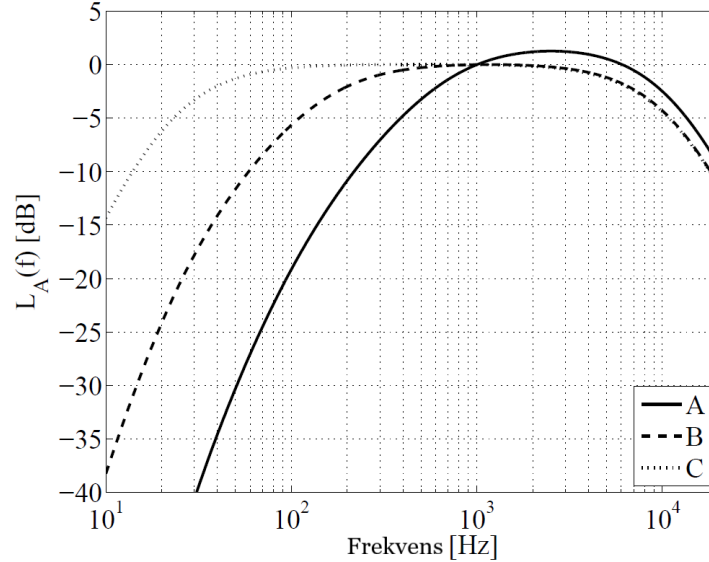
Figur 6: Ljudnivå indelad i smalband, tersband och oktavband (Höstmad & Kropp, 2016)

Phon är enheten för ljudstyrka och kurvor där ljudstyrkan hålls konstant kallas isophonkurvor (Höstmad & Kropp, 2016). Dessa skapas genom att ett antal testpersoner får två toner spelade samtidigt, en referenston med frekvensen 1 kHz och en ytterligare ton med annan frekvens. Testpersonen får sedan reglera ljudstyrkan på den andra tonen tills upplevd ljudstyrka från de båda tonerna är lika stark. Från dessa experiment går det att se hur toner med låga frekvenser behöver en högre ljudnivå för att uppfattas som lika starka som en ton med högre frekvens. En isophonkurva kan ses i figur 7.



Figur 7: Isophonkurvor som visualiserar lika ljudstyrka vid olika frekvenser med 1 kHz som referenston. Dessa mätningar har utförts vid ett antal ljudnivåer (Forssén, 2015).

Isphonkurvorna visar att ljud upplevs olika starkt vid olika frekvenser, av denna anledning skapas ofta en vägning av ljudmiljön, som kan bestå av flera olika frekvenser (Höstmad & Kropp, 2016). Detta för att få en klarare bild av hur en människa upplever ljudnivån. Vid frekvensvägning av ljudnivån tas det hänsyn till människans hörselkänslighet vid olika frekvenser (Höstmad & Kropp, 2016). Den mest använda frekvensvägningen är A-vägning, se figur 8. Figuren visar upplevd ljudstryka vid olika frekvenser med samma ljudtryck, för tre olika vägningar.



Figur 8: Figuren visar hur olika frekvenser vägs vid de standardiserade A-, B- och C-vägningarna. (Höstmad & Kropp, 2016)

Vid vägning beräknas den upplevda ljudnivån enligt ekvation (4). Där $L_A(f)$ utläses från figur 8.

$$L_{pA} = L_p + L_A(f) \quad (4)$$

A-vägda ljudnivåer brukar anges som dBA, eller dB(A) för att förtydliga att denna ljudnivå är A-vägd (Höstmad & Kropp, 2016).

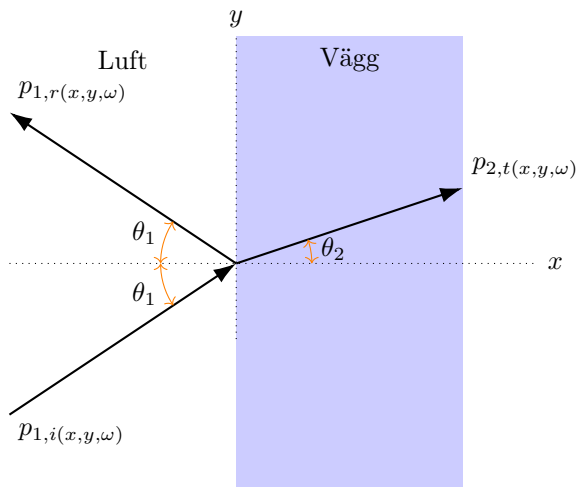
Ljudnivån är sällan konstant, vanligtvis varierar den under en tidsperiod och det är därför intressant att beräkna en ekvivalent ljudnivå för den givna perioden (Höstmad & Kropp, 2016). Denna ekvivalenta nivå motsvarar ett medelvärde på ljudnivån och är ofta en god indikator för ljudmiljön i ett aktuellt område. Se ekvation 5 för tidsvägning av ljudnivån under en tidsperiod.

$$L_{pEq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dt \right) \quad (5)$$

Detta används bland annat vid arbetsplatser samt bostäder för att ge en grund till bedömning av risk för negativa hälsoeffekter (Höstmad & Kropp, 2016). T sätts därför ofta till 8 eller 24 timmar för att representera en arbetsdag eller en dygnsnivå. Denna ekvivalenta nivå kan i sin tur även vägas med hänsyn till vilka frekvenser som är mest framträdande (Höstmad & Kropp, 2016). Detta ger en god bild av hur mycket den ekvivalenta ljudnivån påverkar den ifrågavarande miljön och människorna i den. L_{Aeq} är således ett uppfattat medelvärde av ljudnivån.

2.4 Ljudutbredning

Då en ljudvåg färdas i luften och kommer i kontakt med en yta kan den transmitteras, reflekteras, eller absorberas (Bodén m. fl., 2001). Effekten som blir mest framträdande beror på ytans egenskaper och ljudvågens infallsvinkel. Se figur 9 för ett generellt exempel.



Figur 9: Figuren visar två olika medium med den inkommande vågen $p_{1,i}(x,y,\omega)$, den reflekterade vågen $p_{1,r}(x,y,\omega)$ och den transmittade vågen $p_{2,t}(x,y,\omega)$ (Höstmad & Kropp, 2016)

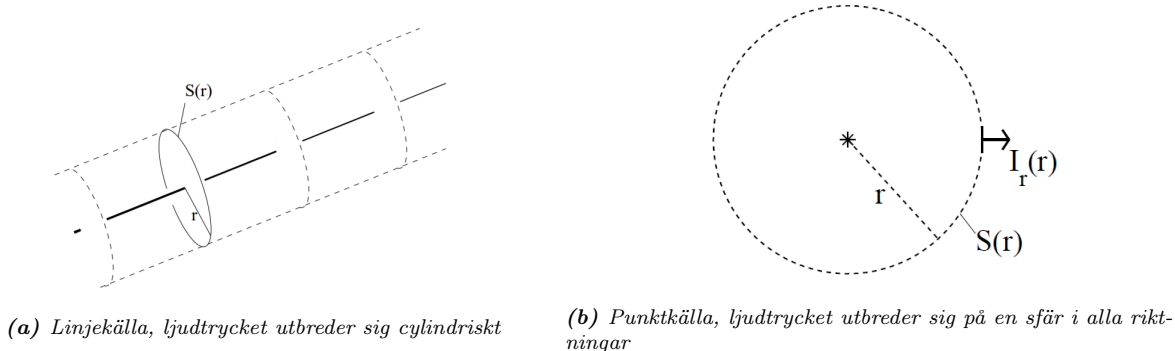
Den inkommande- och reflekterade ljudvågen har samma vinkel mot väggens normal (Bodén m. fl., 2001). En del av energin från den inkommande ljudvågen absorberas av väggen och omvandlas till värme. Den del som inte absorberas eller reflekteras kommer transmitteras in i byggnaden där den kan ge upphov till buller. Genom att använda porösa material med stor andel håligheter vid ytan av väggen gör att en större del av den inkommande ljudvågens energi omvandlas till värme och mindre ljud transmitteras (Bodén m. fl., 2001).

Refraktion beskriver hur ljudvågornas utbredning påverkas av en ickehomogen atmosfär (Höstmad & Kropp, 2016). Variabler som vindhastighet, luftfuktighet och temperatur varierar över en sträcka. Då marktemperaturen är högre än temperaturen i luften kommer ljudvågorna böjas upp mot himmelen, vilket leder till en sänkning av ljudtrycksnivån i markhöjd en sträcka från ljudkällan. Motsatt effekt sker vid omvända temperaturförhållanden.

Diffraction, eller den svenska varianten böjning, förekommer då ljudvågor träffar en kant, pelare eller liknande föremål (Bodén m. fl., 2001). Diffraction innebär att inkommande ljudvågor ändrar riktning då ljudvågorna träffar ett föremål. Detta leder till att ljudvågor kan nå områden som ser ut att vara skyddade.

2.5 Ljudkällor

Ljudutbredning modelleras olika beroende på det karakteristiska beteendet av ljudkällan (Höstmad & Kropp, 2016). Det finns två huvudtyper av ljudkällor: Punktkällor och Linjekällor.



Figur 10: Linje- och punktkällor (Höstmad & Kropp, 2016)

Vid en punktkälla utbreder sig ljudet rundstrålande, vilket betyder att ljudstyrkan är samma i alla riktningar, se figur 10a (Höstmad & Kropp, 2016). Punktkällor, se figur 10b, används för att modellera enskilda ljudkällor, exempelvis: individuella bilar, fläktar, eller högtalare på ett avstånd. Ljudtrycksnivån är avståndsberoende och kan i fjärrfältet beräknas enligt ekvation (6) (Höstmad & Kropp, 2016).

$$L_p = L_W - 10 \log_{10} \frac{4\pi r^2}{S_{ref}} \quad (6)$$

Där S_{ref} är en referensyta på 1 m^2 , L_W är ljudeffektnivån i dB re 10^{-12} Watt vid ljudkällan och r är avståndet till punktkällan i meter (Höstmad & Kropp, 2016). Detta medför att en fördubbling av avståndet till ljudkällan ger en sänkning av ljudnivån med 6 dB.

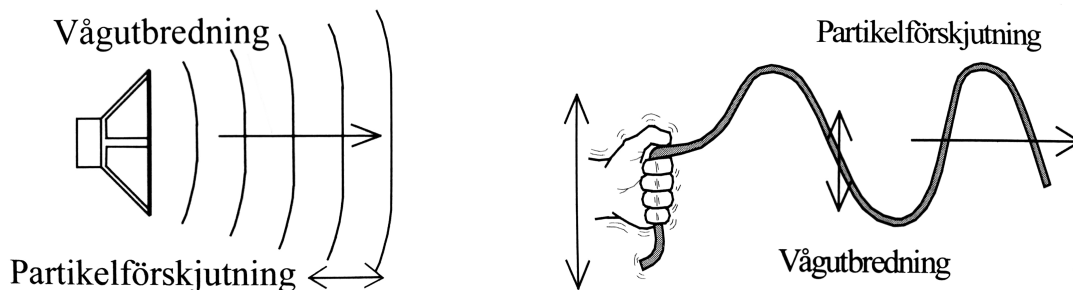
Vid en linjekälla utbreder sig ljudet cylindriskt från sin egen axel (Höstmad & Kropp, 2016). Linjekällor används för att modellera långsträckta ljudkällor exempelvis buller från vägar. Ljudnivån för denna modell kan i fjärrfältet beräknas enligt ekvation (7).

$$L_p \approx L_{W'} + 10 \log_{10} \frac{r_{ref}}{4r_0} + 10 \log_{10} \frac{\alpha}{\pi} \quad (7)$$

Där r_{ref} är ett referensavstånd på 1 m, α är vinkeln i radianer för den del av ljudkällan som är synlig för mottagaren, och $L_{W'}$ är ljudeffektnivån per meter vid ljudkällan i dB re. 10^{-12} W/m.

2.6 Vågtyper

Det finns två olika huvudtyper av tryckvågor; transversella vågor och longitudinella vågor (Bodén m. fl., 2001). Transversella vågor flyttar partiklar vinkelrät mot vågutbredningen vilket kan liknas vid ett rep som skakas, se figur 11b. Longitudinella vågor svänger partiklarna parallellt mot vågutbredningen som vid en högtalare, se figur 11a.

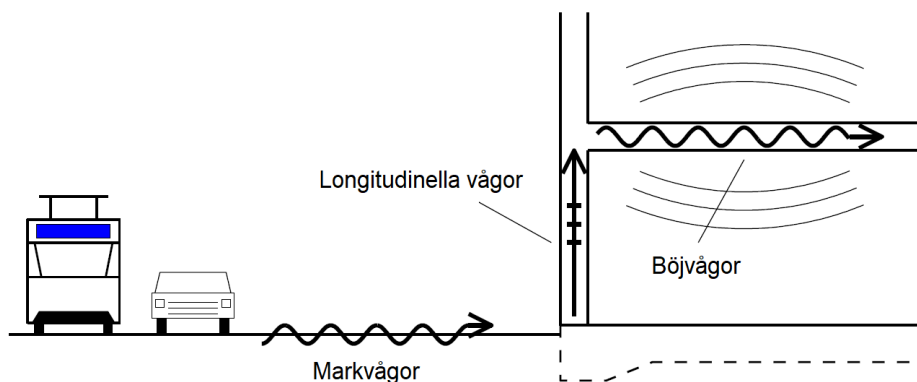


(a) Longitudinella vågor, partiklarna rör sig parallellt mot vågutbredningen

(b) Transversella vågor, partiklarna rör sig vinkelrätt mot vågutbredningen

Figur 11: Visualisering av de två olika vågklasserna (Bodén m. fl., 2001)

Vanligtvis när man talar om buller är det främst luftburet ljud man syftar på (Höstmad & Kropp, 2016). Detta ljud skapas av en yttre ljudkälla och läcker in i en byggnad genom dess fasad, fönster och dörrar. Utöver luftburet ljud kan buller även skapas till följd av markvågor som sedan sprids till närliggande byggnader och där omvandlas till böjvågor som genererar buller (Höstmad & Kropp, 2016). Detta visualiseras i figur 12. Markvågor har till skillnad från luftburet ljud inte luft som akustiskt medium, vågorna propagerar istället genom marken som är dess karakteristiska medium. Det är främst tyngre trafik som buss, lastbil, spårvagn och tåg som skapar märkbara markvågor. Stomljudd är ett fenomen där vibrationer i marken överförs till en byggnadsstruktur (Höstmad & Kropp, 2016). Denna vibration leder till tryckförändringar i rummet som kan uppfattas som buller.



Figur 12: Markvågor från fordon propagerar genom marken och skapar böjvågor i lägenheter som alstrar stomljudd och buller inomhus (Höstmad & Kropp, 2016).

2.7 Luftljudsisolering

Reduktionstalet R anger hur mycket en fasad, fönster, dörr eller liknande reducerar ljudnivån mellan två utrymmen (Höstmad & Kropp, 2016). Reduktionstalet för en fasad reducerar ljudnivån olika mycket vid olika frekvenser, dock anges reduktionstalet ofta med ett konstant värde för att förenkla beräkningar. Hur stort detta reduktionstal är beror på material och tjocklek.

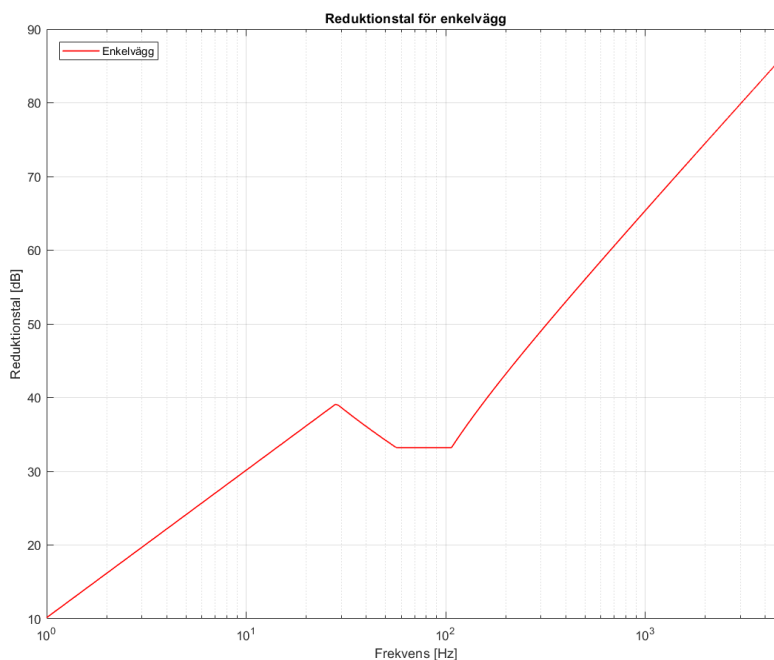
En vägg reducerar ljudnivån främst genom kraftig skillnad i impedans mellan luft och väggens yttersta material (Vigran, 2008). Skillnaden i impedans ger upphov till en hög reflektionsfaktor. En mindre framträdande ljuddämpande del av en vägg är absorption av ljudvågornas energi genom att viss del av energin omvandlas till värme (Vigran, 2008).

Formeln för reduktionstalet ändras vid ett antal frekvenser, detta är för att bättre passa in reduktionskurvan med den verkliga ljudreduceringen hos en fasad (Vigran, 2008). De frekvenser som är av stor vikt är, kritisk frekvens f_c , övergångsfrekvens f_d , samt frekvens för dubbelväggsresonans f_0 .

Reduktionstalet för en enkelvägg beräknas enligt ekvation (8).

$$\begin{aligned} R &= 20 \log(mf) - 47 & \text{om } f < f_c \\ R &= 20 \log(mf) + 10 \log\left(\eta \frac{f}{f_c}\right) - 44 & \text{om } f > f_c \end{aligned} \quad (8)$$

Där m är massan för väggen per kvadratmeter [kg/m^2], f är frekvensen av intresse, f_c är den kritiska frekvensen och η är en förlustfaktor. Se figur 13 för reduktionstal hos en enkelvägg.



Figur 13: Teoretiskt reduktionstal för enkelvägg

En dubbelvägg är en konstruktion med två element som är oberoende av varandra (Vigran, 2008). Dessa element är separerade med ett hålrum, detta hålrum är ofta isolerat med mineralull. Det yttersta lagret i varje element utformas med fördel av tunna och tunga material, ofta gipsskivor, dessa kopplas så löst till

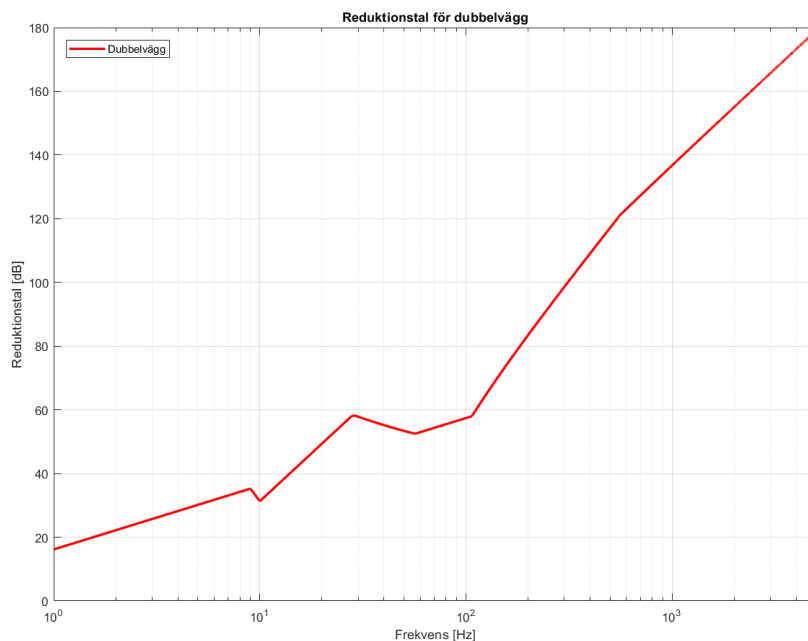
resten av konstruktionen som möjligt. Detta gör att den yttersta skivan kan svänga fritt medan den inre delen förblir stationär.

Vid framtagande av tyngre väggkonstruktioner är det vanligt att lägga till en akustisk beklädnad i form av ett till tre lager gipsskivor som fritt får svänga med inkommande ljudvågor (Vigran, 2008). Denna förbättring kallas strålningsminskande klädnad och förbättrar den bullerdämpande förmågan hos väggen.

Ekvationen för reduktionstal för dubbelväggar är mer komplicerad då det finns fler parametrar att beakta, se ekvation (9).

$$\begin{aligned}
 R &= 20 \log(Mf) - 47 & \text{om } f < f_0 \\
 R &= R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 & \text{om } f_0 < f < f_d \\
 R &= R_1 + R_2 + 6 & \text{om } f > f_d
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

f_0 är resonansfrekvensen för dubbelväggen, f_d är en övergångsfrekvens för vilken reduktionen minskar från 18 dB/oktav till 12 dB/oktav, R_1 och R_2 är de två elementens reduktionstal beräknade som enkelväggar, d är tjockleken på luftspalten, M [kg/m^2] är massan hos det yttersta lagret som man kan anta får svänga fritt (Vigran, 2008). Som figur 14 visar så ökar reduktionstalet kraftigt då frekvensen på de inkommande ljudvågorna är över dubbelväggens resonansfrekvens f_0 .



Figur 14: Teoretiskt reduktionstal för en dubbelvägg

För att uppnå en större ljuddämpning vid lägre frekvenser önskas en så låg dubbelväggsresonansfrekvens som möjligt (Vigran, 2008). Denna frekvens beräknas förenklat enligt ekvation (10). Detta gäller då väggens

tvärsnitt är symmetriskt, och de två svängande elementen har samma massa.

$$f_0 = \frac{85}{\sqrt{md}} \quad (10)$$

m är massan per ytenhet för den del av det yttre skalet som kan beaktas som fritt svängande, d är avståndet mellan de två svängande plattorna i meter.

En låg resonansfrekvens ger högre ljudreducering vid lägre frekvenser, detta kan ses i figur 14 (Vigran, 2008). Detta är viktigt att ha i åtanke vid konstruktion av väggar som är i nära anknytning till ljudkällor med mycket lågfrekvent buller. Ekvation (10) visar att dubbelväggens resonansfrekvens sänks om man ökar massan på de svängande delarna av väggen eller om avståndet mellan de två svängande elementen ökas.

Om endast ett ental finns som reduktionstal beräknas inomhusljudnivån enligt ekvation (11) (Vigran, 2008).

$$L_2 = L_1 - R + 10 \log \frac{S}{A} \quad (11)$$

Där L_2 är inomhusljudnivån, L_1 är fasadljudnivån, R är väggens reduktionstal, A är den totala absorptionsytan på insidan av fasaden och S är ytan för väggen.

Om A och S inte är kända kan ekvationen förenklas till ekvation (12).

$$L_2 = L_1 - R + 3 \quad (12)$$

3 Bullrets effekt på hälsa och samhällsekonomi

I kapitel 3 beskrivs de hälsoeffekter som kan uppkomma till följd av buller. Vidare följer en beskrivning av ASEK 6, det beräkningsverktyg som används för att kalkylera samhällsekonomiska kostnader av buller i Sverige.

3.1 Hälsoeffekter till följd av buller

World health organization, WHO, definierar hälsa som *“fysiskt, mentalt och socialt välbefinnande och inte bara frånvaro av sjukdom”* och det är bevisat att buller har en negativ inverkan på människors hälsa (World Health Organization, 2006). Rapporten *Guidelines for community noise* fastslår att det finns en tydlig koppling mellan buller och en rad sjukdomar och tillstånd (Berglund, Lindvall & Schwela, 2000). Dessa kan vara en direkt eller indirekt följd av höga bullernivåer men tydligt är att exponeringstid och ljudnivå är avgörande faktorer. Dessutom finns det en stor individuell variation för hur mottagliga olika personer är. Nedan följer en genomgång av hälsoproblem vilka direkt eller indirekt kan relateras till buller.

3.2 Hörselskador

Den mest uppenbara hälsoeffekten av höga bullernivåer är hörselskador, vilket är ett samlingsnamn för alla typer av skador som påverkar en persons hörsel och förmåga att uppfatta ljud (Hörselskadades Riksförbund, u. å.). Nedan följer en genomgång av vanliga typer av hörselskador vilka kan uppstå till följd av buller.

3.2.1 Hörselnedsättning

Hörselnedsättning är en allmän försämring av en persons förmåga att uppfatta ljud. Hörselnedsättning till följd av buller påverkar hörseln främst vid höga frekvenser i intervallet 3000-6000 Hz och har som störst effekt vid ca 4000 Hz (Berglund m. fl., 2000). Vid långa exponeringstider och hög dygnsekvivalent ljudnivå kan även nedsättningar uppstå vid lägre frekvenser, ända ner till 2000 Hz (Berglund m. fl., 2000).

Dagligt tal ligger i intervallet 100-6000 Hz vilket gör en hörselnedsättning till ett stort socialt handikapp (Berglund m. fl., 2000). Dock varierar graden och typen av problemen kraftigt från person till person (Hörselskadades Riksförbund, u. å.). Den A-vägda dygnsekvivalenta ljudnivå, $L_{Aeq,24h}$, under vilken hörselnedsättningar normalt sett inte uppstår är 70 dBA. Under en 8h arbetsdag är motsvarande tidekvivalenta ljudnivå, $L_{Aeq,8h}$ 75 dBA (Fritschi m. fl., 2011).

3.2.2 Tinnitus

Tinnitus är en generell term för perception av ljud vilka saknar extern källa (Berglund m. fl., 2000). De upplevda ljuden karaktäriseras vanligtvis av pipande, tjutande och väsande men sjukdomen beskrivs också som oförmåga att uppleva tystnad. De flesta människor upplever någon form av temporär tinnitus under sin livstid och majoriteten av problemen upphör av sig självt utan uppenbar förklaring (Berglund m. fl., 2000). Sjukdomen saknar internationell standard för klassificering men symptomen kännetecknas av:

- Sömnsvårigheter
- Frustration
- Nedsatt kognitiv förmåga
- Irritation
- Ångest
- Nedsatt arbetsförmåga
- Depression
- Nedsatt effektivitet
- Kommunikationssvårigheter
- Begränsat deltagande i sociala aktiviteter

Även uppkomsten av tinnitus saknar internationellt vedertagen förklaring men kopplingen mellan kroniskt buller och sjukdomen är tydlig (Fritschi m. fl., 2011). Dessutom uppger 12-50 % av personer med nedsatt hörsel till följd av buller att de även har tinnitus. I dagsläget finns ingen NOAEL, No Observed Adverse Effect Level för sjukdomen, vilket innebär att den lägsta ljudnivå vilken kan ge upphov till tinnitus inte är bestämd (Fritschi m. fl., 2011). Dock brukar de tidsekvivalenta ljudnivåer som är fastslagna för hörselnedsättningar även användas för tinnitus (Fritschi m. fl., 2011).

3.3 Sjukdomar och tillstånd till följd av bullerrelaterad stress

Buller är en allmän stressor som aktiverar det endokrina och det autonoma nervsystemet, vilket ger upphov till stressreaktioner (Fritschi m. fl., 2011). Dessa stressreaktioner ger omedelbara fysiologiska effekter så som utvidgade pupiller, ökad svettkörtelaktivitet, minskat blodflöde i fingrarna och sänkt puls (Kjellberg, 1990). Långvarig bullerexponering kan även ge ihållande fysiologiska och psykologiska hälsoeffekter, vilka kan ha en stor påverkan på de drabbades livskvalité. Nedan beskrivs ett antal vanliga sjukdomar och tillstånd vilka kan relateras till stress orsakad av buller i allmänhet och trafikbuller i synnerhet.

3.3.1 Kardiovaskulära sjukdomar

Kardiovaskulära sjukdomar eller hjärt- och kärlsjukdomar innefattar sjukdomar vilka påverkar hjärta och/eller blodkärlen. En rad epidemiologiska studier, vilka undersöker kopplingen mellan transportbuller och kardiovaskulära sjukdomar hos barn och vuxna har utförts (Fritschi m. fl., 2011). Studierna fokuserar främst på medelblodtryck, hypertension och kranskärslsjukdomar.

År 2005 hade totalt 61 epidemiologiska studier med syfte att objektivt eller subjektivt undersöka eventuella kopplingar mellan transportbuller och hjärtinfarkt genomförts. I rapporten *Burden of disease from environmental noise* har samtliga av dessa 61 studier granskats utifrån ett antal kriterier och några av dessa har sedan valts ut och legat till grund för en meta-analys (Fritschi m. fl., 2011). Resultatet visar att risken för hjärtinfarkt ökar exponentiellt inom området 55 - 80 dBA för den tidsekvivalenta ljudnivån $L_{day,16h}$.

En liknande analys har utförts på studier vilka undersökt sambandet mellan högt blodtryck och buller (Fritschi m. fl., 2011). Analysen visar att den relativa risken att drabbas av högt blodtryck ökar med 12% per 5 dBA ökning av den tidsekvivalenta ljudnivån, $L_{day,16h}$ inom intervallet 55-80 dBA.

3.3.2 Sömnproblem

Ostörd och tillräcklig sömn är en nödvändighet för produktivitet under dagen och för att upprätthålla god hälsa (Fritschi m. fl., 2011). Människan uppfattar, tolkar och reagerar på ljud även under natten vilket gör att höga ljudnivåer kan ha en kraftig påverkan på sömnen (Fritschi m. fl., 2011). Sömnproblem är därför ett vanligt förekommande problem hos personer som utsätts för omfattande bullerexponering. Bullrets inverkan på sömnen sker i form av direkta effekter, vilka påverkar sömnen under nattens gång, indirekta effekter som påverkar dagen efter den störda sömnen och långvariga effekter (Fritschi m. fl., 2011).

Direkta effekter	Indirekta effekter	Långvariga effekter
<ul style="list-style-type: none"> • Arousal svar • Sömnstadieskiftningar • Uppvaknanden • Kroppsrörelser • Ökad vakentid • Autonoma svar 	<ul style="list-style-type: none"> • Trötthet • Nedsatt effektivitet under dagen • Försämring av den kognitiva förmågan 	<ul style="list-style-type: none"> • Kroniska sömnsvårigheter

Hur allvarliga de uppkomna effekterna blir beror till stor del på den tidsekvivalenta ljudnivån under natten (Fritschi m. fl., 2011). Nedan, se tabell 1, listas observerade hälsoeffekter i olika tidsekvivalenta ljudnivåinteravall.

Tabell 1: Observerade hälsoeffekter vid olika ljudnivåer under natten (Fritschi m. fl., 2011)

$L_{night,8h,outside}$ [dBA]	Observerade hälsoeffekter
<30	Inga observerade biologiska effekter.
30-40	Ökat antal kroppsrörelser, uppvaknanden och självrapporterade sömnsvårigheter och arousal.
40-55	Ljudnivån ger negativa hälsoeffekter och människor måste anpassa sitt liv efter ljudnivån.
>55	Negativa hälsoeffekter är vanligt förekommande och en stor andel av befolkningen upplever sömnsvårigheter. Ljudnivån är skadlig för folkhälsan och risken för kardiovaskulära sjukdomar ökar.

3.3.3 Störning till följd av buller

Allt buller är per definition ljud som uppfattas som störande och kan på så sätt påverka människors livskvalité och därmed även hälsa (Fritschi m. fl., 2011). Denna störning kan i sin tur leda till en rad olika sinnestillstånd, så som agitation, besvikelse, ilska, missnöje, hjälplöshet, depression, ångest, utmattning och distraktion.

År 2002 fastslog Europaparlamentet och Europeiska unionens råd i direktiv 2002/49/EG att samtliga medlemsländer skulle utarbeta bullerkartor för tätbebyggelse med mer än 100 000 invånare. Resultatet från EU-länderna har sedan vägts mot data från 54 studier vilka undersöker störning som följd av olika bullertyper och ett samband mellan bullernivå och andel mycket störda fastställts (Fritschi m. fl., 2011). Nedan, se tabell 2, visas hur den tidsekvivalenta ljudnivån påverkar andelen mycket irriterade till följd av trafikbuller.

Tabell 2: Bullerexponeringsgrad för trafikbuller samt andel mycket irriterade (Fritschi m. fl., 2011)

L_{den} [dBA]	Andel trafikbullerexponerade av populationen [%]	Andel mycket störda av populationen [%]	Antal fall per miljon invånare
<55	50	2,77	13 835
55-59	17	8,16	13 868
60-64	19	12,96	24 621
65-69	9	20,08	18 068
70-74	4	30,25	12 100
>75	1	30,25 ¹	3 215
Total	100		85 517

3.4 Kognitiv nedsättning hos barn

Kognitiv nedsättning är inte klassad som en klinisk diagnos vilket försvårar fastställandet av bullrets påverkan (Fritschi m. fl., 2011). WHO har därför valt att definiera kognitiv nedsättning hos barn till följd av buller som *“Sänkning av den kognitiva förmågan hos barn i skolålder, vilken uppträder vid bullerexponering och under viss tid efter det att bullret upphört”*. Nedsättningen påverkar barnens läsförståelse, minne och uppmärksamhet. Dessa effekter kan vid bullerexponering under skoltimmar begränsa lärandet och på så sätt få livslånga följder (Fritschi m. fl., 2011).

WHO har granskat ett tjugotal studier på området och av dessa valt ut tre europeiska studier, utförda i totalt fem länder, England, Holland, Spanien, Tyskland och Österrike. Samtliga av dessa tre studier visar att buller mer eller mindre allvarligt påverkar barnens minne och två av studierna fann även kopplingar mellan buller och barnens läsförmåga (Fritschi m. fl., 2011). Resultatet visar också på att flygtrafikbuller kan vara mer skadligt än buller från vägtrafik. Dock rekommenderar WHO att betrakta trafikbuller på samma sätt som flygbuller även om källorna skiljer sig åt (Fritschi m. fl., 2011). Nedan, se tabell 3 har resultatet från studierna applicerats på den svenska befolkningen.

¹Över 75 dBA saknas data och andelen mycket störda antas därför vara lika stor som för 70-74 dBA-kategorin

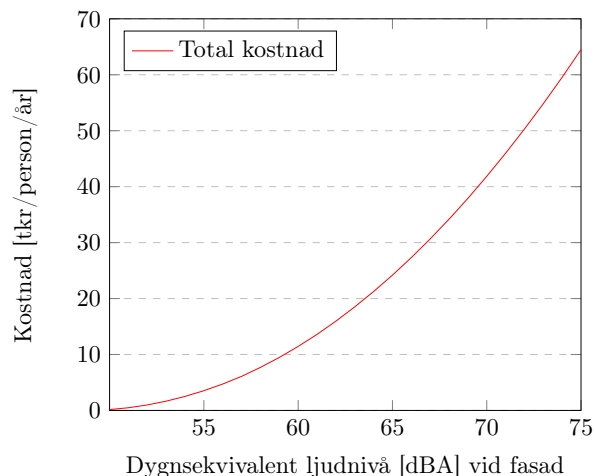
Tabell 3: Uppskattat antal barn mellan 7-19 år med kognitiva nedsättningar till följd av buller i Sverige år 2004 (Fritschi m. fl., 2011)

L_{dn}^2 [dBA]	Antal bullerexpo- nerade barn ³	Andel barn som kom- mer drabbas av nedsatt kognitiv förmåga [%]	Antal barn som kom- mer drabbas av ned- satt kognitiv förmåga
<55	1 012 817	0	0
55-65	282 993	20	56 599
65-75	163 838	50	81 919
>75	29 789	75	22 342
Total	1 489 437		160 859

3.5 Samhällsekonomiska effekter

Trafikverket definierar i rapporten *Analysmetod och Samhällsekonomiska Kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6* samhällsekonomi som att hushålla med samhällets samlade resurser (Trafikverket, 2016). Begreppet innefattar även samhällsekonomisk analys då samhällets investeringar i infrastrukturen utvärderas med hänsyn till vilka kostnader eller vinster de medför.

För att underlätta dessa analyser av investeringar och åtgärder i infrastrukturen har Trafikverket tagit fram verktyget ASEK 6 (Trafikverket, 2016). Versionen som används i denna studien är ASEK 6 och benämns hädanefter som ASEK. Verktygets metod för att uppskatta samhällsekonomiska kostnader till följd av buller baseras på jämförelse av data över bullernivåer och huspriser samt på värdet av antalet förlorade levnadsår till följd av hjärt- och kärlsjukdomar (Trafikverket, 2016). I ASEK presenteras en tabell över hur mycket en given bullernivå antas kosta samhället per person och år. Nedan, se figur 15, har värdena från denna tabell plottats med kostnad på y-axeln och ljudnivå på x-axeln. Grafen visar att kostnaden ökar exponentiellt med ljudnivån, vilket innebär att små ljudnivåsänkningar eller höjningar kan få en stor samhällsekonomisk effekt.



Figur 15: Kostnad för buller från vägtrafik vid vistelse i bullerutsatta områden år 2014 (Trafikverket, 2016)

²Dygnskvivalent ljudnivå i vilken ljud under natten viktats högre än ljud under dagen

³Data i tabellen avser effekter av flygbuller (Fritschi m. fl., 2011)

Även EU har utvecklat ett verktyg vars syfte är att möjliggöra samhällsekonomiska beräkningar av förändringar i infrastrukturen, *HEATCO (Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment)* (Bickel m. fl., 2006). HEATCO utvärderar den samhällsekonomiska kostnaden med hjälp av en så kallade Stated Preference-undersökning (Bickel m. fl., 2006). ASEK beräkningar grundar sig däremot på så kallade Revealed Preference-undersökningar (Trafikverket, 2016). Med Stated Preference menas att en fråga ställs angående hur mycket en individ hade varit villig att betala för en förbättring av till exempel ljudmiljön och utifrån detta så byggs ett samhällsekonomiskt värde av sagda förbättring upp (Bickel m. fl., 2006). Med Revealed Preference menas, i sammanhanget buller, att den samhällsekonomiska vinsten värderas utifrån huruvida värdet på hus sjunker eller stiger beroende på om bullernivån ökar eller minskar i ett område (Bickel m. fl., 2006).

Mikael Ögren, akustiker vid institutionen för medicin, avdelningen för samhällsmedicin och folkhälsa på Göteborgs Universitet, menar dock att även om verktygen kan ge en uppskattad total kostnad, är det jämförelsen av två förslag som ger mest tillförlitligt resultat. Utöver detta belyser han även vikten av att noggrant utvärdera åtgärdernas räckvidd. I områden med tät bebyggelse ligger ofta en stor del av den samhällsekonomiska vinsten i sänkningen av ljudnivån i närområdet och inte i direkt anslutning till källan. Detta beror på att antalet boende nära källan ofta är betydligt färre än det totala antalet vars ljudnivå sänks tack vare en viss åtgärd.

4 Lagar, riktlinjer och rekommendationer

Buller och bebyggelse regleras i Sverige både nationellt och lokalt. Följande kapitel innehåller en genomgång av de lagar, mål, föreskrifter och riktlinjer som berör buller. Vidare beskrivs även de myndigheter som arbetar med bullerfrågan.

4.1 Plan- och Bygglagen

Plan- och bygglagens syfte förklaras i plan- och bygglagen 1 kap. 1 § som ett sätt att styra samhällets utveckling mot en framtid där byggnation och planläggning tar hänsyn till den enskilda individens hälsa och välmående (SFS 2010:900, 2010). Detta ger sedermera plan- och bygglagen, PBL, möjligheten att förebygga människors utsatthet för buller genom reglering av var bebyggelse får ske i bullerutsatta områden. Detta enligt 2 kap. 5 § i PBL (SFS 2010:900, 2010).

PBL skriver också i 4 kap. 12 § att kommunen har rätt att i en detaljplan reglera högsta tillåtna värde för bullernivån om det finns särskilda skäl till detta (SFS 2010:900, 2010). I 8 kap. 4 § fastslås dessutom att ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper för att tillhandahålla ett skydd mot buller.

4.2 Miljöbalken

Miljöbalken trädde i kraft 1999 och ersatte de flertalet miljölagar som då gällde i Sverige (Nationalencyklopedin, u. å.). Miljöbalken 1 kap. 1 § anger att lagstiftningens syfte är att främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer tillförsäkras en hälsosam och god miljö.

Miljöbalken 12 kap. 9 § ger regeringen och myndigheter rätt att meddela föreskrifter som behövs till skydd för människors hälsa (SFS 1998:808, 1998). En föreskrift som är en följd av detta är Trafikbullerförordningen (SFS 2015:216, 2015).

4.3 Miljömål

Sveriges miljömål består av 16 stycken miljö kvalitetsmål och ett av dessa är *God Bebyggd Miljö* (Miljömål, u. å.-b). Denna kategori hanteras av Boverket (Miljömål, u. å.-a). Regeringen har med hjälp av tio underkategorier preciserat *God bebyggd miljö* ytterligare. Underkategorin *hälsa och säkerhet* berör bullerproblematiken som finns. Målet med denna underkategori beskrivs enligt Boverket som följer. Människor utsätts inte för skadliga luftföroreningar, kemiska ämnen, ljudnivåer och radonhalter eller andra oacceptabla hälso- eller säkerhetsrisker (Miljömål, u. å.-c).

4.4 Förrordningar

Plan- och byggförrordningen, PBF, innehåller bland annat bestämmelser om planer, områdesbestämmelser och krav på byggnadsverk. Ett krav i förrordningen som rör buller är avsnittet *Egenskapskrav avseende skydd mot buller* 3 kap. 13 §. Bland annat slår förrordningen fast att byggnader ska vara projekterade och färdigställda på ett sådant sätt att personer som vistas i eller i närheten av byggnaden inte ska besvärans av buller på ett sådant sätt att det utgör risk för deras hälsa, möjlighet till; sömn, vila eller arbetsro (SFS 2011:338, 2011).

Förrordningen om omgivningsbuller genomför Direktiv 2002/49/EG och ställer krav på Trafikverket och kommuner med mer än 100 000 invånare att kartlägga buller och uppföra åtgärdsprogram vart femte år (SFS 2004:675, 2004).

Förrordningen om trafikbuller vid bostadsbyggnader även kallad *trafikbullerförrordningen 2015* innehåller bestämmelser om riktvärden vid bostadsbyggnader och tar stöd i miljöbalken kap. 9 § 12 (SFS 2015:216, 2015).

Avsnittet *Buller från spårtrafik och vägar* innefattar riktvärden för trafikbuller vid bostadsbyggnad och redovisas som utdrag nedan:

Buller från spårtrafik och vägar

3 § Buller från spårtrafik och vägar bör inte överskrida

1. 60 dBA ekvivalent ljudnivå vid en bostadsbyggnads fasad, och
2. 50 dBA ekvivalent ljudnivå samt 70 dBA maximal ljudnivå vid en uteplats om en sådan ska anordnas i anslutning till byggnaden.

För en bostad om högst 35 kvadratmeter gäller i stället för vad som anges i första stycket 1 att bullret inte bör överskrida 65 dBA ekvivalent ljudnivå vid bostadsbyggnadens fasad.

Förrordning (2017:359).

4 § Om den ljudnivå som anges i 3 § första stycket 1 ändå överskrids bör

1. minst hälften av bostadsrummen i en bostad vara vända mot en sida där 55 dBA ekvivalent ljudnivå inte överskrids vid fasaden, och
2. minst hälften av bostadsrummen vara vända mot en sida där 70 dBA maximal ljudnivå inte överskrids mellan kl. 22.00 och 06.00 vid fasaden.

Vid en sådan ändring av en byggnad som avses i 9 kap. 2 § första stycket 3 a plan- och bygglagen (2010:900) gäller i stället för vad som anges i första stycket 1 att minst ett bostadsrum i en bostad bör vara vänt mot en sida där 55 dBA ekvivalent ljudnivå inte överskrids vid fasaden.

5 § Om den ljudnivå om 70 dBA maximal ljudnivå som anges i 3 § första stycket 2 ändå överskrids, bör nivån dock inte överskridas med mer än 10 dBA maximal ljudnivå fem gånger per timme mellan kl. 06.00 och 22.00.

(SFS 2015:216, 2015)

4.5 Boverket

Boverket är en förvaltningsmyndighet som arbetar med följande områden:

- Byggd miljö
- Hushållning med mark- och vattenområden
- Fysisk planering
- Byggande och förvaltning av bebyggelse
- Boende
- Bostadsfinansiering

(Boverket, u. å.-b)

För att underlätta för hur byggnadsverk bör uppföras för att följa PBL och rådande förordningar har Boverket gett ut BBR, *Boverkets byggregler*, som är en samling av föreskrifter och allmänna råd för byggande (Boverket, 2017a). Föreskrifter är regler som förtydligar lagar och förordningar, dessa måste efterlevas. Allmänna råd är endast rekommendationer (Boverket, u. å.-a).

Avsnitt 7 i BBR behandlar föreskrifter och allmänna råd för 3 kap. 13 § PBF, alltså kring hur bullernivån innanför husets fasad bör hanteras (Boverket, 2017b). I samma avsnitt, tabell 7:21c, beskrivs det att den ekvivalenta ljudnivån ej får överskrida 30 dBA i utrymmen avsedda för sömn, vila eller daglig samvaro (Boverket, 2017a). Det skrivs också att den maximala ljudnivån nattetid för dessa utrymmen är 45 dBA.

4.6 Naturvårdsverket

Naturvårdsverket är en statlig myndighet som samordnar miljöarbetet i Sverige (Naturvårdsverket, u. å.-b). Myndigheten är ansvarig för miljöfrågor och ger vägledning inom dessa samt ger ut tolkningar av miljöbalken (Naturvårdsverket, u. å.-b). Naturvårdsverkets rekommendationer i bullerfrågor består till stor del av riktvärden och riktlinjer för olika bullerkällor i samhället (Naturvårdsverket, u. å.-a). Riktvärdena är inte bestämda av Naturvårdsverket utan myndigheten enbart samlar lagstiftningen för att på ett enkelt och översiktligt sätt kunna samordna arbetet mot buller i Sverige. (Naturvårdsverket, u. å.-a)

4.7 Trafik för en attraktiv stad

Handboken, *Trafik för en attraktiv stad*, TRAST, är skapad i samarbete mellan Trafikverket, Boverket samt Sveriges kommuner och Landsting (Levander m. fl., u. å.). Skriften syftar till att fungera som ett planeringsverktyg på en övergripande nivå vid utformning av trafiksystem utifrån respektive stads egna förhållanden (Levander m. fl., u. å.). TRAST ger underlag för stadsbyggnadsåtgärder och samhällsplanering utifrån ett holistiskt perspektiv där det läggs stor vikt i att många parter ges möjlighet att vara en del av planeringsprocessens olika skeden. Vid utformning av trafiksystem bör alltså ett helhetsperspektiv användas där aspekter som mångfald, tillgänglighet, effektiv lokalisering samt hållbar utveckling alla ingår. Under den

sistnämnda aspekten bör social-, ekonomisk- samt ekologisk hållbarhet diskuteras för att bättre bemöta hållbarhetsutmaningarna inom samhällsplanering.

TRAST menar att om trafikfrågor, exempelvis val av transportsätt eller markanvändning, noggrant tas i beaktning tillsammans med en analys av stadskvalitéer kommer tätortens utveckling att gynnas (Levander m. fl., u. å.). Vid analys av stadskvalitéer viktas faktorer som tillgänglighet, trygghet, miljö- och hälsopåverkan samt stadens karaktär mot varandra för att undersöka hur de kan påverka varandra, positivt eller negativt.

4.8 Vägar och gators utformning

Trafikverket har tillsammans med Sveriges kommuner och landsting tagit fram VGU, regler för vägars och gators utformning (Trafikverket, 2015). VGU är det övergripande namnet för 3 olika styrande dokument som tillsammans bildar regelverket. Dessa dokument är Krav för Vägars och gators utformning, Råd för Vägars och gators utformning samt Vägars och gators utformning, Begrepp och grundvärden (Trafikverket, 2015). För Trafikverket är regelverket obligatorisk vid nybyggnation eller större nybyggnadsåtgärder, reglerna är inte tänkta att appliceras vid mindre åtgärder eller förbättringar. När det kommer till kommunernas användning av VGU kan regelverket ses som ett rådgivande verktyg. Krav för vägar och gators utformning behandlar områden som vägrum i landsbygd, gaturum i tätort, linjeföring och miljöåtgärder bland annat.

4.9 Lokala planer och riktlinjer i Göteborg

Göteborg är en stad med stora framtidsmål och står framför stor utveckling under kommande år. Staden ska gå från att vara en småstad till att bli en storstad där förvandlingen ska ske på ett hållbart sätt (Göteborg Stad, u. å.-f). I följande delkapitel beskrivs för Göteborg lokala strategier, mål och riktlinjer.

4.9.1 Stadsutveckling 2035

Idag och i många år framåt kommer Göteborg att genomgå en stor förändring då staden har målet att växa med nästan en tredjedel tills år 2035 (Göteborg Stad, u. å.-e). För att underlätta denna utveckling har tre strategidokument tagits fram för att stödja stadsutvecklingsprojektet 2035 (Göteborg Stad, u. å.-e). Dessa strategidokument består av en trafikstrategi, en utbyggnadsplanering samt en grönstrategi. Trafikstrategin antogs av Trafiknämnden den 6 februari 2014 och pekar ut 3 huvudmål samt genomförandepprinciper för dessa. Syftet är att kunna möta utmaningar gällande konkurrenskraft, ökat resande samt klimatpåverkan när fler verksamheter, besökare och invånare ska samverka på ett effektivt sätt i Göteborg.

4.9.2 Teknisk handbok Göteborg

Teknisk handbok, TH, för Göteborg innehåller samlade anvisningar för planering, projektering, byggande samt drift- och underhåll riktat till konsulter och entreprenörer som arbetar på uppdrag av trafikkontoret och park- och naturförvaltningen i Göteborg (Göteborg Stad, u. å.-g). VGU gäller för Göteborg Stad men kommunen kan välja att följa egna anvisningar och riktlinjer som passar de lokala visionerna för staden. Tanken med TH är således att anpassa arbetet som ska utföras till aktuell trafiksituation och platsens egna

förutsättningar, då standardlösningar sällan kan användas rakt av i verkligheten. Den tekniska handboken är utfärdad av Trafikkontoret samt Park- och naturförvaltningen i Göteborg stad, vilka även har mandat att godkänna eventuella avsteg från TH (Göteborg Stad, u. å.-g).

4.9.3 Vägledning för trafikbuller i planeringen

Göteborgs miljömål, trafikbullerförordningen samt PBL ligger alla till grund för vägledningsdokumentet *Vägledning för trafikbuller i planeringen* (Göteborg Stad, u. å.-l). Översiktsplanen från 2009 är även en del av grunden till vägledningen där de tre strategidokumenterna som utgör stadsutvecklingsprojektet 2035 ska stödja utvecklingen i enlighet med översiktsplanen. Vägledningsdokumentet är tänkt att användas vid förtätning av staden så att en god ljudmiljö för stadens invånare genereras där buller minskas och utvecklingen sker i enlighet med de styrande planeringsdokumenten (Knape & Karlsson, u. å.).

4.9.4 Miljömål

För att främja en god miljö har Göteborgs Stad med grund i de 16 nationella miljömålen tagit fram 12 egna miljömål som ska vara de som för göteborgssamhället är viktigast (Göteborg Stad, u. å.-c). Dessa 12 miljömål behandlar bland annat frisk luft, giftfri miljö och levande sjöar samt god bebyggd miljö. Miljömål nummer 1, god bebyggd miljö, består i sin tur av ett antal delmål, en attraktiv bebyggelsemiljö, minskade avfallsmängder och ökad resurshushållning, god inomhusmiljö samt god ljudmiljö. Delmålet god ljudmiljö formuleras av Göteborgs stad som:

Minst 90 procent av Göteborgs invånare har senast år 2020 en utomhusnivå vid sitt boende som understiger 60 dBA ekvivalentnivå vid utsatt fasad. Minst 95 procent av stadens förskolor och grundskolor har senast år 2020 tillgång till lekyta med högst 55 dBA ekvivalentnivå och samtliga stadsparker har senast år 2020 nivåer som ligger under 50 dBA ekvivalentnivå på större delen av parkytan.

(Göteborg Stad, u. å.-c)

Utifrån rådande situation bedömer Göteborgs Stad att delmålet är svårt att nå (Göteborg Stad, u. å.-c). Detta antas bero på att Göteborg är en stad där spårvagnar, bilar och bussar skapar mycket trafikbuller, vilket blir ett problem i de centrala delarna av staden där många människor idag bor och där antalet invånare förväntas öka kommande år (Göteborg Stad, u. å.-c). För att ha en möjlighet att klara målet behöver åtgärdsprogrammet mot buller för Göteborgs stad implementeras och följas. Att vid källan åtgärda orsaken till buller är också en viktig del för att uppnå beskrivet mål enligt Göteborgs Stad, i kombination med bullerskyddsåtgärder.

4.9.5 Åtgärdsprogram mot buller för Göteborgs Stad 2014-2018

I dagsläget är det beräknat att över 100 000 göteborgare är utsatta för trafikbuller vid sin bostad som överstiger 55 dBA (Göteborg Stad, u. å.-a). För att klara den planerade tillväxten behöver därför hänsyn tas till omgivningsbuller och dess effekt på människors hälsa. Detta omfattar områdena i och vid bostaden,

skolor och förskolor samt i rekreationsområden. Syftet med åtgärdsprogrammet är således att minska den negativa påverkan på göteborgarnas hälsa orsakad av omgivningsbullret samt att uppnå en god ljudmiljö inomhus och utomhus.

Förordningen om omgivningsbuller (SFS 2004:675) gör Göteborgs Stad skyldiga att ha ett åtgärdsprogram samt en kartläggning av buller för att minska omgivningsbullrets hälsoeffekter. Dessa måste även redovisas till Naturvårdsverket vart femte år. Åtgärdsprogrammet innehåller alltså en långsiktig strategi uppdelad i femårsintervall där beskrivning av planerade bullerminskande åtgärder samt hantering av buller ingår (Göteborg Stad, u. å.-a).

Åtgärdsprogrammet mot buller bygger på Göteborgs Stads lokala miljömål och specifikt delmålet *god ljudmiljö* (Göteborg Stad, u. å.-a). Med detta som övergripande vision är åtgärdsprogrammet i sig uppdelat i tre huvudområden; ny planering, bullerövervakning samt befintliga miljöer. Under dessa områden finns konkreta åtgärder presenterade i programmet i varierande storlek och omfattning.

Inför framtagandet av nästkommande åtgärdsprogram har förslag för nya utredningsområden fastställts i den nuvarande versionen, 2014-2018. Ett förslag är att utveckla samarbete och skapa nya plattformar för samarbete kring bullerfrågor med andra städer, forskningsinstitut eller högskolor (Göteborg Stad, u. å.-a). Ytterligare ett förslag är att skapa en förvaltningsövergripande arbetsgrupp för bullerfrågor. Åtgärdsprogrammet lyfter även ett förslag på att i staden testa olika bullerskyddsåtgärder. Exempelvis på aktuella åtgärder är innovativa åtgärder, hastighetssänkning samt gröna tak.

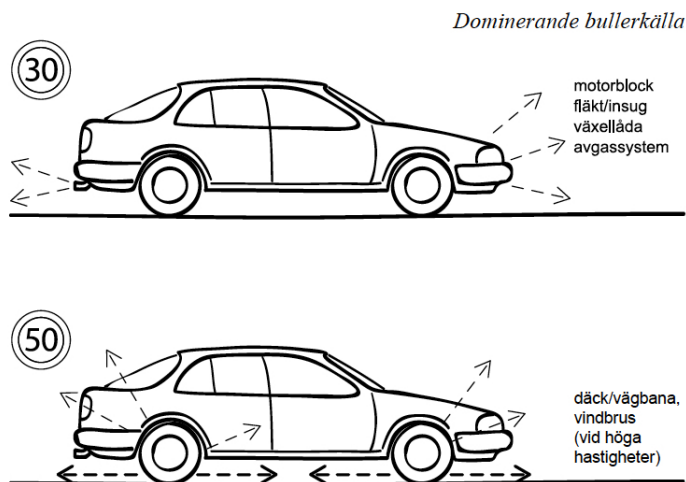
5 Bullerreducerande åtgärder

I kapitel 5 beskrivs bullerdämpande åtgärder och metoder som kan användas för att skapa en bra ljudmiljö i gaturummet. Åtgärderna som beskrivs är både konventionella åtgärder som används vid stadsplanering i dagsläget, samt nya, okonventionella åtgärder från forskningsprojekt som *URBAN SOUND PLANNING - the Sonorus project* och *HOSANNA, Holistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means*.

5.1 Emission av vägtrafikbuller

Vägtrafikbuller är buller som alstras från två huvudkällor, framdrivningsljud och däck-vägljud, där framdrivningsljud är ljudemission från fordonets motor, avgassystem och drivlina, och däck-vägljud alstras från däckfriktionen mot vägbanan och vindbrus från bilen (Boverket, 2008), se figur 16. I *Boverkets allmänna råd: Buller i planeringen – Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik*, anges och beskrivs ett flertal av faktorerna som påverkar trafikbulleremissionen:

- Trafikmängd
- Andel tunga fordon
- Körsätt
- Fordon
- Vägens stigning
- Fordonshastighet
- Vägbeläggningen



Figur 16: Alstring av trafikbuller (Boverket, 2008)

Arbetet med att dämpa trafikbullret kan således genomföras genom åtgärder riktade mot emissionskällan, utbredningsvägen eller skyddsåtgärder vid mottagaren, där åtgärder riktade mot emissionskällan är mest effektivt (Boverket, 2008). Åtgärder mot emissionskällan kan exempelvis vara minskad stenstorlek i vägbeläggningen, sänkning av fordonshastigheten eller förbud mot tung trafik (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

Sveriges Kommuner och landsting, SKL, anger i *Handbok i trafibullerkydd, Skapa goda ljudmiljöer* att om emissionsriktade åtgärder inte sänker bullret tillräckligt behöver skyddsåtgärder användas. Dessa skyddsåtgärder kan vara placerade nära källan, mellan källan och mottagaren eller vid mottagaren (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). En skyddsåtgärd är ofta en barriär som blockerar ljudets utbredningsväg eller en ljudreducerande fasadåtgärd (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

5.2 Beläggningar

Faktorer som påverkar ljudnivån på det emitterade däckljudet är fordonets däcktyp och vägbanans beläggning. Detta buller kan därför åtgärdas genom ingrepp i vägbeläggningen och med restriktioner av fordonens däcktyper (Åkerlöf Leif, 1998).

Några emissionsriktade bullerdämpande metoder för att minska det emitterade däck- vägljudet är:

- Standardbeläggning med mindre stenstorlek
- Tunn, tät, eller halvtät beläggning
- Porös eller dränerande beläggning

(Sveriges Kommuner och Landsting, 2017)

5.2.1 Standardbeläggning med mindre stenstorlek

Några standardbeläggningar som används är tät asfaltbetong, ABT, och stenrik asfaltbetong, ABS. ABT och ABS består av stenmaterial och bitumniöst bindemedel där stenstorleken och bindemedlet varierar utefter önskade egenskaper hos beläggningen (Trafikverket, 1994). En minskning av stenstorleken ger enligt SKL en sänkning av bullernivåerna men med en minskad stenstorlek ökar slitaget från dubbdäck på vägbeläggningen (Trafikverket, 1994). Detta medför en ökad underhållskostnad i form av tätare frekvens av omläggningar (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

5.2.2 Tunn, tät eller halvtät beläggning

Tunnskiktbeläggning har en bullerreducerande effekt som uppgår till ca 3 dBA och har en högre hållrumshalt än tät asfalt och en stenstorlek på 8-11 mm (Viman, 2015). SKL anger att tunn beläggnings bullerdämpande egenskaper ges av en mindre stenstorlek, öppen ytstruktur och slät beläggning. Det finns en risk att beständigheten hos tunn beläggning blir sämre än täta beläggningar om utförandet och proportionerna blir fel, men med fördelen att asfalten inte kräver underhållsrengöring i samma grad som andra porösa beläggningar (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

5.2.3 Porös eller dränerande asfalt

Dränerande asfaltbetong, ABD, är en dränerande porös vägbeläggning som släpper igenom vatten (Trafikverket, 1994). Dränerande asfaltbetong kallas även för porös beläggning och den porösa strukturen minskar luftpumpningar under däckens samt absorberar en viss del av ljudet (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

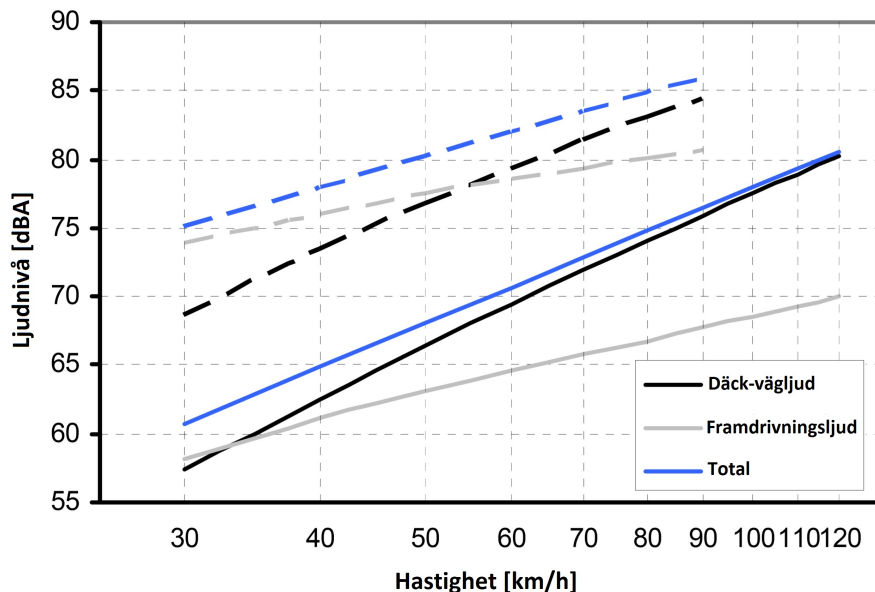
Dubbeldränerande asfalt ger en god bullerdämpande förmåga som kan uppgå till 10 dBA, men den buller-reducerande effekten kan minska snabbt med tiden på grund av en igensättning av porerna (Viman, 2015). Med en snabbare nedbrytning än tät beläggning är beläggningen känslig för dubbdäck och hög trafikmängd. Även klimat, hastighet och nedsmutsning påverkar effekten hos beläggningen (Viman, 2015). Således minskar den bullerdämpande effekten med tiden (Trafikverket, 1994).

I Nordisk beräkningsmodell finns en korrektionstabell för bullerdämpande vägbeläggningar (Vägverket & Naturvårdsverket, 1996). Korrektionstabellen är från 1996 och Ulf Sandberg från Statens väg- och transportforskningsinstitut anger i rapporten *Vägytans inverkan på trafikbulleremission och rullmotstånd* att korrektionstabellen är i behov av komplettering, då forskningen och arbetet inom området utvecklats (Sandberg, 2007). I rapporten presenteras en uppdaterad tabell med föreslagna korrektionsvärden. Sandberg påpekar att hastigheter under 40-60 km/h inte redovisas, då andra bullerkällor än däckljud är dominerande vid de hastigheterna och vägbeläggningen därmed inte ger samma bullerdämpande effekt (Sandberg, 2007).

Ulf Sandberg betonar i rapporten *Erfarenheter från bullerreducerande vägbeläggningar* att ett beslut att använda bullerreducerande beläggningar bör baseras på den samhällsekonomiska kalkylen och antalet närboende som berörs (Viman, 2015).

5.3 Fordonshastighetens påverkan på bullret

Hastigheten vilken ett fordon färdas i har en stor effekt på både framdrivningsljud och däck-vägljud. Generellt gäller att ju högre hastighet desto högre ljudnivå men vid lägre hastigheter har även använd växel och körstil stor påverkan (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). Nedan, se figur 17, visas hur framdrivningsljudet och däck-vägljudet påverkas av hastigheten för både lätta och tunga fordon. Grafen är dock förenklad och visar inte de ljudökningar som uppkommer vid växling.



Figur 17: Ljudnivå vid olika hastigheter för lätta (heldragna linjer) och tunga fordon (streckade linjer) (The Dutch Innovation Programme on noise mitigation, 2005)

Ur figuren kan utläsas att lägre hastigheter domineras det uppkomna bullret av framdrivningsljud och vid högre hastigheter bidrar istället däck-vägljudet mest. Vid vilken hastighet denna skärningspunkt uppstår skiljer sig mellan olika fordonstyper. För tunga fordon blir däck-vägljudet mest bidragande vid 50-60 km/h och för lätta fordon sker denna övergång mellan 30 och 40 km/h.

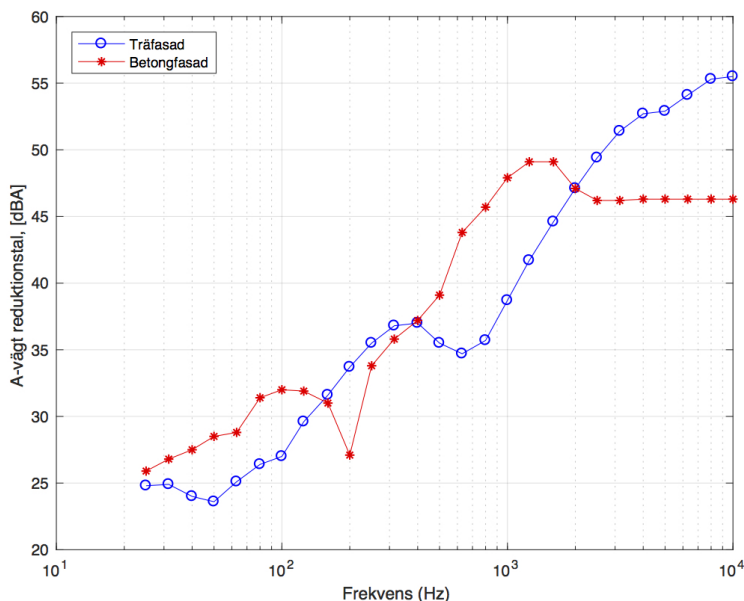
5.4 Elektrifiering som åtgärd

En omställning till en ökad mängd eldrivna bussar minskar framdrivningsljud från bussar (Sjöberg, Bergbrant & Börjesson, 2014). Skillnaden i buller mellan elbussar samt diesel- och gasbussar ligger främst i de lägre frekvensbanden (Göteborg Stad, u. å.-j). Inom forskning och utveckling i Göteborg finns det pågående projektet ElectriCity vilket är ett stort innovationsprojekt inom området hållbar mobilitet. Ett av projekten är Linje 55 vilket är en sträcka mellan Lindholmen och Johanneberg som trafikeras av elbussar vilken planeras ge information om hur elbussar fungerar i staden. Projektet ElectriCity är ett samarbete mellan många olika aktörer där företag, myndigheter, kommunen samt Chalmers tekniska högskola finns representerade (ElectriCity, u. å.-a).

5.5 Fasaders bullerreducerande förmåga

SKL skriver att fasadens skyddande förmåga beror på dess sammansättning (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). Vidare beskriver de att de dimensionerande komponenterna ofta är fönster och friskluftsventiler då dessa i regel har sämre bullerdämpande effekt än resterande delar av fasaden. Det är dock viktigt poängtera att det är en akustisk skillnad på tunga och lätta fasader, en betongfasad dämpar generellt mer än en träfasad (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). Nedan, se figur 18, presenteras två reduktionskurvor

för två olika fasadtyper. Den mindre påkostade fasaden består av trä, ett icke-ljudisolerande fönster och ett ljudisolerande luftintag. Den mer påkostade lösningen består av betong, ett väl ljudisolerat fönster och ett ljudisolerat luftintag. Denna data är hämtad ifrån studien *Suggested Facade Cases for Study of Sound Insulation Considering Wall, Window and Air Intake* (Forssén, 2014).



Figur 18: Grafen redovisar två reduktionskurvor. Träfasaden är en sämre ljudisolerad fasad och betongfasaden är en bättre ljudisolerad fasad.

5.6 Utformning av bullerskärm

Bullerskärmar är en typ av bullerdämpande skyddsåtgärd vars utseende och konstruktion kan variera (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). Detta kapitel beskriver olika typer av bullerskärmar.

5.6.1 Generell utformning av bullerskärm

SKL anger att en bullerskärm är en skärmanordning som används för att dämpa trafikbuller (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). SKL kopplar även skärmens bullerdämpade egenskaper till ljudreduktion och skärmdämpning, där skärmdämpning beskriver hur mycket bullernivån minskas av skärmens placering i förhållande till källan och bestäms därmed av hur mycket ljud som passerar förbi skärmen. Dimensionerande faktorer är därför skärmens höjd och bredd i längsled i förhållande till källan och den plats man vill skydda (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

SKL beskriver begreppet ljudreduktion som mängden ljud som hindras från att transmittas genom skärm-materialet. Andel transmitterat ljud påverkas av det materialval och materialets täthet. Några vanliga materialval är trä, betong, tegel och glas. I stadsmiljö med mycket reflektioner från omkringliggande fasader bör bullerskärmen bestå av ett ljudabsorberande material, exempelvis porös fiberbetong eller mineralull eller va-

ra växtbeklädd (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017). För att skärmen ska uppfattas som en förbättring bör den bullerdämpande effekten överstiga 5 dBA, enligt SKL (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017).

Öppningar i skärmen påverkar effekten betydande, dessa öppningar kan bland annat utformas genom överlappningar av bullerskärmen eller med portar (Åkerlöv Leif, 1998).

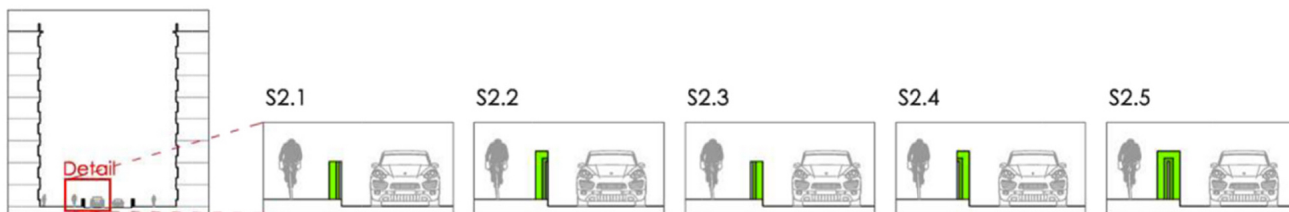
5.6.2 Låga barriärer

En låg barriär är en barriär vars bredd och höjd ej överstiger en meter och är en typ av bullerdämpande åtgärd som kan reducera bullernivån längs cykelvägar och trottoarer. För att barriären ska ha effekt bör mottagaren befinna sig minst en meter från barriären (HOSANNA partners, 2013). Enligt Projektet *HOSANNA - Holistic and Sustainable Abatement of Noise by optimized combinations of Natural and Artificial means* kan även bostäder och öppna områden i barriärens skuggzon påverkas positivt av denna åtgärd förutsatt att barriären placeras nära ljudkällan. Studien tar upp barriärer konstruerade på olika sätt och av olika material vilket påverkar den bullerreducerande effekten. I HOSANNA-studien undersöktes barriärer byggda alternativa material, exempelvis; naturliga fiber, mineralmaterial och porös lera. Ljudnivån kan med låga barriärer i urbana miljöer reduceras mellan 3-12 dBA med enligt HOSANNA. Värt att nämna är att redan existerande barriärer kan utrustas med växter på sin toppsida för att öka ljuddämpning (HOSANNA partners, 2013). Nackdelar med låga barriärer är den begränsade bullerreducerande effekten på högre våningsplan (Echevarria Sanchez, Van Renterghem, Thomas & Botteldooren, 2016), samt att de kan ge begränsad rörlighet och en avskärmande effekt i gaturummet (Sjöberg m. fl., 2014).

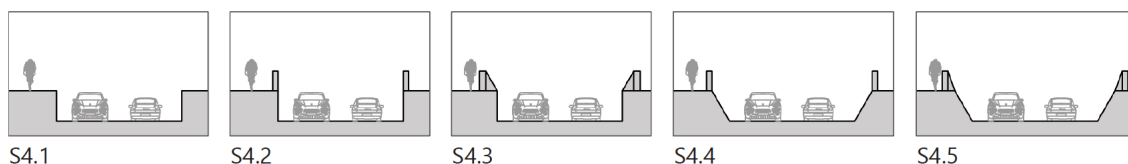
5.6.3 Åtgärder från URBAN SOUND PLANNING - the Sonorus project

I projektet *URBAN SOUND PLANNING - the Sonorus project* presenteras flertalet innovativa utformningar av gaturummet som kan användas för att kontrollera ljudmiljön i staden. I projektet undersöks den reducerande effekten av 0,66 meter höga barriärer vid en vägbana. Projektet visar att en barriär klädd med absorptionsmaterial på båda sidor, se figur 19, dämpar upp till 9 dBA vid de första våningsplanen. Vidare visar beräkningar att en vägbana nedsänkt 1,7 m i marken med lutande låga barriärer vid trottoarens kant, se figur 20, ger 9 dBA i bullerreducerande effekt på de lägsta våningsplanen och 1,5 dBA i bullerreducerande effekt på högsta våningen. Om de vägghållande väggarna lutar samt med lutande barriärer på kanten av vägen är den reducerande effekten 11,1 dBA på de första våningsplanen och 2 dBA på de övre våningsplanen (Echevarria Sanchez m. fl., 2016). Se bilaga B för medelvärde av ljudnivån vid fönster för de två fallen.

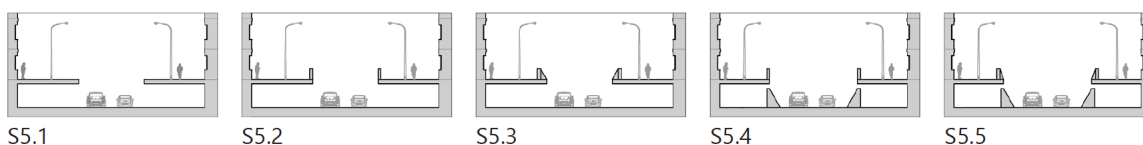
I Sonorusprojektet har det även visats att uppdelning av gatan i två plan, se figur 21, har en positiv effekt på bullernivåerna, dock främst för de lägre våningsplanen (Echevarria Sanchez m. fl., 2016). En utformning med två vägplan och raka barriärer ger en dämpning på 9,5 dBA vid de lägre våningsplanen. Om barriären lutar ökar dämpningen till 10,1 dBA, se bilaga B. En placering av lutande vägghållande väggar ger inte samma effekt som vid en nedsänkt vägbana, och i Sonorus dras slutsatsen att två vägplan med lutande barriär anses vara en effektiv åtgärd som ger en utmärkande bullerreducering både för gångtrafikaner och vid fasad, med goda möjligheter till parkering under trottoaren (Echevarria Sanchez m. fl., 2016).



Figur 19: Låga barriärer med absorbenter (Echevarria Sanchez m. fl., 2016)



Figur 20: Nedsänkning av vägbanan (Echevarria Sanchez m. fl., 2016)



Figur 21: Uppdelning av vägbanan i två plan (Echevarria Sanchez m. fl., 2016)

5.7 Minskad trafikmängd som bullerreducerande åtgärd

Mängden trafik påverkar ljudnivån. Nedan, se tabell 4 visas en rad olika procentuella trafikmängdsändringar samt dess effekt på ljudnivån. En fördubbling av trafikmängden ökar ljudnivån med 3 dBA och en halvering resulterar i en ljudnivåsänkning med 3 dBA. Ändringarna förutsätter oförändrad andel tunga och lätta fordon samt hastighet.

Tabell 4: Trafikmängdens påverkan på ljudnivån (Sveriges Kommuner och Landsting, 2017)

Trafikmängds- ändring [%]	-75	-50	-25	0	+25	+50	+100
Ljudnivåförändring i dBA	-6	-3	-1	0	1	2	3

5.8 Växtbeklädnad som åtgärd

Jord, vegetation, naturmaterial och återvunnet material kan användas för att sänka trafikbullernivån (HOSANNA partners, 2013). Projektet HOSANNA har undersökt just detta, med syfte att utveckla en verktygslåda för att minska störningar från trafikbuller i utomhusmiljöer (HOSANNA partners, 2013).

HOSANNA-studien visar att plantering av träd i gaturummet kan ge en förbättrad ljudnivå på gångvägar och vid fasader. På gator flankerade av höga hus kan det uppstå reflektioner mellan fasaderna, vilket kan höja trafikbullernivån i gaturummet (HOSANNA partners, 2013). Reduceringen av trafikbuller sker på två sätt, omdirigering (reflektion, spridning och diffraktion) eller absorption av ljudet (HOSANNA partners, 2013). Det bör dock tas i beaktning att träd och växtlighet inte enbart bör ses som en metod för reduktion av ljudnivå utan kan även bidra till ökad biologisk mångfald, upptag av CO₂ samt förbättrat utseende enligt studien. Det är alltså en viktig del av stadsplanering att ge utrymme för vegetation i olika former. Se figur 22 för illustration av kombinationslösning innehållande träd och låg barriär.



Figur 22: Låga barriärer kombinerat med plantering av träd. Illustrationer av Tove Hennix (HOSANNA partners, 2013)

Användning av växtlighet på fasader och tak är ytterligare ett alternativ för att arbeta med reduktion av trafikbuller enligt HOSANNA-studien. Fortsättningsvis kommer detta benämnas gröna fasader och gröna tak. Gröna fasaders effektivitet beror av variabler som bredd på gaturum, placering av vegetation samt den för bullret utsattes position (HOSANNA partners, 2013). Studien menar även att den absorberande och spridande effekten främst återfinns vid medelhöga samt höga frekvenser, vilket innebär att effektiviteten hos den gröna fasaden är därmed lägre vid låga frekvenser. Beräkningar i studien visar att gröna fasader kan ge en reduktion av trafikbullret på 2-3 dBA på höjd 1,5-4 meter vid fasaderna. Detta gäller för ett fall beräknat med 19 meter höga fasader på båda sidor av vägbanan med båda fasaderna är helt klädda i växtlighet jämfört med helt oklädda fasader (HOSANNA partners, 2013).

Att använda gröna fasader kan även göras på de fasader som inte är riktade mot trafikerad väg, exempelvis innergårdar. Denna typ av åtgärd kan vara ett komplement till åtgärder närmare källan men kan även reducera oljud som uppstår på innergården (HOSANNA partners, 2013). Gröna fasader på innergårdar har en bullerreducerande förmåga som har högst effekt på ljud med höga frekvenser. Beräkningar i studien visade att en sänkning av 4 dBA kan erhållas på hela innergården vid 1.5 meters höjd från marken samt 4 dBA längs med samtliga fasader. Detta gäller om samtliga väggar på innergården är gröna jämfört med fallet utan gröna fasader på innergården.



Figur 23: Gröna innergårdar. Illustrationer av Tove Hennix (HOSANNA partners, 2013)

5.9 Markbehandlingar

I figur 24 illustreras en bullerdämpande åtgärd som behandlas i studien HOSANNA. Åtgärden består av placering av små objekt, i rader eller i gitter, på släta och akustiskt hårda ytor (HOSANNA partners, 2013). Studien visar att denna metod förändrar ljudreflektionen och därmed minskar de frekvenser där störningar finns. För en konfiguration av element med höjden 0.3 meter samt bredden 2 meter kan en bullerreducering på minst 3 dB genereras, 10 meter från vägbanan.



Figur 24: Grova element. Illustrationer av Tove Hennix (HOSANNA partners, 2013)

6 Nuvarande buller- och trafiksituation på Gibraltargatan

Kapitlet ger en beskrivning av den nuvarande och framtida trafik- och bullersituationen på Gibraltarvallen.

6.1 Trafiksituation på Gibraltarvallen

Delsträckan Chalmers Tvärgata – Engdahlgatan på Gibraltargatan trafikeras varje dygn av cirka 7700 fordon enligt statistik från 2014 (Göteborg Stad, u. å.-i). Detta är ett medelvärde av dygnsflöderna i ett gatusnitt för alla helgfria måndagar-fredagar under ett år (Göteborg Stad, u. å.-h). Av dessa 7700 fordon är 580 av typen tung trafik, vilket syftar på fordon med en vikt över 3,5 ton. Medelhastigheten för samma sträcka var 42 km/h. Maxtimme trafiken, den största trafikmängden under en timme på eftermiddagen (Göteborg Stad, u. å.-h), i riktning mot centrum var samma år 420 bilar/timme och från centrum 390 bilar/timme (Göteborg Stad, u. å.-i).

I Göteborg beräknas det totala antalet resor öka med 27 % mellan åren 2011 och 2035 (Göteborg Stad, u. å.-k). Det långsiktiga målet för staden är att det hållbara resandet ska öka vilket innebär att resandet till fots, med cykel och med kollektivtrafik ska öka medan resandet med bil ska minska. För att hantera det ökande resandet har två effektmål formulerats i trafikstrategin (Göteborg Stad, u. å.-j). Effektmål 1 för resor är att år 2035 sker minst 35% av resorna till fots eller med cykel (Sofia Hellberg, 2014). Enligt Trafikstrategin innebär effektmål 2 för resor att minst 55 % av de motoriserade resorna sker med kollektivtrafik senast år 2035. Den sammanlagda tolkningen av effektmålen genererar mål för färdmedelsfördelning enligt tabell 5.

Tabell 5: Färdmedelsfördelning 2011, nuläge och målar 2035, procent (Göteborg Stad, u. å.-j)

Mål: Ökad andel hållbara resor				
	Bil [%]	Kollektivt [%]	Cykel [%]	Till fots [%]
2011 basår	48	25	5	22
2017 nuläge	45	28	6	20
2035 mål	29	36	12	23

6.2 Nordisk beräkningsmodell

All information i följande delkapitel baseras på Nordisk beräkningsmodell del 1 (Naturvårdsverket & Vägverket, 1996b) och Nordisk beräkningsmodell del 2 (Naturvårdsverket & Vägverket, 1996a). Modellen använder sig av två huvudsakliga mätetal för att beskriva buller, L_{Aeq} , den A-vägda tidsekvivalenta ljudnivån och L_{AFmax} , den A-vägda maximala ljudnivån. Dessa två mätetal beräknas som summor av utgångsvärdet, L_1 och gällande korrektioner, ΔL_i , se ekvation 13 och 14.

$$L_{Aeq} = L_1 + \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 \quad (13)$$

$$L_{AFmax} = L_{1max} + \Delta L_{1max} + \Delta L_{2max} + \Delta L_{3max} + \Delta L_{4max} \quad (14)$$

Utgångsvärdet är det av trafiken skapade bullret och beskrivs i modellen som det odämpade värdet på ett avstånd på 10 m från vägens mittlinje. Korrektionerna ändrar utgångsvärdet och är av fyra typer, korrektion för avståndsdämpning, mark- och skärmdämpning, övriga korrektioner och fasadkorrektion.

Följande parametrar används av modellen och påverkar således utfallet.

- Trafikflödet av de två kategorierna lätta respektive tunga fordon
- Mätt medelhastighet, om den är känd, eller en antagen hastighet
- Avståndet till vägens mittlinje
- Vägbanans höjd över omgivande mark
- Skärmars läge och höjd
- Skärmars tjocklek
- Mottagarpunktens läge i förhållande till omgivande mark och vägbanan eller skärmar
- Markytans beskaffenhet (hård eller mjuk)

Om olika akustiska förhållanden råder längs den betraktade sträckan, delas denna in i delsträckor vars ljudnivå beräknas var för sig. Resultatet från dessa delsträckor summeras sedan till en slutgiltig ljudnivå. Nedan beskrivs de sex delsteg som ingår i beräkning av L_{Aeq} . De delsteg som ingår i beräkning av L_{AFmax} kommer ej att beskrivas då mätetalet inte utvärderas i studien.

6.2.1 Beräkning av L_{Aeq}

Steg 1 - L_1 , Utgångsvärde

Utgångsvärdet beräknas som den odämpade ljudnivån på ett 10 m vinkelrätt avstånd från vägbanans mittlinje. Parametrar som påverkar är medelhastighet samt antal tunga respektive lätta fordon under tidsperioden som granskas.

Steg 2 - ΔL_1 , Korrektion för avståndsdämpning

Om avståndet till mottagaren är kortare/längre än 10 m beräknas den korrektion det förändrade avståndet ger. Korrektionen är beroende av två parametrar, det vinkelräta avståndet mellan vägbanans mittlinje och mottagaren samt den vertikala höjdskillnaden mellan källan och mottagaren.

Steg 3 - ΔL_2 , Mark- och skärmdämpning

Vid beräkning av denna korrektionsfaktor behöver tre parametrar tas i beaktning, skärmarnas utformning, reflektionsplan samt markytans beskaffenhet (hård eller mjuk). Reflektionsplanet är en approximerad yta vars syfte är att beskriva hur ljudet reflekteras när det möter marken. Vid användande av bullerdämpande skärmar krävs två reflektionsplan, ett innan skärmen och ett efter (i förhållande till källan).

Steg 4 - ΔL_3 , Övriga korrektioner

Övriga korrektioner innefattar korrektioner för skärmens tjocklek, vägyta och däcktyp, kringliggande vegetation, vägens stigning, olika typer av multipelreflexer, reflektion från enstaka ytor, kort avstånd till vägen, vinkelområde och skärmning och spridning bland omkringliggande hus.

Steg 5 - ΔL_4 , Fasadkorrektion

Fasadkorrektionen är differensen mellan ljudtrycksnivån utanför och innanför fasaden och beror av tre faktorer, den använda fasadens reduktionstal, arean på rummets yttervägg och rummets ekvivalenta ljudabsorber

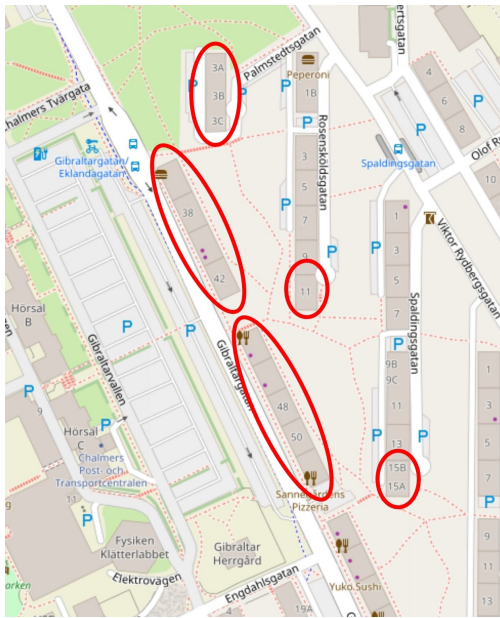
tionsarea. Ljudabsorptionsarean approximeras som 32% av rummets totala volym.

Steg 6 - Eventuell summering av bidrag från delsträckor.

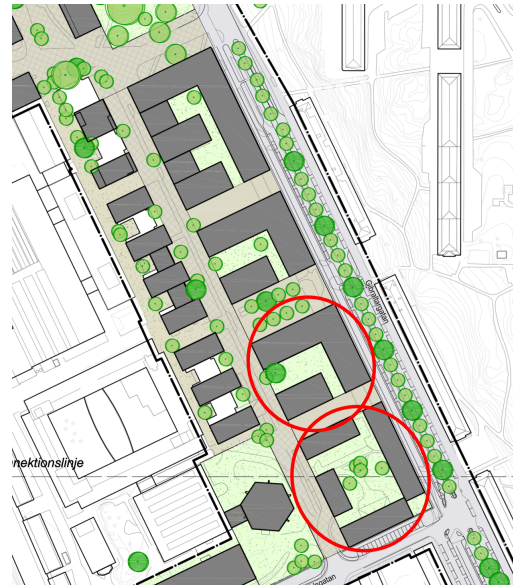
6.2.2 Beräkningsgång i Nordisk beräkningsmodell

För att möjliggöra uppskattning av den tidsekvivalenta ljudnivån vid ett stort antal utspridda mätpunkter utfördes samtliga beräkningar i Matlab. Beräkning av ljudnivån för referensfallet, det vill säga nuvarande gatuutformning där även tilltänkta bostäder är inkluderade, gjordes med hjälp av Göteborgs Stads uppmätta trafikdata från år 2014 på delsträckan Chalmers tvärgata - Engdahlskatan. De befintliga byggnader vars ljudnivå vid fasaden beräknats är fastigheterna på Gibraltargatan 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50 och 52, Palmstedtsgatan 3A, 3B och 3C, Rosensköldsgatan 9 och 11 samt Spaldingskatan 13, 15, 15A och 15B, se figur 25. Anledningen till att dessa adresser valts är att de i Göteborgs Stads bullerberäkning är utsatta för ljudnivåer över 50 dBA vid fasaden (Göteborg Stad, u. å.-m). Nedan följer en genomgång av vilka antaganden som gjorts och vilka korrektioner som använts för respektive fall. För fullständiga program med tillhörande funktionsfiler, se bilaga C.

Samtliga av de befintliga fastigheterna antas ha genomgående lägenheter och av denna anledning beräknas endast ljudnivån på den sida av fasaden till fastigheterna som vetter mot Gibraltargatan. Detta antagande görs då annan information saknas. Av de tilltänkta och inte är uppförda byggnaderna beräknades ljudnivåerna för markerade kvarteren, se figur 26. För dessa fastigheter beräknas även ljudnivån längs sidogatan mellan dem samt på innergårdarna, detta då lägenheterna i byggnaden är icke genomgående. Övriga tilltänkta byggnader exkluderas då väsentlig data som exempelvis antal våningar och lägenhetsutformning saknas. I samtliga beräkningar antas trafiken längs Gibraltargatan vara den enda bullerkällan och inga andra källor beaktas. Eftersom vägen har en viss lutning på delsträckan används korrektion för denna stigning i alla beräkningar. I de fall där indelning i delsträckor är nödvändig antas att framföriggande byggnader som agerar tjocka skärmar har en oändlig längd i en riktning längs Gibraltargatan. Exempelvis antas skärmarna (de framföriggande husen), i delsträcka 2 och 3 vid beräkning längs sidogatan på de tilltänka husen, oändligt långa, se figur 27.



Figur 25: Befintliga fastigheter vars fasadljudnivå beräknas (© OpenStreetMaps bidragsgivare, u. å.)



Figur 26: Tilltänkta byggnader vars ljudnivå vid fasaden beräknas (White arkitekter AB för Stadsbyggnadskontoret, 2015)

De befintliga lägenheterna längs Gibraltargatan (Gibraltargatan 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50 och 52) antas ha akustiskt likartade förhållanden då de befinner på snarlikt avstånd från vägen och har samma antal våningar. För dessa lägenheter placeras därför endast sju mätpunkter ut, en per våningsplan samt en på 1,7 meters höjd, tre meter ut från fasaden. Den sista punkten är tänkt att undersöka den av en fotgängare upplevda ljudnivån. Ljudnivåerna vid dessa punkter antas gälla för samtliga bostäder längs delsträckan. Utöver stigningskorrektionen används endast korrektion för avstånd.

Fastigheten på Palmstedtsgratan 3A, 3B och 3C är vinklad i förhållande till Gibraltargatan samt ligger på ett krön vilket försvårar beräkningarna. Fastighetens placering gör att beräkningsavstånden och vinkelområdena för varje mätpunkt skiljer sig åt och slutningen framför byggnaden resulterar i att hänsyn till eventuell markdämpning måste tas. Dessutom täcks delar av Gibraltargatan, sett från Palmstedtsgratan, av framföriggande hus vilka agerar tjocka skärmar och en indelning i delsträckor är därför nödvändig. Korrektioner som används för denna fastighet är, korrektion för vinkelområde, korrektion för mark- och skärmdämpning samt korrektion för tjocka skärmar.

Byggnaderna på Rosensköldsgatan 9 och 11 samt Spaldingsgratan 13, 15, 15A och 15B har likartade akustiska förhållanden och i beräkningarna antas de akustiska förhållandena identiska. I båda fall sker en indelning i delsträckor, detta eftersom framföriggande hus som delvis täcker Gibraltargatan agerar tjocka skärmar. Korrektionerna som tagits hänsyn till i beräkningarna är, korrektion för vinkelområdet, korrektion för mark- och skärmdämpning, korrektion för tjocka skärmar samt korrektion för avstånd.

Ljudnivån på fasaden, vilken vetter mot Gibraltargatan, tillhörande de fastigheter som är tänkta att uppföras beräknas på samma sätt som ljudnivån på lägenheterna längs Gibraltargatan. I detta fall används dock åtta mätpunkter istället för sju, eftersom byggnaderna har ytterligare ett våningsplan. Samma korrektioner används men då mätpunkterna befinner sig längre bort från vägen vilket påverkar resultatet.

Beräkning av ljudnivån på fasaderna vilka vetter mot byggnadernas innergård och fasaderna längs sidogatan mellan de två nya kvarteren är dock mer komplicerade. Vid beräkning längs sidogatan delas Gibraltargatan in i tre delsträckor, då dessa har akustiskt olika förhållanden. Delsträcka ett innefattar den del av Gibraltargatan som är synlig från mottagarpunkterna och delsträcka två och tre är sträckorna till höger respektive vänster om delsträcka ett, se figur 27. För delsträcka ett används endast korrektion för vinkelområdet och korrektion för sidogator. För sträcka två och tre används samma korrektioner samt ytterligare korrektioner för den mark- och skärmdämpning vilken uppstår tack vare omkringliggande byggnader samt korrektion för tjocka skärmar (omkringliggande byggnader agerar skärmar).



Figur 27: Delsträckor markerade med svarta pilar (White arkitekter AB för Stadsbyggnadskontoret, 2015)

Sidogatan mellan kvarteren är cirka 50 meter lång och delas in i sex lika stora sektioner i horisontell led, där sektion 1 är närmast Gibraltargatan. För varje sektion placeras 7 mätpunkter ut i vertikal led vilket ger en total på 42 mätpunkter per fasad längs sidogatan. Gatorna vilka löper vid sidan av kvarteren och parallellt med sidogatan antas ha samma ljudnivåer som på själva sidogatan. Ytterligare ett antagande som gjorts är att sidogatan är helt stängd och saknar öppningar mot innergården.

I beräkningarna på innergårdarna exkluderas bidrag från omkringliggande gator då ljudet från Gibraltargatan antas vara akustiskt dominerande. Den korrektion som tas hänsyn till är korrektion för multipelreflexer i slutna gårdsrum. Då ingen korrektion för avstånd bör användas i samband med korrektion för multipelreflexer i slutna gårdsrum fås samma resultat på alla våningsplan på en viss fasad. Eftersom denna korrektion har en stor osäkerhet och ger grova uppskattningar av den faktiska ljudnivån antas båda innergårdar ha samma akustiska förhållanden och får därmed samma ljudnivå.

6.2.3 Resultat från beräkningarna i Nordisk beräkningsmodell

Nedan presenteras samtliga resultat från beräkningarna i Nordisk Beräkningsmodell. Tabell 6 visar den beräknade ljudnivån på fasaderna på de befintliga byggnaderna och tabell 7 och 8 visar resultatet för olika fasader på de tilltänkta kvarteren.

Tabell 6: Ljudnivå vid fasaden mot Gibraltargatan på befintliga byggnader

	Gibraltargatan ⁴ [dBA]	Palmstedts-gatan ⁵ [dBA]	Rosenskölds-gatan ⁶ [dBA]	Spaldings-gatan ⁷ [dBA]
Fotgängare	64,30			
Våning 1	62,77	52,23	54,51	54,51
Våning 2	62,37	52,67	54,49	54,49
Våning 3	61,80	52,94	54,45	54,45
Våning 4	61,18	52,91	54,40	54,40
Våning 5	60,58	52,88	54,35	54,35
Våning 6	60,01	52,84	54,29	54,29
Våning 7		52,78	54,22	54,22
Våning 8		52,75	54,15	54,15

För Rosensköldsgatan, Spaldingsgatan och Palmstedts-gatan är tabellerade värden medelvärden av ljudnivån på våningsplanet.

Tabell 7: Ljudnivå vid olika fasader på de tilltänkta kvarteren

	Innergård, del 1 ⁸ [dBA]	Innergård, del 2 ⁹ [dBA]	Fasad mot Gibraltargatan [dBA]
Fotgängare	51,95	41,17	62,05
Våning 1	51,95	41,17	61,09
Våning 2	51,95	41,17	60,90
Våning 3	51,95	41,17	60,59
Våning 4	51,95	41,17	60,21
Våning 5	51,95	41,17	59,81
Våning 6	51,95	41,17	59,39
Våning 7	51,95	41,17	58,99

Multipelreflexerna mellan byggnaderna längs sidogatan gör att ljudnivåskillnaderna i vertikal riktning blir små. Värdena som presenteras i tabell 8 är medelvärden av ljudnivåer på våning 1-7 för varje sektion.

Tabell 8: Ljudnivå vid olika sektioner längs fasaden i sidogatan mellan tilltänkta kvarter

	Sidogatan mellan nybyggda kvarter [dBA]
Sektion 1	56,15
Sektion 2	52,71
Sektion 3	49,89
Sektion 4	47,53
Sektion 5	45,51
Sektion 6	43,74

⁴ Avser Gibraltargatan 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52

⁵ Avser Palmstedts-gatan 3A, 3B och 3C

⁶ Avser Rosensköldsgatan 9 och 11

⁷ Avser Spaldningsgatan 13, 15, 15A och 15B

⁸ Del 1 avser de delar av fasaden vilka täcker den halva av innergården som är närmast Gibraltargatan

⁹ Del 2 avser de delar av fasaden vilka täcker den halva av innergården som är längst bort från Gibraltargatan

7 Val av åtgärdsförslag

Från de bullerreducerande åtgärder beskrivna i kapitel 5, föreslås i kapitel 7 flera olika gatusektioner för att sänka bullernivån i referensfallet beskrivet i kapitel 6 som utgångspunkt.

7.1 Tillvägagångssätt för val av åtgärder

Vägbanan har i samtliga åtgärdsförslag placerats på samma position i gatukanalen, detta för att göra beräkningar och resultat så jämförbara som möjligt. Då samtliga presenterade åtgärdsförslag i senare skede kräver stora beräkningar för kartläggning av effekt och påverkan på samhällsekonomi, begränsas antalet förslag till fem. Var och en av dessa fem åtgärdsförslag innehåller en eller flera åtgärder presenterade i kapitel 5.

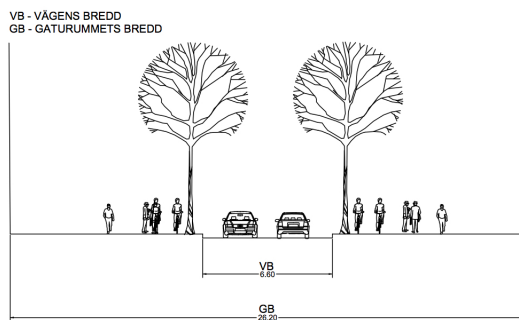
Skyddsåtgärder som verkar vid mottagaren har exkluderats, eftersom dessa begränsar byggherrens utformning av fastigheten. Detta innebär att åtgärden gröna lösningar, såsom gröna tak och gröna fasader, på byggnader längs Gibraltarvallen inte inkluderas som åtgärd i gatusektionerna. Gröna lösningar kan troligtvis fungera som ett bra komplement till framtagna åtgärder men detta utvecklas ej.

7.2 Åtgärdsförslag

Framtagna åtgärdsförslag presenteras nedan i form av förslag på gatusektioner.

7.2.1 Gatusektion 1

Gatusektion 1 innehåller en vägbana och en trädallée. En gång och cykelbana skild från vägbanan finns även på vardera sida om vägbanan, se figur 28. Åtgärder inkluderade i detta förslag är en sänkning av hastighet från 42- till 30 km/h samt elektrifiering av all tung trafik längs sträckan.

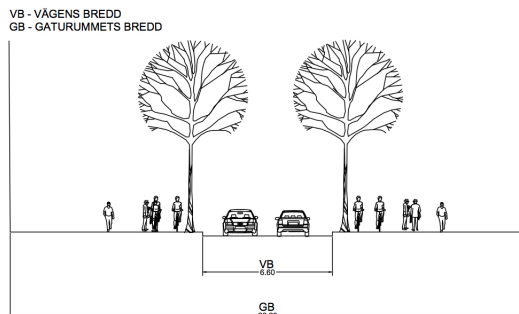


Figur 28: Gatusektion 1

Gatusektionen är ett alternativ som inte påverkar eller drastiskt förändrar gaturummets utseende. En sänkning av hastigheten eller omställning till elektriska fordon kräver ingen direkt ekonomisk investering i gatan. Åtgärderna är emissionsriktade och ger en bullerreducerande effekt i hela gaturummet.

7.2.2 Gatusektion 2

Rent visuellt är Gatusektion 2 mycket lik Gatusektion 1, se figur 29. I denna gatusektion har en dubbel-dränerande porös beläggning ersatt standardbeläggningen skelettasfalt ABS 16 mm. Den dubbel-dränerande porösa beläggningen är av typen dubbel HABD, hålrum 18-21%, 7-9/16 mm D:o 1-2 år, se bilaga A, rad nr 24b. Längs sträckan på Gibraltargatan är det 7.5 % tung trafik och en medelhastighet på 42 km/h och därmed gäller korrektionsvärdet för 6-19 % tung trafik och 40-60 km/h.

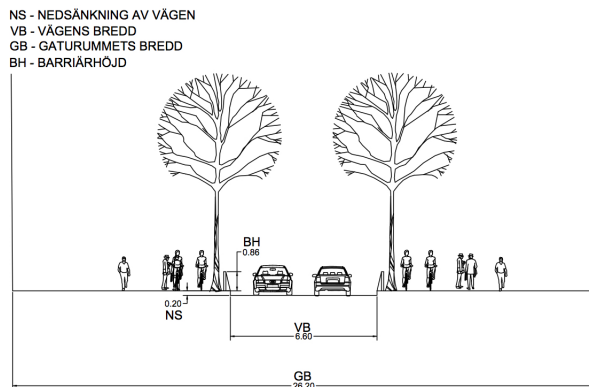


Figur 29: Gatusektion 2

Gatusektionen är ett alternativ som inte förändrar gaturummets utseende. Den dubbel-dränerande porösa beläggningen är en emissionsriktad åtgärd och sänker därmed bullernivån över hela gaturummet. Nackdelen är ett stort underhållsbehov av beläggningen och att den bullerreducerande effekten minskar med tiden.

7.2.3 Gatusektion 3

Gatusektion 3 innehåller en vägbana med en trädallé. En gång och cykelbana skild från vägbanan finns även på vardera sida om vägbanan. Åtgärd inkluderad i detta förslag är två 0,86 meter höga barriärer beklädda med absorbenter och en vägbana nedsänkt 0,14 m. Barriärens höjd är under 1 meter och klassas alltså som typen låg barriär. Se figur 30.

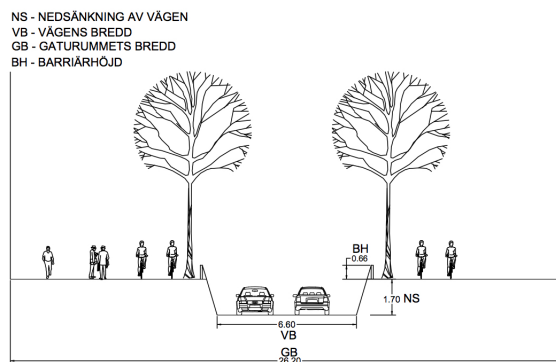


Figur 30: Gatusektion 3

Dessa barriärer är fördelaktiga då den låga höjden på barriären inte antas innebära ett visuellt hinder för övriga trafikanter i gaturummet (Sjöberg m. fl., 2014). Barriärerna påverkar främst ljudnivån på de lägre våningsplanen och för fotgängare. Nackdelar med låga barriärer är som tidigare nämnt den begränsade bullerreducerande effekten på högre våningsplan, samt den begränsade rörligheten och barriärskapande effekten i gaturummet.

7.2.4 Gatusektion 4

Gatusektion 4 består av en nedsänkt vägbanan kantad av låga barriärer samt trädreder på båda sidor. Vägbanan är nedsänkt 1,7 meter i marken med lutande, väghållande väggar. Barriärernas höjd är 0,66 meter och har en 20 graders lutning mot vägbanan. En gång och cykelbana mellan fasad och trädallé är placerad på vardera sida om vägen, se figur 31.



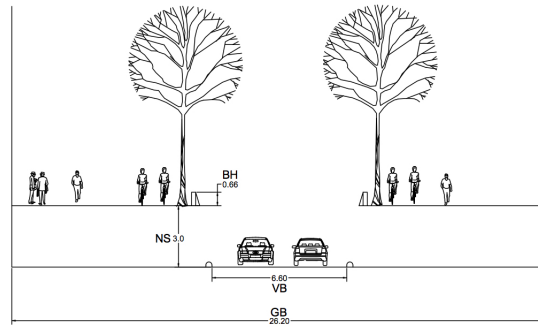
Figur 31: Gatusektion 4

En fördel med denna lösning är att nedsänkningen av vägen i kombination med lutande, väghållande väggar är en effektiv skyddsåtgärd mot trafikbuller. Gatusektionen har även ett antal nackdelar, den nedsänkta vägbanan skapar svårigheter när vägbanan behöver nås eller korsas samt hindrar parkeringsmöjligheter.

7.2.5 Gatusektion 5

Gatusektion 5 består av en gata uppdelad i två plan. Det nedre planet ger plats för vägbanan och det övre planet ger plats för gång- och cykelbanor. Längs med kanten mot öppningen på det övre planet finns låga barriärer samt trädreder placerade på båda sidor. Barriärerna är 0,66 meter höga och har en lutning på 20 grader ned mot kanten på det övre planet, se figur 32.

NS - NEDSÄNKNING AV VÄGEN
VB - VÄGENS BREDD
GB - GATURUMMETS BREDD
BH - BARRIÄRHÖJD



Figur 32: Gatusektion 5

Fördelarna med detta åtgärdsförslag är dess goda bullerreducerande effekter längs med hela fasaden. En nedsänkning av vägbanan och uppdelningen till två plan ger även mer utrymme i gaturummet för gång- och cykeltrafikanter. Möjlighet för parkering finns även i det nedre planet. Nackdelar med denna åtgärd är svårigheten med implementation i urban miljö samt möjliga svårigheter vid korsning av gatan.

8 Utvärdering av åtgärdsförslag

Kapitlet beskriver utvärderingen av åtgärdsförslagen presenterade i kapitel 7. Åtgärdsförslagen utvärderas med avseende på bullerreducerande förmåga, kostnad och samhällsekonomisk påverkan. Metod och beräkningsmodell använd för utvärdering av bullerreducerande förmåga är även beskriven i detta kapitel.

8.1 Tillvägagångssätt för utvärdering

En utvärdering av åtgärdsförslagens bullerreducerande förmåga utförs genom en jämförelse av ljudnivåerna för referensfallet mot ljudnivåerna beräknade för respektive åtgärdsförslag. Gatusektion 1 och 3 utvärderas med hjälp av Nord2000, övriga gatusektioner beräknas med hjälp av förenklade modeller.

En samhällsekonomisk analys beräknas genom en jämförelse av de samhällsekonomiska kostnaderna för referensfallet samt samhällsekonomiska kostnader för de ljudnivåer för respektive gatusektion. Kostnaderna kartläggs för de olika åtgärderna. Denna kostnad jämförs även mot den besparing ett eventuellt fasadbyte resulterat i.

En sammanfattande jämförelse av de olika åtgärderna görs slutligen där följande aspekter tas i beaktning: bullerreducerande förmåga, samhällsekonomisk vinst samt kostnad.

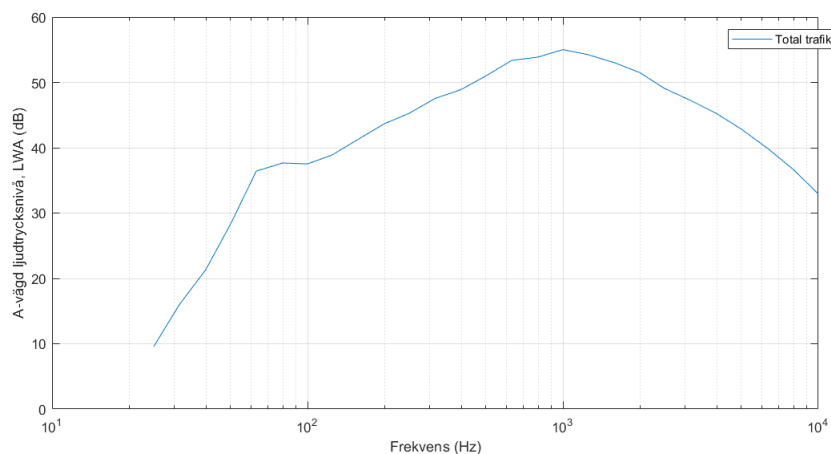
8.2 Nord2000

Nord2000 är en nyare och mer avancerad beräkningsmodell än dess föregångare Nordisk beräkningsmodell (Kragh, Jonasson, Plovsing & Sarinen, 2006). 1996 bestämde det nordiska ministerrådet att inleda utvecklingen av en ny generation beräkningsmodell för buller. Detta på grund av de vetenskapliga framsteg som gjorts sedan Nordisk beräkningsmodell publicerades under 1970- och 1980-talet (Kragh m. fl., 2006). Nord2000 har ingen koppling till Nordisk beräkningsmodell, den är helt fristående med nyare källjudsberäkningar och ljudutbredningsmodeller.

Nord2000 är betydligt bättre än dess föregångare i det avseende att den kan beräkna situationer där den äldre modellen inte var applicerbar (Kragh m. fl., 2006). Den nyare modellen kan användas till att göra beräkningar för L_{eq} i antingen ett A-vägt värde eller som spektral data i 1/3-oktavband, också känt som tersband, tersband och A-vägning beskrivs i kapitel 2.3. Modellen gör skillnad på däck- och motorljud, samt vilken typ av fordon som färdas på vald väg. Metoden ger således möjlighet att ändra koefficienter för däcktyp och vägbeläggning. Detta ger en träffsäker bild av vilka frekvenser som är mest framträdande och underlättar på så sätt valet av bullerreducerande åtgärd. Modellen möjliggör även beräkningar i olika väderlekar vilket kan användas för att beräkna en årsmedelljudnivå för ett område.

Anledningen till att Nord2000 används parallellt med Nordisk beräkningsmodell är att det går att skapa en frekvensfördelning för att tydligt se vilka frekvenser som kommer vara dominerande efter fasadreduktion och ljudreduktion till följd av föreslagen åtgärd i gaturummet. För väggar och låghöjdsbarriärer finns även reduktionstal som följer en frekvensfördelning vilket leder till att en tillförlitlig ljudnivå kan beräknas vid fasaden och innanför fasaden.

Grundljudnivån för varje intressant punkt är beräknad med Nordisk beräkningsmodell, se sektion 6.2. Därefter skapas ett så kallat källspektra i Nord2000. Spektrumet är en fördelning av ljudnivåer vid olika tersband. Spektrat tar hänsyn till lätta och tunga fordon, hastighet, samt antal axlar på de tunga fordonen. Spektrumet anpassas till den beräknade ljudnivån vid noder så att summan av ljudnivåerna i varje tersband blir samma som den beräknade nivån. Se figur 33 för källspektra för den trafiksituation som råder på Gibraltargatan. För fullständiga beräkningar, se Matlabkod i bilaga C.



Figur 33: Källspektra anpassat till aktuell trafiksituation på Gibraltargatan. Spektrumet är passat till 62.9 dBA

8.3 Beräkningsgång för samtliga gatusektioner

Gatusektionerna beräknas olika beroende på typen av tillgänglig data. För Gatusektion 1 har ett reduktionstal beräknats i Nord2000. I Gatusektion 2 används tabullerade värden för tyst asfalt. För Gatusektion 3 används frekvensberoende reduktionstal för både fasad och låghöjdsbarriär. För Gatusektion 4 och 5 används höjdberoende reduktionstal hämtade från HOSANNA.

Inomhusljudnivån är beräknad som fasadljudnivån minus reduktionstalsspektran, sedan adderas 3 dBA. Detta görs enligt *Svensk Standard 25267:2015 Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen - Bostäder* (Svensk Standard 25267:2015, 2015).

8.3.1 Beräkningsgång för gatusektion 1

Vid beräkning av den bullerreducerande effekten för gatusektion 1 används matlabprogram enligt bilaga C. Med hjälp av matlabprogrammet beräknas först en referensljudnivå ut för hastigheten 42 km/h. Därefter justeras hastigheten till 30 km/h och motorljudet från de tunga, numera eldrivna, motorerna antas bidra med såpass låga ljudnivåer att de kan exkluderas från beräkningarna. Detta leder till att en ny ljudnivå erhålls. Differensen mellan dessa båda ljudnivåer ger den bullerreducerande effekten för gatusektion 1. Denna åtgärd är emissionsriktad och antas dämpa ljudnivåer lika mycket vid samtliga mätpunkter.

8.3.2 Beräkningsgång för gatusektion 2

Beräkningen sker för värden ett år efter nylagd beläggning. Värdet i tabellen i bilaga A används som en korrektionsfaktor för referensbeläggning ABS skelettasfalt 16 mm. Vid beräkning av ljudnivån på fasad efter åtgärd används referensljudnivån beräknad i Nordisk beräkningsmodell. Korrektionsvärdet för den dubbeldrainerande asfalten subtraheras från tidigare beräknade referensljudnivå och den nya ljudnivå för gatusektion 2 erhålls. Denna åtgärd är emmissionsriktad och antas dämpa ljudnivåer lika mycket vid samtliga mätpunkter.

8.3.3 Beräkningsgång för gatusektion 3

I beräkningarna för gatusektion 3 har väggar och låghöjdsbarriärer reduktionstalsspektran. För att beräkna den slutgiltiga ljudnivån efter alla åtgärder reduceras källspektrat med dessa åtgärdsspektran. Resultatet blir en tersbandsuppdelad ljudnivå där det går att utläsa vilka frekvenser som upplevs som mest störande. Tersbanden kan sedan adderas för att läsa ut entalsvärdet L_{Aeq} , se bilaga C.

I beräkningarna är L_{Aeq} både inomhus och på fasaden relevanta. Nivån på fasaden kommer användas till de samhällsekonomiska beräkningarna, och inomhusvärdet kommer användas till att jämföra en lätt och en tung fasads bullerdämpande förmåga.

8.3.4 Beräkningsgång för gatusektion 4 och 5

För de åtgärder som är hämtade från The Sonorous Project finns endast tillgång till ett entalsvärde som reduktionstal. Detta leder till att för dessa åtgärder beräknas ljudnivån efter åtgärden på följande sätt. Vid beräkningar av ljudnivåer efter åtgärd från The Sonorous Project blir beräkningarna enklare men inomhusljudnivåernas tersbandsfördelning blir mindre tillförlitliga då det inte går att se vilka frekvenser som åtgärderna reducerar mest. Ljudnivån efter åtgärd blir den ljudnivå som beräknats vid fasaden minus åtgärdens reduktionstal. Reduktionstalet är inte frekvensberoende men varierar med mottagarhöjden. Åtgärderna antas vara tillräckligt effektiva för att ljudnivåerna på fasaderna för kringliggande bebyggelse med Gibraltargatan som dominerande ljudkälla sänks till den bakgrundsljudnivå som gäller för området. Denna nivå är enligt miljöförvaltningens bullerkarta 50 dBA (Göteborg Stad, u. å.-m).

8.4 Beräkningsresultat för ljudnivåer

Följande resultat presenteras i tabellform där noder motsvarar mottagarpunkter för byggnader parallellt med Gibraltargatan. Se tabell 9 för beskrivning av positionerna för de noderna som valts att studeras.

Tabell 9: Beskrivning av noder

Nod	Adress	Mottagarhöjd [m]	Horisontellt avstånd ¹⁰ [m]
1	Gibraltargatan 36-52 ¹¹	3	10,5
2	Gibraltargatan 36-52	6	10,5
3	Gibraltargatan 36-52	9	10,5
4	Gibraltargatan 36-52	12	10,5
5	Gibraltargatan 36-52	15	10,5
6	Gibraltargatan 36-52	18	10,5
7	Gibraltarvallen ¹²	3	15,7
8	Gibraltarvallen	6	15,7
9	Gibraltarvallen	9	15,7
10	Gibraltarvallen	12	15,7
11	Gibraltarvallen	15	15,7
12	Gibraltarvallen	18	15,7
13	Gibraltarvallen	21	15,7

Noderna 7-13 är beräknade enligt den senast tillgängliga planlösningen tillhandahållen i personlig kommunikation med Mikael Lindberg, Akademiska Hus, med det avsteg att plan 1 i beräkningarna antas vara bostadsplan istället för entréplan.

Utöver de noder som angivits finns fler mätpunkter där ljudnivån kan förändras till följd av implementeringen av olika åtgärdsförslag. De mätområden som är aktuella är markerade med röda cirklar i figur 25 och figur 26. Gibraltarvallen syftar på de tilltänkta kvarteren. De mätpunkter utöver de byggnader som löper parallellt med Gibraltargatan som har en adress benämns med denna som sitt nodnamn, och de mätpunkter som tillhör de tilltänkta kvarteren som vetter mot sidogator och innergårdar samlas under beteckningen övrig bebyggelse.

Antaget är för Gatusektion 1, 4 och 5, att; bullerdämpningen för respektive åtgärd passas till fasadjudnivåerna från referensfallet så att den nya fasadjudnivån blir 50 dBA. Detta gäller endast för adresserna: Spaldningsgatan 13 och 15, Rosensköldsgatan 9 och 11, Palmstedsgatan 3.

8.4.1 Beräkningsresultat för gatusektion 1

Gatusektion 1 behandlar lösningar som inte påverkar områdets utseende. Dessa inkluderar en sänkning av hastigheten och omställning från konventionella förbränningsfordon till eldrivna fordon för tung trafik. Dessa åtgärder sänker bullret vid källan och sänker således bullernivåerna i hela området bortsett från de platser där bakgrundsljudnivån blir dimensionerande. Beräknad ljudnivåsänkning för beskrivna åtgärder redovisas i tabell 10. I tabell 11 visas ljudnivån innan och efter införande av ovan nämnda åtgärder för samtliga noder.

¹⁰Avståndet gäller från mitten av vägen till fasadens yta

¹¹Avser fasaden mot vägen på de befintliga byggnaderna jämna nummer längs Gibraltargatan, gäller för nod 1-6

¹²Avser fasaden vilken vetter mot Gibraltargatan på de tilltänkta kvarteren, avser nod 7-13

Tabell 10: Dämpning för gatusektion 1

	Hastighetssänkning till 30 km/h	Omställning till eldriven tung trafik	Totalt
Ljudnivåsänkning [dBA]	2,81	2,94	5,75

Tabell 11: Dämpning för noderna, gatusektion 1

Nod	Ursprunglig ljudnivå [dBA]	Dämpning [dBA]	Fasadljudnivå efter åtgärd [dBA]
1	62,78	5,75	57,03
2	62,37	5,75	56,62
3	61,8	5,75	56,05
4	61,18	5,75	55,43
5	60,58	5,75	54,83
6	60	5,75	54,25
7	61,09	5,75	55,34
8	60,9	5,75	55,15
9	60,59	5,75	54,84
10	60,21	5,75	54,46
11	59,81	5,75	54,06
12	59,39	5,75	53,64
13	58,99	5,75	53,24
Spaldningsgatan 13 och 15	54-55	4-5	50
Rosensköldsgatan 9 och 11	54-55	4-5	50
Palmstedsgatan 3	52-53	2-3	50
Övrig bebyggelse	52-56	2-5,75	50

8.4.2 Beräkningsresultat för gatusektion 2

Likväl som för gatusektion 1 sänker åtgärden bullret vid källan och sänker således bullernivåerna i hela området bortsett från de platser där bakgrundsljudnivån blir dimensionerande. Beräknad ljudnivåsänkning för beskrivna åtgärder redovisas i tabell 12.

Tabell 12: Dämpning för Gatusektion 2

Nod	Ursprunglig ljudnivå [dBA]	Dämpning [dBA]	Fasadljudnivå efter åtgärd [dBA]
1	62,78	2	60,78
2	62,37	2	60,37
3	61,8	2	59,9
4	61,18	2	59,18
5	60,58	2	58,58
6	60	2	58
7	61,09	2	52,09
8	60,9	2	58,9
9	60,59	2	58,59
10	60,21	2	58,21
11	59,81	2	57,81
12	59,39	2	57,39
13	58,99	2	56,99
Spaldningsgatan 13 och 15	54-55	2	52-53
Rosensköldsgatan 9 och 11	54-55	2	52-53
Palmstedsgatan 3	52-53	2	50-51
Övrig bebyggelse	52-56	2	50,25-54

8.4.3 Beräkningsresultat för gatusektion 3

Gatusektion 3 avser låghöjdsbarriärer med höjden 0,86 meter och en vägbana placerad 0,14 meter under trottoarkanten. Låghöjdsbarriärer antas endast dämpa ljudnivåerna på de två lägsta våningsplanens fasader på de byggnader som löper parallellt med Gibraltargatan, samt dess sidogator. På dessa antas bullerdämpningen i sidogatan vara lika stor som på fasaden. Ljudnivåerna på de bakomliggande byggnaderna med adresserna Palmstedsgatan 3, Rosensköldsgatan 9 och 11 samt Spaldningsgatan 13 och 15, antas vara oförändrade då den direkta siktlinjen mellan deras fasader och vägen ej bryts av den låga barriären. Antaget är också att ljudnivåerna på de planerade byggnadernas innegårdar inte ändras.

Då spektral data för bullerdämpande åtgärd och fasad finns tillhand för denna gatusektion beräknas även inomhusnivån. Inomhusljudnivån beräknas för två olika fasader, en lätt fasad av trä och en tung fasad av betong.

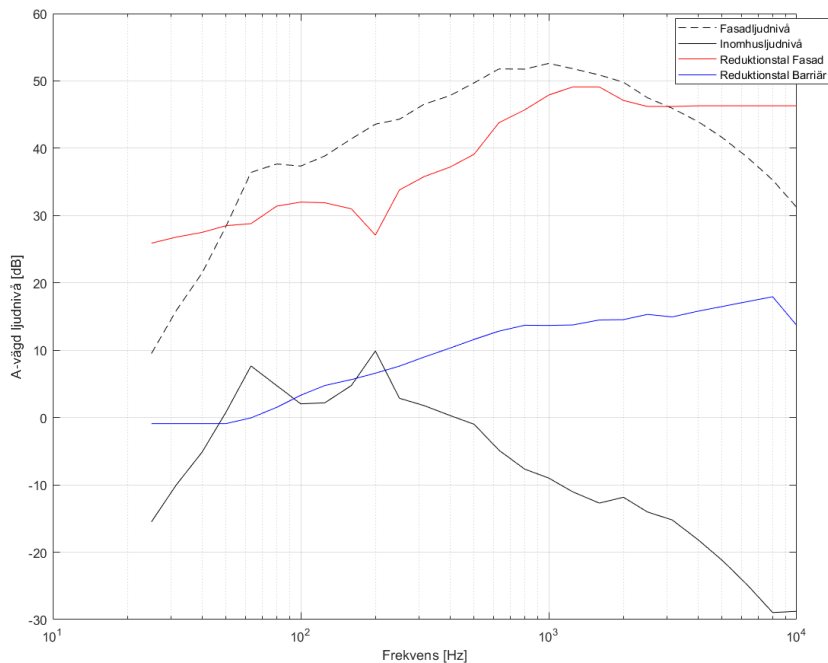
Värt att notera är att fasader är kraftigt beroende av byggnadsuppförande och att verkliga data skiljer sig från laborationtestade fasader. Detta tas ej hänsyn till i beräkningarna för inomhusljudnivå. Den beräknade dämpningen presenteras i tabell 13.

En stor fördel med de låga barriärerna är hur dessa påverkar ljudnivån i gaturummet. Ljudnivån utan åtgärder vid 1,5 meters höjd är 64,3 dBA för Gibraltargatan 36-52 och 62,1 dBA för Gibraltarvallen. En bullerdämpande låghöjdsbarriär sänker denna nivå med 11,2 dBA respektive 11,8 dBA.

Tabell 13: Dämpning för gatusektion 3

Nod	Ursprunglig ljudnivå [dBA]	Dämpning [dBA]	Fasadljudnivå efter åtgärd [dBA]	Inomhusljudnivå lätt fasad av trä [dBA]	Inomhusljudnivå, tung fasad av betong [dBA]
1	62,77	11,2	51,57	21,62	18,92
2	62,37	2,75	59,62	25,18	21,76
3	61,80	0	61,80	27,82	25,27
4	61,18	0	61,18	27,21	24,65
5	60,58	0	60,58	26,6	24,04
6	60,01	0	60,01	26,03	23,48
7	61,09	11,74	49,35	20,15	18,14
8	60,90	5,58	55,32	21,72	18,27
9	60,59	0	60,59	26,61	24,06
10	60,21	0	60,21	26,24	23,68
11	59,81	0	59,81	25,83	23,28
12	59,39	0	59,39	25,42	22,86
13	58,99	0	58,99	25,01	22,45
Övrig bebyggelse	52-56	5,58-11,74	50	-	-

Nedan följer ett exempel på hur beräknade ljudnivåkurvor med källljudsspektra samt reduktionstalsspektra för både fasad och läghöjdsbarriär kan se ut. Se figur 34.



Figur 34: Spektral data för Nod 7.

8.4.4 Beräkningsresultat för gatusektion 4

Gatusektion 4 ger utöver en ljuddämpande effekt på fasaderna närmast vägen även en bullerreducering på kringliggande bebyggelse.

Byggnaderna med Gibraltargatan som dominerande bullerkälla antas reduceras till den bakgrundsljudnivå som gäller för området. Denna är utläst till 50 dBA från den tillgängliga bullerkartan från miljöförvaltningen. Detta gäller de bakomliggande byggnaderna med adresserna Palmstedsgatan 3, Rosensköldsgatan 9 och 11 samt Spaldningsgatan 13 och 15, där ljudnivån vid fasaden varierar mellan 52-55 dBA. Dämpningen för samtliga noder visas i tabell 14.

Bullerreduceringen för de byggnader som löper parallellt med Gibraltargatan är hämtade från The Sonorous Project (Alves, Altreuther, Scheuren, Kropp & Forssén, 2016), dessa värden varierar med höjden men är inte beroende av frekvens vilket drar ned detaljnivån än värdena i Gatusektion 3.

Tabell 14: Dämpning för gatusektion 4

Nod	Ursprunglig ljudnivå [dBA]	Dämpning [dBA]	Fasadljudnivå efter åtgärd [dBA]
1	62,78	9	53,78
2	62,37	4,5	57,87
3	61,8	3	58,8
4	61,18	3,5	57,68
5	60,58	3,5	57,08
6	60	2	58
7	61,09	9	52,09
8	60,90	4,5	56,40
9	60,59	3	57,59
10	60,21	3,5	56,71
11	59,81	3,5	56,31
12	59,39	2	57,39
13	58,99	1,5	57,49
Spaldningsgatan 13 och 15	54-55	4-5	50
Rosensköldsgatan 9 och 11	54-55	4-5	50
Palmstedsgatan 3	52-53	2-3	50
Övrig bebyggelse	52-56	1,5-9	50-54,5

8.4.5 Beräkningsresultat för gatusektion 5

På samma sätt som i gatusektion 4 ger gatusektion 5 en ljuddämpande effekt på kringliggande bebyggelse. Fasadljudnivån för de byggnader som är indirekt berörda av bullret från Gibraltargatan kommer sänkas till 50 dBA.

Tabell 15: Dämpning för gatusektion 5

Nod	Ursprunglig ljudnivå [dBA]	Dämpning [dBA]	Fasadljudnivå efter åtgärd [dBA]
1	62,78	9	53,78
2	62,37	5,3	57,07
3	61,8	3,6	58,2
4	61,18	3,2	57,98
5	60,58	2,9	57,68
6	60	2,4	57,6
7	61,09	9	52,09
8	60,60	5,3	55,30
9	60,59	3,6	56,99
10	60,21	3,2	57,01
11	59,81	2,9	56,91
12	59,39	2,4	56,99
13	58,99	2	56,99
Spaldningsgatan 13 och 15	54-55	-	50
Rosensköldsgatan 9 och 11	54-55	-	50
Palmstedsgatan 3	52-53	-	50
Övrig bebyggelse	52-56	2-9	50-54

8.4.6 Beräkningsresultat för gaturummet

Mottagarhöjden 1,7 meter används för att ge ett representativt värde för den bullerdämpande effekten för fotgängare. Ljudnivån för fotgängare skiljer sig åt i de olika gatusektionerna. En reducerad ljudnivå i gatuplanet är önskvärt då detta bidrar till en mer attraktiv stadsmiljö.

Den östra sidan av Gibraltargatan är den sida med befintliga byggnader, och den västra sidan av Gibraltargatan är mot den sida som de nya byggnaderna planeras byggas. Nedan, se tabell 16, presenteras ljudnivån för fotgängare efter implementering av åtgärdsförslagen i gatusektion 1-5.

Tabell 16: Ljudnivåer i gatuplan

Åtgärd	Ljudnivå fotgängare östra sida [dBA]	Ljudnivå fotgängare västra sida [dBA]
Ingen åtgärd	64,3	62,05
Gatusektion 1	58,55	56,3
Gatusektion 2	62,3	60,05
Gatusektion 3	53,1	50,3
Gatusektion 4	51,78	50,09
Gatusektion 5	51,78	50,09

8.5 Samhällsekonomisk beräkning

För att möjliggöra samhällsekonomisk analys av åtgärdsförslagen kommer verktyget ASEK användas. Detta beslut har tagits i samråd med Mikael Ögren, akustiker vid Institutionen för medicin, avdelningen för samhällsmedicin och folkhälsa, Göteborgs Universitet.

För att utföra tillförlitliga samhällsekonomiska beräkningar med hjälp av ASEK behöver antal boende i området uppskattas. Detta görs i två steg. Första steget är att uppskatta antalet boende på varje befintlig och berörd adress, vilket gjordes med hjälp av eniro.se. Adresserna som ligger till grund för analysen är, Gibraltargatan 36-52, Spaldingsgatan 15A och 15B, Palmstedtsgatan 3A, 3B och 3C, samt Rosensköldsgatan 9 och 11. Lägenheterna på dessa adresser antas vara genomgående, vilket innebär att samtliga boende på adresserna kommer att utsättas för bullernivån vid fasaden vilken vetter mot Gibraltargatan. Steg två innefattar de bostäder som fortfarande inte är byggda. För dessa bostäder görs en uppskattning av antalet boende baserad på det planerade antalet bostäder. Denna uppskattning baseras på Svebys rapport *Brukarindata bostäder*. I rapporten presenteras bland annat schablonvärden för antal boende i lägenheter med ett, två, tre och fyra rum och kök (SVEBY, 2012).

Antal nybyggda lägenheter på Gibraltarvallen kommer enligt nuvarande detaljplan vara totalt 350 st (Göteborg Stad, 2015b). Av detaljplanen framkommer att 150 st kommer stå på mark ägd av Göteborg Stad, 200 st av Akademiska Hus. Mikael Lindberg, projektledare hos Akademiska Hus, har tillhandhållit ett utkast för deras första kvarter av tre på Gibraltarvallen, se kvarter ett i figur 35.



Figur 35: Byggnader vilka ligger till grund för ASEK-beräkningar (White arkitekter AB för Stadsbyggnadskontoret, 2015).

Utkastet lyfter fram tre olika alternativ för hur bostadsytan i kvarteret ska delas upp mellan olika lägenhetstyper. I den samhällsekonomiska beräkningen kommer endast ett av alternativen undersökas då förslagen är beräkningsmässigt snarlika. Alternativet innefattar 142 enkelrum, 72 dubbellägenheter och 36 kollektivrum. Då det inte finns någon data för hur många personer som generellt bor i ett kollektivrum antas detta värde vara en person per rum. Detta innebär att det kommer bo cirka 355 personer i kvarteret.

Utkastet för fastigheten består av åtta våningar men de beräkningar som har utförts i Nord2000 och Nordisk beräkningsmodell har beräkningar på sju våningar utförts. Därav har utkastets entréplan ersatts med det första bostadsplanet och hädanefter benämns plan 2 som plan 1 och så vidare. För information om antal lägenheter per våning se tabell 17.

Tabell 17: Lägenheter per våningsplan i kvarter 1

Våning	Enkellägenheter	Dubblettlägenheter	Kollektivrum
1-3	22	16	6
4-6	22	8	6
7	10	0	0

Det kvarteret som byggs på den mark som ägs av Göteborg Stad, se kvarter två i figur 35, antas ha samma utformning och storlek som det kvarter som uppförs av Akademiska Hus. Antal boende i området antas dock vara lägre då det planeras för ett färre antal lägenheter. Därav minskas antalet boende i kvarteret med 71 personer, alltså antas 284 personer bo i området. Detta är det antal som erhålls då 50 enkellägenheter plockas bort från Akademiska Hus preliminära planlösning. Det innebär att 8,33 lägenheter försvinner per våning och vidare antas att två tredjedelar av dessa, 5,55 lägenheter som försvinner, är vända mot Gibraltargatan. Resterande tredjedel som försvinner, 2,78 lägenheter, är då vända mot innergården. Se tabell 18.

Tabell 18: Lägenheter per våningsplan i kvarter 2

Våning	Enkellägenheter	Dubblettlägenheter	Kollektivrum
1-3	13,67	16	6
4-6	13,67	8	6
7	10	0	0

Samtliga enkellägenheter i båda kvarteren utsätts för ljudnivåer över 50 dBA, vilket är den lägsta ljudnivå då samhällsekonomiska kostnader uppstår enligt ASEK. För dubblettlägenheterna antas endast de som befinner sig så långt som 16 meter in längs sidogatan påverkas av förbättringar i gatusektionen då de lägenheter som är längre in erhåller en bullernivå under 50 dBA enligt tidigare beräkningar för både innergården och sidogatan. Av kollektivlägenheterna så ligger samtliga fasader under gränsvån 50 dBA.

Den samhällsekonomiska analysen genomförs på följande sätt: Först beräknas den samhällsekonomiska kostnaden för referensfallet, det vill säga att inga tekniska åtgärder för att minska bullernivån i området implementeras. Resultatet från denna analys jämförs sedan med motsvarande kostnad från samtliga föreslagna gatusektioner. Skillnaden mellan dessa två kostnader utgör den samhällsekonomiska vinst som införandet av varje gatusektion resulterar i. För att förenkla analysen beräknas ett medelvärde av ljudnivåerna per fasad och våningsplan. Den tabulerade samhällsekonomiska kostnaden för medelvärdet hämtas sedan från ASEK, se tabell 19 och multipliceras med antalet boende. Denna typ av beräkning görs sedan för samtliga boende och resultatet summeras till en total samhällsekonomisk kostnad.

Tabell 19: Kostnader för buller enligt ASEK

Ljudnivå [dBA]	Kostnad [kr/(per person och år)]
50	155
51	483
52	985
53	1 660
54	2 508
55	3 529
56	4 723
57	6 091
58	7 700
59	9 469
60	11 439
61	13 595
62	15 952
63	18 509
64	21 254
65	24 185

För gatusektion 1 erhålls också en samhällsekonomisk kostnad till följd av den ökade restid som uppstår av den hastighetsreducering som implementeras i gaturummet. För att fastställa kostnaden beräknas först den förlängda restiden som sedan multipliceras med antalet resenärer och värden från ASEK för respektive trafikslag. För att inte underskatta den samhällsekonomiska effekten av förlängd restid längs sträckan antas alla resor vara arbetsresor och alla tunga fordon vara bussar. Antalet resenärer per bil och bus sätts till 1,7 respektive 17 enligt data från *Trafikanalys*. Se tabell 20 för hur restid värderas i ASEK.

Tabell 20: Kostnader för längre restid enligt ASEK

Typ av resätt	Kostnad [kr/(person och timme)]
Bil	93
Buss	57

8.6 Beräkningsresultat från ASEK

Nedan presenteras resultatet från de samhällsekonomiska beräkningarna för respektive gatusektion beräknade med ASEK. Resultatet för åtgärdsförslaget redovisar skillnader i samhällsekonomiska kostnader på samtliga redovisade noder. Detta redovisas tillsammans med en total vinst för varje åtgärdsförslag. Se tabell 21-25.

Tabell 21: Samhällsekonomisk kalkyl för buller vid gatusektion 1

Nod	Antal personer	Kostnad utan åtgärd [kr]	Kostnad efter åtgärd [kr]	Vinst [kr]
1	45,83	848 329	279 171	569 158
2	45,83	731 133	279 171	451 963
3	45,83	731 133	216 470	514 663
4	45,83	623 104	161 746	461 358
5	45,83	623 104	161 746	461 358
6	45,83	524 288	114 950	409 338
7	26,2	356 189	92 460	263 729
8	26,2	356 189	92 460	263 729
9	26,2	356 189	92 460	263 729
10	26,2	299 702	65 710	233 992
11	26,2	299 702	65 710	233 992
12	26,2	248 088	65 710	182 378
13	28,4	268 920	47 144	221 776
Spaldingsgatan 13 och 15	86	226 664	0	226 664
Rosensköldsgatan 9 och 11	76	200 307	0	200 307
Palmstedsgatan 3	86	135 504	0	135 504
Övrig bebyggelse ¹³	92	312 318	4 706	307 612
Hastighetssänkning bil	12 104	-	1 271 741	-1 271 741
Hastighetssänkning buss	9 860	-	634 949	-634 949
Summa				3 494 560

¹³Denna övriga bebyggelse innefattar lägenheterna som vetter mot sidogatorna samt innegården på de planerade byggnaderna.

Tabell 22: Samhällsekonomisk kalkyl för gatusektion 2

Nod	Antal personer	Kostnad utan åtgärd [kr]	Kostnad efter åtgärd [kr]	Vinst [kr]
1	45,83	848 329	623 104	225 225
2	45,83	731 133	524 287	206 846
3	45,83	731 133	524 287	206 846
4	45,83	623 104	433 996	189 108
5	45,83	623 104	433 996	189 108
6	45,83	524 288	352 917	171 371
7	26,2	356 189	248 288	108 101
8	26,2	356 189	248 288	108 101
9	26,2	356 189	248 288	108 101
10	26,2	299 702	201 740	97 962
11	26,2	299 702	201 740	97 962
12	26,2	248 088	159 584	88 504
13	28,4	268 920	172 984	95 935
Spaldingsgatan 13 och 15	86	226 664	91 966	134 698
Rosensköldsgatan 9 och 11	76	200 307	81 272	119 035
Palmstedsgatan 3	86	135 504	38 012	97 492
Övrig bebyggelse ¹⁴	92	312 318	147 849	164 469
Summa				2 408 863

Tabell 23: Samhällsekonomisk kalkyl för gatusektion 3

Nod	Antal personer	Kostnad utan åtgärd [kr]	Kostnad efter åtgärd [kr]	Vinst [kr]
1	45,83	848 329	45 113	803 216
2	45,83	731 133	433 680	297 453
3	45,83	731 133	731 133	0
4	45,83	623 104	623 104	0
5	45,83	623 104	623 104	0
6	45,83	524 288	524 288	0
7	26,2	356 189	0	356 189
8	26,2	356 189	92 460	263 729
9	26,2	356 189	356 189	0
10	26,2	299 702	299 702	0
11	26,2	299 702	299 702	0
12	26,2	248 088	248 088	0
13	28,4	268 920	268 920	0
Spaldingsgatan 13 och 15	86	226 664	226 664	0
Rosensköldsgatan 9 och 11	76	200 307	200 307	0
Palmstedsgatan 3	86	135 504	135 504	0
Övrig bebyggelse ¹⁵	92	312 318	255 479	56 839
Summa				1 777 426

¹⁴Denna övriga bebyggelse innefattar lägenheterna som vetter mot sidogatorna samt innegården på de planerade byggnaderna.

¹⁵Denna övriga bebyggelse innefattar lägenheterna som vetter mot sidogatorna mellan de planerade husen. Ljudnivån på innegården antas vara konstant innan och efter åtgärd, men ljudnivån för sidogatans två lägsta våningar ändras.

Tabell 24: Samhällsekonomisk kalkyl för gatusektion 4

Nod	Antal personer	Kostnad utan åtgärd [kr]	Kostnad efter åtgärd [kr]	Vinst [kr]
1	45,83	848 329	114 866	733 463
2	45,83	731 133	352 660	378 473
3	45,83	731 133	433 660	297 473
4	45,83	623 104	352 660	270 444
5	45,83	623 104	278 968	344 136
6	45,83	524 288	352 660	171 628
7	26,2	356 189	25 807	330 382
8	26,2	356 189	123 743	232 446
9	26,2	356 189	201 740	154 449
10	26,2	299 702	159 584	140 118
11	26,2	299 702	123 743	175 959
12	26,2	248 088	159 584	88 504
13	28,4	268 920	134 133	134 787
Spaldingsgatan 13 och 15	86	226 664	0	226 664
Rosensköldsgatan 9 och 11	76	200 307	0	200 307
Palmstedsgatan 3	86	135 504	0	135 504
Övrig bebyggelse ¹⁶	92	312 318	153 452	158 866
Summa				4 173 582

Tabell 25: Samhällsekonomisk kalkyl för gatusektion 5

Nod	Antal personer	Kostnad utan åtgärd [kr]	Kostnad efter åtgärd [kr]	Vinst [kr]
1	45,83	848 329	114 866	733 463
2	45,83	731 133	278 968	452 165
3	45,83	731 133	278 968	452 165
4	45,83	623 104	278 968	344 136
5	45,83	623 104	278 968	344 136
6	45,83	524 288	278 968	245 320
7	26,2	356 189	25 807	330 382
8	26,2	356 189	123 743	232 446
9	26,2	356 189	159 584	196 605
10	26,2	299 702	159 584	140 118
11	26,2	299 702	159 584	140 118
12	26,2	248 088	159 584	88 504
13	28,4	268 920	172 984	95 936
Spaldingsgatan 13 och 15	86	226 664	0	226 664
Rosensköldsgatan 9 och 11	76	200 307	0	200 307
Palmstedsgatan 3	86	135 504	0	135 504
Övrig bebyggelse ¹⁷	92	312 318	164 289	148 029
Summa				4 516 834

¹⁶Denna övriga bebyggelse innefattar lägenheterna som vetter mot sidogatorna mellan de planerade husen. Ljudnivån på innegården antas vara konstant innan och efter åtgärd.

¹⁷Denna övriga bebyggelse innefattar lägenheterna som vetter mot sidogatorna mellan de planerade husen. Ljudnivån på innegården antas vara konstant innan och efter åtgärd.

8.7 Kostnad för åtgärder

Gatusektion 1 innehåller inga fysiska ingrepp i gaturummet och medför därför inga direkta kostnader. Dock kan en elektrifiering av tunga fordon få indirekta kostnader vilka är svåra att beräkna.

Enligt Malin Ekstrand, teknisk specialist på Trafikkontoret i Göteborg Stad på Trafikkontoret i Göteborg, kostar en ljuddämpande barriär cirka 15 000 kr per meter att uppföra. Detta inkluderar inköp och uppförande av barriären. I gatusektion 3 är det två barriärer som löper parallellt i gatan med en placerad på var sida om vägen. Detta ger en total kostnad på 30 000 kr per meter väg. Vägen som löper genom det område som presenterades i vårt lösningsförslag är cirka 325 meter lång. Detta resulterar i en total kostnad 9.75 miljoner kronor för åtgärderna i gatusektion 3. Denna kostnad exkluderar dock planterings- och underhållningskostnad för träden i gatusektionen då dessa inte ses som en bullerreducerande åtgärd.

Beroende på entreprenadform och drift kan en dubbeldrainerande porös beläggning kosta mellan 120-500 kr per kvadratmeter, jämfört med 50-100 kr per kvadratmeter för vanlig ABS 16 asfalt (Viman, 2015). Med en livscykel för dubbeldrän på 3 år och en livscykel på 10 år för ABS 16 (Viman, 2015) medför en användning av dubbeldrän på 325 meter av Gibraltargatan därmed en extra kostnad på max 336 000 kr per år jämfört med en konventionell ABS 16 asfalt.

Tabell 26: Kostnad åtgärder (Viman, 2015)(Ekstrand,2018)

Åtgärd	Kostnad	Kostnad totalt
Barriär	30 000 [kr/m]	9 750 000 kr
Öppen dubbeldrainerande beläggning 11 mm	120-500 [kr/m ²]	257 400 kr- 1 072 500 kr livslängd 3 år
ABS 16 mm Standard asfalt	50-100 [kr/m ²]	107 250 Kr - 277 200 kr livslängd 10 år

För åtgärder som presenteras i gatusektion 4 och 5 saknas det verktyg för att kunna göra en kostnadsberäkning. Dock kan det antas att stora investeringar krävs för att genomföra en sådan åtgärd.

8.8 Jämförelse av åtgärdsförslag

Åtgärdsförslagen jämförs med avseende på dess bullerreducerande förmåga, kostnad samt samhällsekonomiska vinst. Jämförelsen innehåller även en ekonomisk jämförelse mellan föreslagna åtgärder och två olika fasader. Dessa fasader är en sandwichfasad i betong och en träfasad. Då reduktionstal saknas för dessa antas deras ljudisolerande förmåga motsvara den ljudisolerande förmågan hos fasaderna i "case 5" respektive "case 2" i rapporten *Suggested facade cases for study of sound insulation considering wall, window and air intake*. Se fasadernas sänkning av utomhusljudnivån i tabell 27.

Tabell 27: Inomhusljudnivåer för två olika fasadtyper (Forssén, 2014)

Fasadtyp	Total sänkning av utomhusljudnivån
Betong (case 5)	38,3 dBA
Trä (case 2)	36,2 dBA
Differens	2,1 dBA

Detta innebär att vid implementering av åtgärdsförslag vilka kan sänka ljudnivåerna på fasaden med mer än 2,1 dBA gentemot referensfallet, kan en träfasad användas utan att ljudnivån inomhus påverkas negativt. Nedan, se tabell 28, visas en sammanställning av ljudnivåsänknigarna i samtliga gatusektioner.

Tabell 28: Sammanställning av beräknade fasadljudnivåer för olika gatusektioner

	Sänkning av fasadljudnivån för olika åtgärdsförslag
Gatusektion 1	5,75 dBA på samtliga mätpunkter
Gatusektion 2	2 dBA på samtliga mätpunkter
Gatusektion 3	Kraftig reduktion på våningsplan 1 och 2 på fasader riktade mot Gibraltargatan, ingen reduktion på övriga mätpunkter
Gatusektion 4	Reduktion mellan 1,5 och 9 dBA på samtliga mätpunkter exklusive mätpunkter på innergården
Gatusektion 5	Reduktion mellan 2 och 9 dBA på samtliga mätpunkter exklusive mätpunkter på innergården

För gatusektion 1 uppnås en reduktion av fasadljudet som är större än 2,1 dBA och för gatusektion 2, 4 och 5 är reduktionen på 2,1 dBA nära att uppnås. Detta innebär att ett eventuellt byte från betong- till träfasad och implementering av åtgärdsförslag 1, 2, 4 eller 5, inte skulle ha en negativ inverkan på inomhusljudnivån.

Fasadkostnaden för kvarteren samt differensen mellan olika fasadtyper presenteras i tabell 29. Den totala fasadytan för kvarter ett, se figur 35, har med hjälp av överslagsräkning uppskattats till 6300 kvm och fasadytan för kvarter två i samma figur antas vara lika stor. Detta innebär således att den totala fasadytan för båda kvarteren är 12 600 kvm.

Tabell 29: Kostnad för olika fasader (Johansson & Dahlqvist, 2009)

Fasadtyp	Kostnad [kr/m ²]	Kostnad totalt [kr]
Fasad 1, sandwichfasad-betong	2 250	28 350 000
Fasad 2, trä	1 106	13 935 600
Differens	1 144	14 414 400

Kostnadsuppgifterna avser endast själva väggen där fönster, ventiler och liknande har exkluderats (Johansson & Dahlqvist, 2009). Ett eventuellt fasadbyte från betong till trä skulle därmed kunna innebära en besparing på 14 414 400 kr vilken skulle kunna användas för att bekosta åtgärder i gaturummet. En sådan besparing skulle räcka till finansiering av gatusektion 2, se tabell 26. Gatusektion 1 har ingen direkt kostnad knuten till åtgärderna och sektion 4 respektive 5 inkluderar ingrepp vars kostnad är svår att fastställa.

Tabell 30 sammanfattar samhällsekonomisk vinst beräknade i kapitel 8.5 för respektive gatusektion.

Tabell 30: Samhällsekonomisk vinst för olika gatusektioner

	Samhällsekonomisk vinst [kr/år]
Gatusektion 1	3 494 560
Gatusektion 2	2 408 863
Gatusektion 3	1 777 426
Gatusektion 4	4 173 582
Gatusektion 5	4 516 834

Ur ett strikt samhällsekonomiskt perspektiv blir återbetalningstiden, förutsatt att inga ytterligare utgifter tillkommer, för barriären i gatusektion 3 cirka 5,5 år. Gatusektion 2 har en återbetalningstid på under ett år.

9 Avtalslösningar

Litteraturstudien visar på att trafikbuller är ett problem som är aktuellt på nationell, regional samt lokal nivå. Enbart lokalt i Göteborg finns ett stort antal vägledande dokument, strategier och planer som ska stödja arbetet för en bättre ljudmiljö. Vid projektets start fastslogs en frågeställning vars syfte var att stödja arbetet genom att undersöka möjligheterna för avtalslösningar. Hur stort är berörda aktörers intresse kring samarbete och/eller avtal rörande bullerdämpande åtgärder? Frågan, hur föreslagna åtgärder kan bidra till en attraktiv stadsmiljö, tas även upp i detta kapitel för att utveckla frågeställningen ovan. Frågeställningen har undersökts med hjälp av litteraturstudien, beräkningsresultat samt intervjuer med projekt Gibraltarvallens intressenter.

9.1 Nulägesanalys och intresse för avtalslösningar

I projekt Gibraltarvallen är markägarna Akademiska hus och Göteborg Stad tillsammans med Chalmersfastigheter självklara intressenter. Göteborg Stad inkluderar flertalet instanser som är inkluderade i projekt Gibraltarvallen, bland annat Stadsbyggnadskontoret, Fastighetskontoret, Trafikkontoret, Miljöförvaltningen samt Park- och natur.

Vid intervju med Malin Ekstrand, teknisk specialist på Trafikkontoret i Göteborgs Stad, diskuterades bland annat svårigheter och framtidsutsikter kring arbetet med buller. Svårigheterna Ekstrand nämner när det kommer till implementering av nya bullerreducerande lösningar är flera. Det kan till exempel vara praktiska svårigheter så som att mängden el- och gasledning placerade under gatan förhindrar eller försvårar ingrepp. En annan problematik med bulleråtgärder är enligt Ekstrand att nya tekniska lösningarna inte är testade i praktiken. För att kommunen ska kunna använda en bullerdämpande åtgärd behöver den vara testad och prestandaangivelser finnas. Detta kan påverka åtgärdsförslag framtagna i denna studie, se kapitel 7.2. De bulleråtgärder som lyftes under intervju med Trafikkontoret som aktuella idag för att hantera trafikbullerproblem berör elektrifiering och däcktyp på fordon i staden. Reglering och lagstiftning gällande däck sker på EU-nivå, men detta arbete tror Ekstrand kan gynna bullerproblematiken i staden. Samarbetet med Västtrafik kring vilka sträckor i staden som lämpar sig för att trafikeras av hybrid- samt elfordon lyftes som ett gott exempel på nuvarande samarbete som bör upprätthållas. Att hålla ett helhetsperspektiv och inte bara se till investeringskostnaden för bulleråtgärder utan ta med drift och underhållskostnader lyfter Ekstrand som viktigt.

Vid intervju med Mikael Lindberg, projektledare på Akademiska Hus, framkom ett intresse från Akademiska Hus att forska samt att i verklig miljö testa nya lösningar som positivt kan påverka problemet med trafikbuller. Lindberg ser användningen av ny teknik, exempelvis elfordon, samt arbete ur ett helhetsperspektiv som viktiga faktorer. Gröna lösningar, framförallt gröna fasader, men även oregelbundna fasader lyftes som intressanta åtgärder för att hantera trafikbuller.

Göteborgs Stad uttrycker i *Åtgärdsprogrammet mot buller, 2014-2018* nya förslag på utredningsområden inför framtagandet av nästa åtgärdsprogram, se kapitel 4.9.5. Dessa förslag innefattar ökat samarbete, uppstart av ett bullernätverk samt tester av bullerdämpande åtgärder i verklig miljö.

En attraktiv stadsmiljö är något som i stadens utveckling benämns som mål. Detta berör planering och utformning av nya områden och ingrepp i befintliga områden, Gibraltarvallen inkluderad. Trafikstrategin för Göteborgs Stad har, som tidigare nämnts, mål gällande färdmedelsfördelningen. Det hållbara resandet, alltså resande till fots, med cykel eller med kollektivtrafik ska öka medan användandet av bil ska minska.

För att detta mål ska uppnås behöver stadens invånare motiveras till förändring. En god ljudmiljö kan tänkas inverka positivt på invånarens vilja att välja hållbara transportsätt. Detta borde således vara ett starkt incitament för att förbättra ljudmiljön i staden.

Göteborgs Stad har tidigare arbetat med, samt har ett pågående projekt som syftar till att motverka den bullriga ljudmiljön i staden (Göteborg Stad, u. å.-d) och därmed skapa en mer attraktiv stadsmiljö. Två exempel på denna typ av projekt är TOR, Tysta Offentliga Rum, och LUSTA, Liveable Urban Soundscape Test Arena. TOR handlar om att skapa tysta oaser i stadsmiljön där det ska finnas möjlighet att undfly den annars bullriga stadsmiljön (Göteborgs Universitet, 2018). Detta projekt är idag avslutat och i Göteborg finns idag exempel där projektet har resulterat i implementation av nya lösningar i staden. En tyst oas och lekplats byggd på Masthuggskajen (Älvstranden utveckling, 2016) samt en busshållplats med bra ljuddämpande glas och absorberer byggd på Sven Hultins gata vid Chalmers tekniska högskola är exempel på detta (IMCG, u. å.). LUSTA är ett projekt i uppstartsfasen där förutsättningarna för ett virtuellt upplevelselabb samt en testarena i verklig miljö undersöks. Det långsiktiga målet med LUSTA är att bidra till en god ljudmiljö i staden genom att bidra till utvecklingen av nya bullerdämpande åtgärder (Göteborg Stad, u. å.-d).

Vilka är då viktiga faktorer för att i framtiden utveckla och underlätta arbetet med bullerfrågor? Ekstrand lyfter att ett gott samarbete finns idag men att detta är något som i framtiden kan bli bättre och därmed kan gynna arbetet med att reducera trafikbuller. Ett förbättrat samarbete både internt på kommunen men även med externa intressenter. Ljudmiljö som en mer prioriterad fråga i framtiden står i kontrast till hur läget är idag. Ekstrand menar att buller idag inte alltid är en särskilt prioriterad fråga. Avdelningar inom kommunen samt externa intressenter har alla olika preferenser och krav som ska samsas och samspela. Detta gör att krav ställs mot varandra och krav gällande buller kan bli nedprioriterade. Ytterligare en anledning till att buller idag inte prioriteras är ändringen av trafikbullerförordningen. Förordningen säger att trafikbuller inte bör överskrida 60 dBA tidsekvivalent ljudnivå vid en bostadsbyggnads fasad. Detta värde var tidigare 55 dBA. Denna ändring uppmuntrar ej till test och implementering av nya bullerreducerande åtgärder menar Ekstrand.

10 Diskussion

I detta kapitel kommer en diskussion av åtgärdsförslag, beräkningsmodeller, samarbete och avtalslösningar, etiska aspekter och felkällor föras. Diskussionen kommer belysa, sammanfatta och kritisera studien i sin helhet.

10.1 Åtgärdsförslag

En omställning till elektrifierade tunga fordon och sänkning av hastigheten analyseras i gatusektion 1. Gatusektionen ger en reduktion på 5,75 dBA och eftersom åtgärderna är emissionsriktade påverkas alla noder lika mycket. Denna kraftiga reduktion resulterar i en samhällsekonomisk vinst på drygt 3,5 miljoner kronor per år. Den samhällsekonomiska vinsten är också reducerad till följd av den ökade restid som resenärer erhåller när de rör sig på den studerade sträckan. Åtgärden tros dessutom ha andra effekter på samhällsekonomin, exempelvis skulle en sänkning av hastigheten kunna ha en positiv påverkan på säkerhet för fotgängare och cyklister på vägen samt antas en lägre hastighet motverka en ryckig körstil vilket kan påverka trafikbullrets karaktär. Till följd av en elektrifiering av tung trafik antas även utsläpp av partiklar och koldioxid minska, vilket kan påverka andra aspekter i den samhällsekonomiska analysen. En nackdel med förslaget är att det inte utvärderar hur en sänkt hastighet skulle påverka omkringliggande områden. En effekt där en ökning av trafikmängden på omkringliggande gator kan uppstå om biltrafikanter väljer andra körvägar på grund av den låga hastigheten. Detta skulle i så fall kunna leda till ökade bullernivåer på dessa gator. Dessutom tar inte utförda beräkningar hänsyn hur mycket en omställning till elektrifierade tunga fordon kostar vilket kan ge åtgärdsförslaget en skev kostnadsuppfattning då kostnaderna ligger utanför studiens avgränsningar. Dessa beräkningar tar heller inte hänsyn till att enskilda bilister kan välja att frångå hatsighetsbegränsningen vilket således skulle leda till ett försämrat resultat.

I gatusektion 2 överskrids riktvärdet för trafikbuller vid nod 1 och 2. Den bullerreducerande effekten för vald beläggning i beräkningarna är den som uppstår 1 år efter utförande och har korrekteringsvärdet -2 dBA jämfört med -5 dBA för nylagd beläggning. En nylagd beläggning hade således kunnat reducera trafikbullret vid nod 1 och 2 så att den ekvivalenta ljudnivån hade understigit 60 dBA. Bullerreducerande beläggning kan därför fungera som enskild åtgärd för att uppnå riktvärdet för trafikbuller, men kanske inte för att skapa en attraktiv stadsmiljö för fotgängare och gatuverksamhet vid Gibraltarvallen. Den samhällsekonomiska vinsten är 2,4 miljoner kronor per år, jämfört mot en årlig åtgärds kostnad på cirka 400 000 kronor. Detta kan ses som incitament för att motivera val av en sådan beläggning i urban miljö. Dock, vid de hastigheter på 42 km/h vid Gibraltargatan kan en effekt av vinddragets rengöring av vägytan som sker vid högre hastigheter utebli och ytterligare kostnader för underhåll kan uppstå vid behov av en ökad frekvens av vägbanetvättning.

Fördelarna med en lågbullerbeläggning är flera, men Malin Ekstrand, teknisk specialist på Trafikkontoret i Göteborgs Stad, lyfter i personlig kommunikation att den höga investeringskostnaden och underhållskostnaden för exempelvis en porös dränerande beläggning är för hög och inte motiverbar för Göteborgs kommun. En annan nackdel är att en porös dubbel-dränerande beläggning behöver bytas ut vart 3:e år, vilket jämfört kan jämföras med en omlägningsfrekvens på runt vart 10:e år för en standard 13-16 mm ABS skelettassfalt, vilket är den vanligaste asfaltstypen (Viman, 2015). Ekstrand menar även att en hög omlägningsfrekvens medför en stor materialåtgång och mycket avfall i form av gammal asfalt vilket kan ses som en nackdel ur hållbarhetssynpunkt.

I gatusektion 3 överskrids riktvärdet för trafikbuller, 60 dBA, för nod 9 och 10. Detta visar att låghöjdsbarriärer är en skyddsåtgärd som enbart dämpar vid lägre mottagarhöjder, vilket gör åtgärden mindre lämplig

om syftet är att sänka ljudnivån vid hela fasaden i en gatukanal. Dock är ljudnivåreduktionen vid lägre mottagarhöjder påtaglig vilket resulterar i ett mindre bullrigt gaturum. Detta kan tänkas uppmuntra verksamhet i gatuplanet och på så sätt skapa en mer levande stadsmiljö. Att reduktionen endast gäller för låga mottagarhöjder påverkar också åtgärdsförslaget effekt på samhällsekonomin. Gentemot övriga gatusektioner medför gatusektion 3 en liten, jämfört samhällsekonomisk vinst enligt beräkningarna, detta eftersom få boende påverkas. ASEK som verktyg tar dock inte hänsyn till den eventuella ökningen av näringsaktivitet åtgärdsförslaget tros skapa. Gatusektion 3 är det enda åtgärdsförslaget där beräkning av inomhusljudnivå varit möjlig. Jens Forssén lyfter dock att det ibland förekommer byggfel i fasader som gör att inomhusljudnivåer på under 30 dBA ibland inte uppnås, vilket innebär att det finns en viss osäkerhet i resultaten.

Gatusektion 4 och 5 visar att en sänkning av vägbanan samt en vägbana i två plan ger goda bullerreducerande effekter längs hela fasaden. Ljudnivån för fotgängare sänks hela 11 dBA och på de övre våningsplanen sänks ljudnivån 2-3 dBA. Som skyddsåtgärd fungerar därmed en nedsänkning eller vägbana i två plan mer effektivt som åtgärd för hela gaturummet. En nackdel med nedsänkt vägbana eller en vägbana i två plan kan bli ökade hastigheter på sträckan då objekt som gångtrafikanter och cyklister inte delar gaturummet med bilister.

De bullerreducerande värdena som anges för åtgärder studerade i Sonorusprojektet kan vara något överskattade på grund av antaganden i beräkningsmodellen, vilket även gäller även vid beräkningar av gatusektion 3 med låghöjdsbarriärer. Detta kan ha resulterat i för hög bullerreducering och således överskattade vinster vid den samhällsekonomiska analysen.

Den samhällsekonomiska vinsten för gatusektion 4 och 5 är de högsta bland undersökta förslag. Då en ekonomisk beräkning för dessa åtgärder inte kunnat genomföras är det inte möjligt att avgöra om åtgärderna är ekonomiskt försvarbara relativt dess samhällsekonomiska vinst. Typen av åtgärd kräver mycket stora ingrepp i gaturummet som kommer resultera i stora mängder schaktmaterial vilket kan påverka kostnaden för åtgärden. Som tidigare nämnt, se kapitel 9, är det även svårt att göra ingrepp i vägbanan med anledning av den mängd rör och gasledning som finns under vägytan. För att kunna genomföra en sänkning av vägbanan eller konstruera en vägbana i två plan kan det därför vara väldigt resurskrävande och komplicerat att flytta på den infrastruktur som döljer sig under Gibraltargatan.

Det finns en möjlighet att kombinera flera av åtgärderna som används i de olika gatusektionerna. Bullerreducerande vägbeläggning, sänkning av hastighet från 42- till 30 km/h samt elektrifiering av tunga fordon kan likväl kombineras med de övriga förslagen. Exempelvis kan låghöjdsbarriärer kombinerat med emissionsriktade åtgärder resultera i en bra ljudmiljö för fotgängare och samtidigt reducera ljudnivån för hela gaturummet så att samtliga fasadjudnivåer understiger 60 dBA. En icke fungerande kombination är sänkt hastighet och tyst asfalt. Detta beror på att, som tidigare nämnt, framdrivningsljudet dominerar vid hastigheter under 40 km/h.

Samtliga gatusektioner bidrar till någon form av reducering av bullernivåerna i det granskade området och minskar därmed riskerna för uppkomsten av samtliga av de bullerrelaterade sjukdomar och tillstånd som presenterats i kapitel 3. Dock är vare sig ljudnivåerna i referensfallet eller ljudnivåerna efter implementering av något av åtgärdsförslagen tillräckligt höga för att hörselskador som hörselnedsättning och tinnitus ska kunna uppstå.

Den samhällsekonomiska analysen av samtliga åtgärdsförslag visar på att det finns långsiktiga vinster med att göra dessa investeringar. Detta eftersom de beräknade vinsterna är löpande besparade kostnader för samhället.

Typer av åtgärder som inte avhandlats i denna studie är bland annat gröna lösningar och utformandet av positiva ljudlandskap. Ett positivt ljudlandskap innebär att oönskat ljud maskeras genom tillförsel och

framhävning av positiva ljud (Sjöberg m. fl., 2014). Positiva ljud kan exempelvis vara porlande ljud från en fontän. Gröna lösningar kan exempelvis vara gröna fasader eller gröna tak. En grön lösning kan både verka som bullerreducerande åtgärd, men ger även ökad grönska i gaturummet vilket kan bidra till ett mer attraktivt gaturum. Det som ligger till grund för beslutet att inte använda gröna lösningar är just studiens utgångspunkt att trafikbullret inte skulle leda till begränsningar i utformningen av fastigheten. Att kombinera exempelvis gröna lösningar med åtgärdsförslagen presenterade i denna studie hade dock kunnat vara fördelaktigt för ljudmiljön.

Fastställandet av varje gatusektions faktiska kostnad har grundat sig på uppskattade schablonvärden tillhandahållna från sakkunniga, ett examensarbete skrivet på Jönköpings Högskola och en rapport från statens väg- och transportinstitut. Detta resulterar i att det finns en inbyggd osäkerhet i uppskattningen av varje åtgärdsförslags investeringskostnad. Exempelvis baseras kostnaden för en låg ljudabsorberande barriär på kostnaden av en traditionell bullerskyddande barriär. Ytterligare en stor osäkerhetsfaktor återfinns i jämförandet av besparingen som uppstår vid val av en billigare fasad och kostnaden för åtgärdsförslaget som möjliggör detta fasadbyte. Av denna anledning bör uppskattningarna av de faktiska kostnaderna av åtgärdsförslagen i projektet ses som en fingervisning snarare än en absolut sanning.

Ovan nämnda osäkerheter kring investeringskostnader och fasadkostnader ska dock inte förhindra att slutsatser kring dessa dras. Den monetära vinningen vid val av en träkonstruktion är till värdet större än de kostnader som redovisas för gatusektion 2 och 3. Detta skulle således kunna motivera till en ny form av samarbete där fastighetsägare, vid nybyggnation, delfinansierar en åtgärd för att på så sätt kunna bygga billigare fasader. Detta blir således en situation som gynnar alla parter där staden erhåller en bättre ljudmiljö i gaturummet och fastighetsägaren kan reducera sina byggkostnader.

10.2 Val och användning av beräkningsmodeller

Nordisk beräkningsmodell och Nord2000 är beräkningsmodeller för vägtrafikbuller som är framtagna för de nordiska ländernas förhållanden. Initialt skulle studiens beräkningar dock göras i datorprogrammet Soundplan. I Soundplan kan ljudutbredningen redovisas i form av 3D-kartor för att enkelt få en överblick över ljudnivån vid exponerade fasader. I samråd med handledare Jens Forssén framkom det att upplärningskurvan för programmet översteg studiens omfattning och att egna numeriska beräkningar i Nordisk beräkningsmodell samt Nord2000 var mer passande. Nordisk beräkningsmodell baserar källjudet på trafiken längs den trafikerade gatan. Då modellen är över 20 år gammal finns det en risk för att det beräknade källjudet inte stämmer överens med verkligheten, detta eftersom karaktären på både framdrivnings- och däck-vägljud med stor sannolikhet har ändrats till följd av teknikutveckling. Då de akustiska förhållandena längs Gibraltarval-len varierar kraftigt har ett stort antal olika korrekationer använts. För samtliga av dessa korrekationer har ny kod fått skrivas vilket komplicerat beräkningarna och ökat risken för potentiella fel.

Nord2000 är en uppdaterad ljudutbredningsmodell. Anledningen till att modellen används tillsammans med Nordisk beräkningsmodell är att den tillåter inspektion av spektral data för ljudnivåer vid fasader och inomhus. Detta ger en tydligare bild av vilka frekvenser som uppfattas mest störande och vidare hur lösningar kan utformas för att skapa en god ljudmiljö. Nord2000 möjliggör även studier av förbrännings- respektive elmotorers inverkan på ljudnivåer i urbana miljöer.

I gatusektion 3 då spektral data fanns tillhanda för ytterväggarna samt låghöjdsbarriärerna gav metoden extra tillförlitligt resultat. För programmering med Nord2000 i matlab har extern kod erhållits från Jens Forssén och sedermera applicerats samt korrigerats för att passa rapportens fall.

Begränsningar i Nord2000 har påverkat användningen av vissa åtgärder i gaturummet. En användning av tätt placerade träd hade kunnat ge en sänkning upp till 2 dBA i gaturummet, men avsaknaden av möjlighet att kunna beräkna en reduktion av åtgärden begränsade användandet av den på Gibraltargatan. Det här gäller även andra kanske mer okonventionella metoder, där åtgärden i fråga ofta enbart har använts i forskningsprojekt och ingen metod för att implementera fallet i Gibraltargatans gaturum finns att tillgå.

ASEK som beräkningsmodell för samhällsekonomiska vinster har under studien fungerat väl. Problemet med denna typ av analys är dock att även om det går att visa på att det finns en samhällsekonomisk vinst med vissa typer av åtgärdsförslag är det svårt att följa upp och undersöka om den praktiska effekten är lika stor eller mindre än den teoretiska. Detta beror på svårigheten som finns i att bedöma varje åtgärds enskilda räckvidd och således bestämma hur många hushåll den når. Till exempel så har inte Gibraltargatan 54-58 inte tagits med i beräkningarna även om dessa förmodligen skulle beröras av åtgärderna. En annan svårighet med modellen är att uppskatta antalet personer i ett område, detta på grund av att det är svårt att avgöra hur tillförlitlig tillgänglig information är. Det är viktigt att denna uppskattning blir korrekt då det vid höga bullernivåer är stora skillnader om en kontra tio personer utsätts för dessa nivåer. Det går således att slå fast att det finns en osäkerhet i dessa siffror som är svåra att undkomma.

10.3 Samarbete och avtalslösningar

Studien är fokuserad på att undersöka om intresse och möjligheter finns för nya typer av samarbete kring utveckling och implementering av bullerdämpande åtgärder i staden och specifikt Gibraltargatan. En sammanfattning och diskussion av denna undersökning presenteras nedan.

Avsaknaden av prestandaangivelse och kostnad för nya tekniska bullerdämpande lösningar är ett problem. Flertalet nya tekniska lösningar finns idag tillgängliga, allt från gröna lösningar till barriärer av olika typer. Att alla dessa inte är testade i verklig miljö med tydliga resultat är något som hindrar utveckling och implementering av nya bullerdämpande åtgärder i staden. Detta tyder på att ett projekt som exempelvis LUSTA starkt kan påverka användandet av nya tekniker till fördel för bullerfrågor. I denna typ av projekt krävs samverkan mellan allt från industri, kommun och akademi. Intervjuer visar ett behov, initiativ och intresse för denna typ av projekt. Detta stöds även av *Åtgärdsprogrammet mot buller, 2014-2018* för Göteborgs Stad där en vilja att testa lösningar och utveckla samarbete framgår. Att fortsätta och vidareutveckla denna samarbetsform kan vara en typ av avtalslösning som på sikt kan minska problem med buller i städer, Göteborg och Gibraltarvallen inkluderat.

Implementering av exempelvis en tyst oas och lekplats byggd på Masthuggskajen tyder på att det finns ett intresse av att testa nya tekniska åtgärder mot buller och att berörda intressenter är beredda att ta vara på och testa resultat från genomförda studier. Detta talar för att Göteborg kan vara en bra plats för en testarena. Inom Göteborg kan Gibraltargatan och Gibraltarvallen fungera som en bra plats för testarena då gamla och nya byggnader kommer samlas i en urban miljö. Kombinationen av intressenter i projekt Gibraltarvallen är också en aspekt som kan gynna en testarena på just Gibraltarvallen.

Beräkningsresultat från studien, se kapitel 8.3.1, visar att elektrifiering av tung trafik har en god reduktion av trafikbuller. Intervjuer med intressenter, se kapitel 9.1, visar på att elektrifiering är en åtgärd som många tror mycket på som åtgärd mot buller. Detta visar sig även i projektet ElectricCity där Chalmersfastigheter, Akademiska Hus och Göteborgs Stad alla är samarbetspartners (ElectricCity, u. å.-b). Att vidare satsa på denna typ av samarbete kan bli en lyckad satsning för att motverka problem med trafikbuller i staden.

En möjlig typ av avtalslösning är delfinansiering av en teknisk åtgärd i gaturummet. Nya tekniska lösningar kan som beräknat vara kostsamma, se kapitel 8.6, vilket är ett faktum som kan försvåra implementering av nya lösningar. Flera av de lösningar som framtagits i detta arbete har god ljuddämpande effekt, se kapitel 8.3, och skulle för området starkt bidra till en bättre ljudmiljö och en mer attraktiv stadsdel. Ett mer attraktivt område kan vara önskvärt för markägare, fastighetsägare och byggherre då det förväntas öka värdet på lägenheter och området i stort. Är detta ett tillräckligt stort incitament för dessa intressenter att delfinansiera bullerreducerande åtgärder i gaturummet? Intervjuer med intressenter visar att ett visst intresse finns, förutsatt att samtliga berörda intressenter är en del av den typen av avtal.

Ett problem med avtalslösningar som innebär delfinansiering av bullerreducerande åtgärder i urban miljö kan vara antalet intressenter. I en situation som Gibraltarvallen finns det runt gatan både nya och gamla fastigheter och därmed är antalet fastighetsägare många. Om en delfinansiering av bulleråtgärd för hela sträckan ska vara möjlig behöver fler än en fastighetsägare vilja vara med i avtalet. Incitament och resurser för att delfinansiera en bullerdämpande åtgärd kan vara helt andra för de på platsen gamla fastighetsägarna jämfört med de nya. Detta kan påverka möjligheterna för delfinansiering negativt men vidare studier på detta område bör genomföras för att kunna dra den slutsatsen. Något som talar för att dessa, redan befintliga fastighetsägare, ska vara intresserade av att implementera nya bullerreducerande lösningar är att ljudnivån i hela gaturummet kan sänkas och att området därmed erhåller en bättre ljudmiljö. En bättre ljudmiljö kan göra området mer attraktivt och på sikt höja värdet på bostäderna.

En faktor som kan påverka kartläggningen av intresse för samarbete och avtal negativt är antalet intressenter intervjuade. Bilden av problemet hade kunnat formats annorlunda om fler aspekter insamlats genom fler intervjuer. De huvudsakliga intressenterna i projektet har dock intervjuats vilket antas ge en fullgod bild av problemet.

10.4 Etiska aspekter

I studien genomförs en samhällsekonomisk analys där en sänkning av bullernivån värderas i kostnader för samhället. En faktor i kostnaderna är bullerrelaterade hälsoeffekter. Den samhällsekonomiska beräkningen är positiv ur synvinkeln att vikten av en god ljudmiljö i samhället lyfts fram genom att jämföras med hälsoeffekter. Men det öppnar även upp för en etiskt frågeställning där det kan frågas huruvida det är etiskt motiverat att med en hög investeringskostnad som skäl inte implementera bullerreducerande åtgärder som kan rädda liv.

11 Slutsats

Studien påvisar att implementering av bullerreducerande åtgärder i gaturummet både kan reducera ljudnivån och skapa samhällsekonomiska vinster samt ekonomiska besparingar. Resultatet från utvärderingen av åtgärdsförslagen visar att gatusektion 1, 4 och 5 ger tidsekvivalenta ljudnivåer vid samtliga fasadmät punkter under 60 dBA och uppfyller därmed *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader* 3 §. Vidare tyder resultaten på att föreslagna åtgärder kan ge utrymme för billigare fasader och därmed skapa en för byggherren större frihetsgrad.

Analysen visar att för att uppnå en god ljudmiljö för fotgängare och samtidigt sänka ljudnivån över hela fasaden kan en skyddsåtgärd kombineras med en emissionsriktad åtgärd. Ett exempel på detta är en bullerreducerande beläggning i kombination med låghöjdsbarriärer. En kombination av dessa åtgärder ger en ljudnivåsänkning som uppfyller *Förordning (2015:216) om trafikbuller vid bostadsbyggnader* 3 § och ger en kraftig reduktion av ljudnivån för fotgängare, vilket är i enlighet med Göteborgs Stads lokala miljömål: *En god bebyggd miljö* och bidrar till en attraktiv stadsmiljö.

Den samhällsekonomiska analysen visar på att finns tydliga fördelar med att göra ingrepp i gatusektionen. Åtgärdsförslag 1 (hastighetssänkning och elektrifierade tunga fordon), 2 (bullerdämpande beläggning) och 3 (låga barriärer) visar på goda resultat i jämförelse till den ekonomiska investeringen. Åtgärdsförslag 4 (nedsänkning av gatan) och åtgärdsförslag 5 (gaturummet i två plan) kan vara svåra att motivera ur ett ekonomiskt och praktiskt perspektiv.

Kartläggningen visar att intresse finns för samarbete och avtalslösningar kring åtgärder mot buller hos intressenter i projekt Gibraltarvallen. Detta intresse i kombination med beräkningsresultaten visar att för flera typer av bullerdämpande åtgärder kan en avtalslösning som delfinansiering vara ett alternativ. Vidare samarbete kan vara att stödja befintliga projekt och starta nya projekt som syftar till att utveckla och testa bullerdämpande åtgärder samt ny teknik. För denna typ av projekt kan Gibraltarvallen vara en lämplig testarena.

Referenser

- Åkerlöv Leif, B. U. m. f. (1998). *Skönheten och oljudet*. Svenska kommunförbundet.
- Alves, S., Altreuther, B., Scheuren, J., Kropp, W. & Forssén, J. (2016). *Urban sound planning – the SONORUS project* (forskningsrapport).
- Älvstranden utveckling. (2016). *Innovativ oas på Masthuggskajen*. Hämtad från <http://alvstranden.com/innovativ-oas-pa-masthuggskajen/>
- Andersson, H., Jonsson, L. & Ögren, M. (2009). *Bullervärden för samhällsekonomisk analys: Beräkningar för väg-och järnvägsbuller* (forskningsrapport). Hämtad från www.vti.se/publikationer
- Andersson, J. (1998). *Akustik & buller*. Stockholm.
- Berglund, B., Lindvall, T. & Schwela, D. (2000). *Guidelines for community noise* (vol. 31; forskningsrapport nr. 4). doi: 10.1260/0957456001497535
- Bickel, P., Friedrich, R., Burgess, A., Fagiani, P., Hunt, A., De Jong, G., ... Tavasszy, L. (2006). *HEATCO Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines* (forskningsrapport). Hämtad från http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/HEATCO_D5.pdf
- Bodén, H., Carlsson, U., Glav, R., Wallin, H. P., Åblom, M. & Bodén H, G. R. W. H. P. M., Carlsson U. (2001). *Ljud och Vibrationer*. Stockholm: Institutionen för farkostteknik- Kungl Tekniska Högskolan.
- Boverket. (u. å.-a). *Boverkets regelskrivning*. Hämtad från <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/processen-for-boverkets-regelskrivning/>
- Boverket. (u. å.-b). *Om Boverket*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/>
- Boverket. (2008). *Buller i planeringen - Allmänna råd*. Hämtad från http://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2008/buller_i_planeringen_allmanna_rad_2008_1.pdf
- Boverket. (2016a). *Buller berör många människor*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planering-av-mark-och-vatten/information-om-buller-och-goda-ljudmiljoer/buller-beror-manga/>
- Boverket. (2016b). *God ljudmiljö och akustisk design*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/planering-av-mark-och-vatten/information-om-buller-och-goda-ljudmiljoer/buller-i-planeringen/god-ljudmiljo-och-akustisk-design/>
- Boverket. (2017a). Konsoliderad BBR. , 1(155), 1–155. Hämtad från https://www.boverket.se/contentassets/a9a584aa0e564c8998d079d752f6b76d/konsoliderad_bbr_bfs_2011-6.pdf
- Boverket. (2017b). *Regler och riktvärden för buller*. Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/planering/detaljplan/temadelar-detaljplan/buller-vid-detaljplanering/regler-och-riktvarden-for-buller/>
- Echevarria Sanchez, G. M., Van Renterghem, T., Thomas, P. & Botteldooren, D. (2016). The effect of street canyon design on traffic noise exposure along roads. *Building and Environment*, 97, 96–110. Hämtad från <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.033> doi: 10.1016/j.buildenv.2015.11.033
- Electricity. (u. å.-a). *Samarbete kring framtidens kollektivtrafik | Electricity*. Hämtad från <https://www.electricitygoteborg.se/node/19499>
- Electricity. (u. å.-b). *Samarbetspartners | Electricity*. Hämtad från <https://www.electricitygoteborg.se/electricity-partners>
- Forssén, J. (2014). *Suggested facade cases for study of sound insulation considering wall, window and air intake* (forskningsrapport). Hämtad från <https://publications.lib.chalmers.se/publication/196216-suggested-facade-cases-for-study-of-sound-insulation-considering-wall-window-and-air-intake>
- Forssén, J. (2015). *Lecture BOM205*.
- Fritschi, L., Brown, A. L., Kim, R., Schwela, D. & Kephelopoulos, S. (2011). Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe. *World Health Organization*, 1–106. doi: 10.1080/13504630.2011.629519

Göteborg Stad. (u. å.-a). *ÅTGÄRDSPROGRAM MOT BULLER* (forskningsrapport).

Göteborg Stad. (u. å.-b). *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_QC9NAP3vtsqN1QAtfiJrTQ5K7nW4

Göteborg Stad. (u. å.-c). *Delmål – God ljudmiljö*. Hämtad från http://goteborg.se/wps/portal/start/miljo/goteborgs-tolv-miljomal/god-bebyggd-miljo/god-ljudmiljo!/ut/p/z1/04_Sj9CPYkssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDBON_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffw9Q431wwkpiAJKG-AAjgb6BbmhigCr055H/dz/d5/L2dBISEvZOFBIS9nQSEh/

Göteborg Stad. (u. å.-d). *LUSTA ljudlabb*. Hämtad från http://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/Innovation-och-utveckling-far-framtidens-mobilitet-i-Gateborg/lusta-ljudlabb!/ut/p/z1/04_Sj9CPYkssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziTYzcdQy9TAy9_X1cTAWcw4I9A40tvAOM_M31w8EKAgxdHA1NgAoMPAzdDBwDXc38g1xNDax8TPWjInFvgaIcDZyCjJyMDQzc

Göteborg Stad. (u. å.-e). *Om stadsutvecklingsprojekt i Göteborg*. Hämtad från http://goteborg.se/wps/portal/start/byggande--lantmaterioch-planarbete/kommunens-planarbete/stadsutvecklingsprojekt/om-stadsutvecklingsprojekt!/ut/p/z1/hY7BCoJAGISfxuv-_1Kba7ftYKSSRoG219DYVkfD0a2Fnj47BkVzG-YbZkBCAbIvH40ubWP6sp39Wa4uGY00fEMFptsxgXN0pzsJ9nK

Göteborg Stad. (u. å.-f). *Stadsutveckling Göteborg – Hållbar stad öppen för världen*. Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/>

Göteborg Stad. (u. å.-g). *Teknisk Handbok*. Hämtad från <http://th.tkgbg.se/sv-se/1start.aspx>

Göteborg Stad. (u. å.-h). *Trafikmängder på olika gator*. Hämtad från http://goteborg.se/wps/portal/start/gator-vagar-och-torg/gator-och-vagar/statistik-om-trafiken/trafikmangder-pa-olika!/ut/p/z1/hY5NC4JAGIR_jdd9Xz9w1252MFJJg0DbS2hsq6CurFsL_frsGBTNbZhnMAEONfCpefSyMb2ammH1Zx5eSjc9sq0bY7GLEtyfsjI5ZHmRMoTqH8DXGH8oRkiB9-1I7HUK

Göteborg Stad. (u. å.-i). *Trafikmängdsuppgifter Gibraltargatan*. Hämtad från <http://www.statistik.tkgbg.se/G/Gibraltargatan.html>

Göteborg Stad. (u. å.-j). *Trafik- och resandeutveckling 2017* (forskningsrapport). Hämtad från <http://www2.trafikkontoret.goteborg.se/resourcelibrary/Trafikochresandeutveckling2017.pdf>

Göteborg Stad. (u. å.-k). *Trafikutveckling*. Hämtad från http://goteborg.se/wps/portal/start/gator-vagar-och-torg/gator-och-vagar/statistik-om-trafiken/trafikutveckling!/ut/p/z1/04_Sj9CPYkssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziAwy9Ai2cDBON_N0t3Qw8Q7wD3Py8ffw9DMz0wwkpiAJKG-AAjgb6BbmhigD7x66m/dz/d5/L2dBISEvZOFBIS9nQSEh/

Göteborg Stad. (u. å.-l). *Vägledning för buller vid planering av bostäder - Göteborgs Stad*. Hämtad från <http://goteborg.se/wps/portal/start/byggande--lantmaterioch-planarbete/kommunens-planarbete/verktyg-for-stadsplanering-2/miljo-och-klimat-i-stadsplaneringen/vagledning-for-trafikbuller-vid-planering-av-bostader!/ut/p/z1/hY6xCSIWGISfpmv-P02MwS04BKqi4NCaRa>

Göteborg Stad. (u. å.-m). *Webbkarta - Trafikbullernivåer i Göteborg*. Hämtad från <https://karta.miljoforvaltningen.goteborg.se/>

Göteborg Stad. (2015a). *Detaljplan för Gibraltarvallen* (forskningsrapport).

Göteborg Stad. (2015b). *Detaljplan för Gibraltarvallen Samrådshandling augusti 2015* (forskningsrapport). Hämtad från [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Johanneberg%20-%20Gibraltarvallen-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Planbeskrivning/\\$File/02_Planbeskrivning_minskad2.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Johanneberg%20-%20Gibraltarvallen-Plan%20-%20samr%C3%A5d-Planbeskrivning/$File/02_Planbeskrivning_minskad2.pdf?OpenElement)

Göteborgs Universitet. (2018). *Tysta Offentliga Rum (TOR)*. Sofie Alnäs. Hämtad från <https://kultur.gu.se/forskning/Forskningsprojekt/projekttitel/tysta-offentliga-rum--tor>

Hörselskadades Riksförbund. (u. å.). *Våra målgrupper - Hörselskadades Riksförbund*. Hämtad från <https://hrf.se/om-hrf/horselskadade-vem-ar-det/>

- HOSANNA partners. (2013). *Novel solutions for quieter and greener cities* (forskningsrapport).
- Höstmad, P. & Kropp, W. (2016). *Sound and vibrations* (forskningsrapport). Göteborg: Chalmers Division of Applied Acoustics.
- IMCG. (u. å.). *Innovationsledning av Tysta Offentliga Rum*. Hämtad från <http://imcg.se/project/tysta-offentliga-rum/>
- Johansson, F. & Dahlqvist, P. (2009). *LÅNGSIKTIG LÖNSAMHET FÖR KLIMATSKYDDANDE KONSTRUKTIONER* (forskningsrapport). Hämtad från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:219980/FULLTEXT01.pdf>
- Kjellberg, A. (1990). Inte bara hörselskador.
- Knape, M. & Karlsson, H. (u. å.). *VÄGLEDNING FÖR TRAFIKBULLER I PLANERINGEN*. Hämtad från www.goteborg.se
- Kragh, J., Jonasson, H., Plovsing, B. & Sarinen, A. (2006). *User's Guide Nord2000 Road* (forskningsrapport). Hörsholm.
- Levander, E., Kommuner och Landsting, S., Sandberg och Mathias Wärnhjelm, E., Arbetsgrupp, T., Sandberg, E., Nyberg och Mathias Wärnhjelm, S., ... Schantz, P. (u. å.). *Trafik för en attraktiv stad – handbok* (forskningsrapport). Hämtad från https://www.trafikverket.se/contentassets/347f069e6d684bfd85b85e3a3593920f/trast3_handbok_ny.pdf
- Miljömål. (u. å.-a). *God bebyggd miljö*. Hämtad från <https://www.miljomal.se/Miljomalen/15-God-bebyggd-miljo/>
- Miljömål. (u. å.-b). *Miljömålen*. Hämtad från <https://www.miljomal.se/Miljomalen/>
- Miljömål. (u. å.-c). *Preciseringar av God bebyggd miljö*. Hämtad från <https://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/15-god-bebyggd-miljo/Preciseringar-av-god-bebyggd-miljo/>
- Nationalencyklopedin. (u. å.). *Miljöbalken*. Hämtad från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lang/miljobalken>
- Naturvårdsverket. (u. å.-a). *Buller: Riktvärden och vägledning*. Hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Buller/>
- Naturvårdsverket. (u. å.-b). *Om Naturvårdsverket*. Hämtad från <http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/>
- Naturvårdsverket & Vägverket. (1996a). *Nordisk beräkningsmodell 2*. Hämtad från https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-4653-5_de12.pdf?pid=2723
- Naturvårdsverket & Vägverket. (1996b). *Nordisk beräkningsmodell del 1*. Hämtad från https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer/620-4653-5_de11.pdf?pid=2723
- Nordtest. (2002). *Road Traffic : Measurement of Noise Immission - Engineering Method* (forskningsrapport).
- Sandberg, U. (2007). *Vägytans inverkan på trafikbulleremissionen och rullmotstånd* (forskningsrapport).
- Sandberg, U. (2009). *Vägytans inverkan på trafikbulleremission och rullmotstånd*. (forskningsrapport). Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI).
- SFS 1998:808. (1998). *Miljöbalk*. Hämtad från https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808
- 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
- SFS 2010:900. (2010). *Plan- och bygglag*. Hämtad från http://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900
- SFS 2011:338. (2011). *Plan- och byggförordning*.
- 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
- Sjöberg, P., Bergbrant, U. & Börjesson, K. (2014). *Ljudmiljön i stadens offentliga rum* (forskningsrapport).
- Sofia Hellberg, M. J. M. S. H. A., Per Bergström Jonsson. (2014). *Trafikstrategi för en nära storstad* (forskningsrapport). Hämtad från https://goteborg.se/wps/wcm/connect/32f1301c-7e10-4f6d-a0fa-ee4f1c2f3f3a/Trafikstrategi_Slutversion_swe_web_140402.pdf?MOD=AJPERES

- SVEBY. (2012). *Brukarindata bostäder* (forskningsrapport). Hämtad från http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/10/Sveby_Brukarindata_bostader_version_1.0.pdf
- Svensk Standard 25267:2015. (2015). *Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen - Bostäder*.
- Sveriges Kommuner och Landsting. (2017). *Skapa goda ljudmiljöer*. Hämtad från https://skl.se/download/18.5eadaba015ee6d85938c2a62/1507733348165/SKL_S5_Skapa-goda-ljudmiljoer_webb.pdf
- © *OpenStreetMaps bidragsgivare*. (u. å.). Hämtad från <https://www.openstreetmap.org/#map=17/57.68887/11.98190>
- The Dutch Innovation Programme on noise mitigation. (2005). *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise* (forskningsrapport). Hämtad från <http://www.infrageluid.nl/leaflets/Inventory%20Study.pdf>
- Trafikverket. (1994). *BITUMENBUNDNA LAGER* (forskningsrapport).
- Trafikverket. (2015). *Vägar och gators utformning, VGU - Trafikverket*. Hämtad från <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vgu/>
- Trafikverket. (2016). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn: ASEK 6* (forskningsrapport). Hämtad från https://www.trafikverket.se/contentassets/4b1c1005597d47bda386d81dd3444b24/hela_dokumentet_asek_6_0.pdf
- Vägverket & Naturvårdsverket. (1996). *Vägtrafikbuller, nordisk beräkningsmodell* (forskningsrapport).
- Vigran, T. E. (2008). *Building Acoustics*. Abingdon: Taylor & Francis.
- Viman, L. (2015). *Erfarenheter av bullerreducerande beläggningar* (forskningsrapport). VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut. Hämtad från <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:814878/FULLTEXT01.pdf>
- White arkitekter AB för Stadsbyggnadskontoret, G. S. (2015). *Illustrationsritning*. Hämtad från [http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Johanneberg-Gibraltarpvallen-Plan-samrad-Illustrationsritning1-2/\\$File/04_illustrationsplan1_2.pdf?OpenElement](http://www5.goteborg.se/prod/fastighetskontoret/etjanst/planbygg.nsf/vyFiler/Johanneberg-Gibraltarpvallen-Plan-samrad-Illustrationsritning1-2/$File/04_illustrationsplan1_2.pdf?OpenElement)
- World Health Organization. (2006). CONSTITUTION OF THE WORLD HEALTH ORGANIZATION. Hämtad från http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_en.pdf

Bilagor

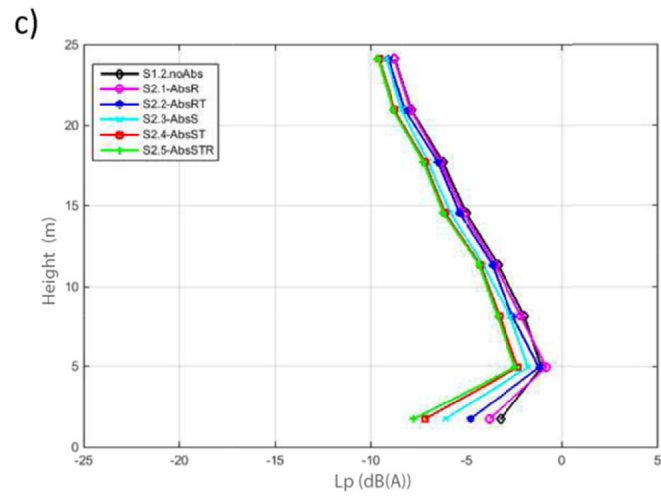
Bilaga A

Vägbeläggning			Korrektionsterm i dB(A) för hastighetsintervall samt viss andel (%) tunga fordon								
Nr	Typ (har anges även max. storlekar)	Ålder (år)	40-60 km/h			61-80 km/h			81-130 km/h		
			0,5 %	6-19	20-100	0,5 %	6-19	20-100	0,5 %	6-100	
1a	Skelettsfalt (ABS) (max 13-16 mm)	1-20	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	ref	
1b	D.o. nylagd	<1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1	
2a	Skelettsfalt (ABS) (max 10-12 mm)	1-20	-1	-1	-1	-2	-1	-1	-2	-1	
2b	D.o. nylagd	<1	-2	-1	-1	-3	-1	-1	-3	-2	
3a	Skelettsfalt (ABS) (max 7-9 mm)*	1-20	-2	-1	-1	-3	-2	-1	-3	-2	
3b	D.o. nylagd	<1	-3	-2	-2	-4	-3	-2	-3	-3	
4a	Skelettsfalt (ABS) (max 4-6 mm)	1-20	-3	-2	-2	-4	-4	-2	-4	-2	
4b	D.o. nylagd	<1	-4	-3	-3	-5	-5	-3	-5	-3	
5a	Asfallbetong, tät, ABT (max 13-16 mm)	1-20	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	
5b	D.o. nylagd	<1	-2	-1	-1	-3	-2	-1	-3	-2	
6a	Asfallbetong, tät, ABT (max 10-12 mm)	1-20	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-2	-1	
6b	D.o. nylagd	<1	-3	-2	-1	-3	-3	-2	-3	-2	
7a	Asfallbetong, tät, ABT (max 7-9 mm)	1-20	-3	-2	-1	-3	-2	-1	-3	-2	
7b	D.o. nylagd	<1	-4	-3	-2	-4	-3	-2	-4	-3	
8	Slurry Seal och andra extremt tunna belägg	0-5	-3	-2	-1	-3	-2	-1	-3	-1	
9	Tunnskiktbelägg. - Se motsv ABS-belägg										
10	Biltunniserad chip-sten (BCS), max 13-20	0-20	+1	+1	0	+2	+2	+1	+2	+2	
11a	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 16-20mm	1-20	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	0	
11b	D.o. nylagd	<1	+2	+1	0	+2	+1	-1	+2	+1	
12a	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 10-12mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0	
12b	D.o. nylagd	<1	0	0	0	0	0	0	0	0	
13a	Ytbehandling, enkel (Y1B), max 6-9 mm	1-20	-1	0	0	-2	-1	0	-2	0	
13b	D.o. nylagd	<1	-2	0	0	-2	-1	-1	-2	-1	
14a	Ytbehandling, dubbel (Y2B), max 16-20mm	1-20	0	0	0	0	0	0	0	0	
14b	D.o. nylagd	<1	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	
15a	Ytbehandling, dubbel (Y2B), max 10-12mm	1-20	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	
15b	D.o. nylagd	<1	-1	-1	0	-1	-1	0	-1	0	
16a	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 14-16mm	<1	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	
16b	D.o. 1,2 år	1,2	-1	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	
16c	D.o. 3-7 år	3,7	0	0	0	0	0	0	-1	-1	
17a	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 14-16mm	<1	-4	-3	-3	-4	-4	-4	-4	-4	
17b	D.o. 1,2 år	1,2	-2	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-3	
17c	D.o. 3-7 år	3,7	-1	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	
18a	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 10-13mm	<1	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4	
18b	D.o. 1,2 år	1,2	-2	-1	0	-2	-2	-2	-4	-3	
18c	D.o. 3-6 år	3,6	-1	0	0	-1	-1	-1	-3	-2	
19a	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 10-13mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5	
19b	D.o. 1,2 år	1,2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-4	-4	
19c	D.o. 3-6 år	3,6	-2	-1	0	-1	-1	-1	-3	-3	
20a	Dränasfalt HABD, hålrum 18-21%, 7-9 mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5	
20b	D.o. 1,2 år	1,2	-2	-1	-1	-3	-2	-2	-4	-3	
20c	D.o. 3-5 år	3,5	-1	0	0	-3	-1	-1	-3	-2	
21a	Dränasfalt HABD, hålrum 22-27%, 7-9 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-5	-6	-5	
21b	D.o. 1,2 år	1,2	-3	-2	-2	-4	-4	-3	-4	-3	
21c	D.o. 3-5 år	3,5	-2	-1	0	-3	-2	-2	-3	-2	
22a	Dubbel HABD, hålrum 18-21%, 10-13/16mm	<1	-5	-4	-3	-5	-5	-5	-6	-5	
22b	D.o. 1,2 år	1,2	-3	-2	-1	-3	-3	-3	-5	-4	
22c	D.o. 3-6 år	3,6	-2	-1	0	-2	-2	-2	-3	-2	
23a	Dubbel HABD, hålrum 22-27%, 10-13/16mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-7	-6	
23b	D.o. 1,2 år	1,2	-4	-3	-2	-4	-4	-4	-5	-4	
23c	D.o. 3-6 år	3,6	-2	-1	0	-2	-2	-2	-1	-1	
24	D.o. 3-6 år	3,6	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-2	
24a	Dubbel HABD, hålrum 18-21%, 7-9/16 mm	<1	-6	-5	-4	-6	-6	-6	-6	-6	
24b	D.o. 1,2 år	1,2	-3	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	
24c	D.o. 3-5 år	3,5	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	
25a	Dubbel HABD, hålrum 22-27%, 7-9/16 mm	<1	-7	-6	-5	-7	-7	-7	-7	-7	
25b	D.o. 1,2 år	1,2	-4	-3	-3	-5	-5	-5	-4	-4	
25c	D.o. 3-5 år	3,5	-2	-1	0	-2	-2	-2	-1	-1	
26	Gummiastfalt, tät (GAP): Se komm. nedan										
27	Gummiastfalt, öppen (GAO): Se komm.										
21	Cementbetong, tät, slät, max 20-80 mm	0-40	+1	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2	
22	Cementbetong, tät, slät, max 12-18 mm	0-40	0	+1	+1	+1	+2	+2	+1	+2	
23a	Cementbetong, frilagd bal., max 22 mm	2-10	0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
23b	D.o. nylagd	<2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	
24a	Cementbetong, frilagd bal., max 11-16mm	2-10	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	
24b	D.o. nylagd	<2	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	
25a	Cementbetong, frilagd bal., max 7-9 mm	2-10	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-3	-2	
25b	D.o. nylagd	<2	-3	-2	-2	-3	-3	-2	-4	-3	
26	Cementbetong, slipad (slipning ej slitet)	0-5	3	2	2	3	2	2	2	1	
27	Gatsten, kullersten & storgatsten	0-90	+6	+5	+4	+6	+6	+5	+6	+6	
28	Gatsten, traditionell sten ca 10x10 cm	0-90	+3	+3	+2	+4	+4	+3	+4	+4	
29	Gatsten, förbättrad sten enl Cph-typ	0-90	+1	+1	+1	+2	+2	+2	+2	+2	
30	Cementblocksten, normal	0-10	+2	+2	+2	+3	+3	+3	+3	+3	
31	Cementblocksten, bästa typ	0-10	1	0	0	-1	0	0	-1	0	

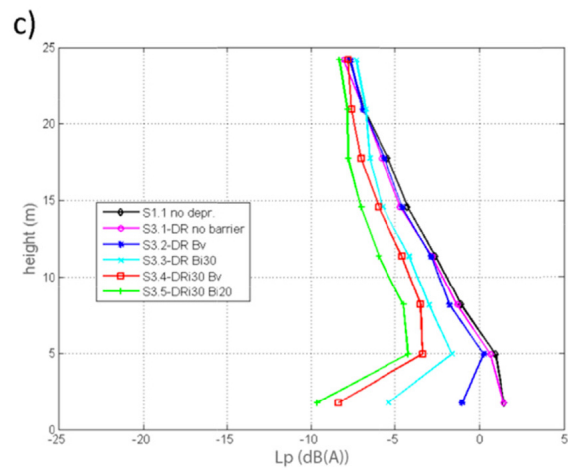
* Referensvägtya enligt ISO 10844 (använd för fordonsbullerprovning m m) motsvaras av beläggning nr 3 ovan.

Figur 36: Vägbelägningars bullerpåverkande egenskaper, uttryckt som korrektion till "normal-värde" för referensbeläggning av typ ABS16. Minustecken innebär lägre bullernivå. (Sandberg, 2009).

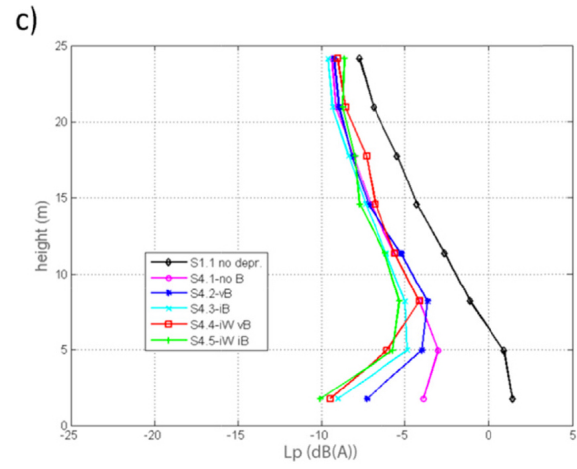
Bilaga B



Figur 37: Medelvärde av ljudnivån vid fönster på fasaden, fall med låga barriärer. (Echevarria Sanchez m. fl., 2016).



Figur 38: Medelvärde av ljudnivån vid fönster på fasaden, fall med nedsänkt vägbana. (Echevarria Sanchez m. fl., 2016).



Figur 39: Medelvärde av ljudnivån vid fönster på fasaden, fall med vägbana i två plan. (Echevarria Sanchez m. fl., 2016).

Bilaga C

Listing 1: Funktion för beräkning av utgångsvärde

```
1 function Laeq_10m_total=calc_default_sound_level(num_light, num_heavy, v, h)
2 T=h*60*60;
3     if (v >= 30) && (v <= 40)
4         Lae_10m_light=71.1;
5     elseif v>40
6         Lae_10m_light=73.5+25*log10(v/50);
7     end
8
9     if v<=50
10        Lae_10m_heavy=80.5;
11    elseif (v >= 50) && (v <= 90)
12        Lae_10m_heavy=80.5+30*log10(v/50);
13    end
14    Laeq_10m_light=Lae_10m_light+10*log10(num_light/T);
15    Laeq_10m_heavy=Lae_10m_heavy+10*log10(num_heavy/T);
16    Laeq_10m_total=10*log10(10^(Laeq_10m_light/10)+10^(Laeq_10m_heavy/10));
17 end
```

Listing 2: Funktion för stigningskorrektin

```
1 function corr_inc=calc_corr_incline(G,p)
2     corr_inc=(2*G/100)+(3*G/100)*log10(1+p);
3 end
```

Listing 3: Funktion för vinkelrådeskorrektin

```
1 function corr_anglearea = calc_corr_anglearea(alfa)
2     corr_anglearea=10*log10(alfa/180);
3 end
```

Listing 4: Funktion för distanskorrektin

```
1 function corr_distance = calc_corr_distance(a,h_m,h_b)
2     corr_distance=-10*log10((sqrt(a^2+(h_m-h_b-0.5)^2))/10);
3 end
```

Listing 5: Funktion för markkorrektin

```
1 function corr_ground = calc_corr_ground(d,h_b,h_m,softness)
2 if softness==1
3     d_prim=d*10^(-0.3*h_b);
4     if h_m<2
5         h_m=2;
6     end
7     sigma=d_prim/(10*h_m);
8     if sigma>1
9         corr_ground=-6*log10((sigma^2)/(1+0.01*sigma));
10    else
11        corr_ground=0;
```

```

12     end
13 else
14 corr_ground=0;
15 end
16 end

```

Listing 6: Funktion för korrektion till följd av stängda innergårdar

```

1 function Q = calc_corr_multi_reflex_closed_courtyard(h_h,b_h,b_g)
2 if h_h>20
3     h_h=20;
4     if b_g==1
5         Q=0.27*b_h-0.77*h_h;
6         elseif b_g==0
7             Q=0.24*b_h-0.86*h_h-8.5;
8         end
9 else
10     if b_g==1
11         Q=0.27*b_h-0.77*h_h;
12         elseif b_g==0
13             Q=0.24*b_h-0.86*h_h-8.5;
14         end
15 end
16 end

```

Listing 7: Funktion för korrektion för multipelreflex på sidogator

```

1 function corr_multi_reflex_side_street = calc_corr_multi_reflex_side_street(b_s,b_h,a)
2     x=a/b_h;
3     corr_multi_reflex_side_street=10*log10((2*atan((7*b_s)/(b_h*(x-1))))/(x*pi));
4 end

```

Listing 8: Funktion för korrektion för skärmar

```

1 function corr_screen_and_ground = calc_corr_screen(d_1,d_2,h_v,h_m,h_b,softness)
2 h_e=(d_1*(h_v+h_m)+d_2*(h_v-h_b-0.5))/(sqrt((d_1+d_2)^2)+((h_m-h_b-0.5)^2));
3 if d_2>=d_1
4     if d_2<30
5         d_2=30;
6     elseif (d_2/d_1)>20
7         d_1=0.05;
8     end
9 elseif d_2<d_1
10    if d_1<30
11        d_1=30;
12    elseif (d_1/d_2)>20
13        d_2=0.05;
14    end
15 end
16 x=1.1*h_e*sqrt((d_2+d_1)/(d_1*d_2));
17 if x >=2.4
18     corr_screen = -25;

```

```

19 elseif (x >= 0) && (x < 2.4)
20     corr_screen=-5-10*log10(1+x+17*x^2);
21 elseif (x>=-0.33) && (x<0)
22     corr_screen=-5+10*log10(1-x+17*x^2);
23 elseif x<-0.33
24     corr_screen=0;
25 end
26 if corr_screen<=-18
27     z=1;
28 elseif (corr_screen > -18) && (corr_screen <= -5)
29     z=(-corr_screen-5)/13;
30 elseif corr_screen<-5
31     z=0;
32 end
33 if softness==1
34     if h_v>4
35         h_v=4;
36     elseif h_v<=4
37         h_v = h_v;
38     end
39 d_dot_2=d_2*10^(-0.3*h_v);
40 if h_m<2
41     h_m=2;
42 elseif h_m>=2
43     h_m=h_m;
44 end
45 sigma=d_dot_2/(10*h_m);
46 if sigma>=1
47     corr_screen_ground=-5*(1-z)*log10(sigma^2/(1+0.01*sigma^2));
48 elseif (sigma < 1) && (sigma >= 0.3)
49     corr_screen_ground=-4*z*log10(sigma);
50 elseif (sigma < 0.3) && (sigma > 0.1)
51     corr_screen_ground=2*z-4*z*log10(0.3/sigma);
52 elseif sigma<=0.1
53     corr_screen_ground=0;
54 end
55 elseif softness==0
56     if h_m <2
57         h_m=0;
58     elseif h_m>=2
59         h_m=h_m;
60     end
61     sigma = d_2/(10*h_m);
62     if sigma<0.2
63         corr_screen_ground=0;
64     elseif (sigma <=10) && (sigma >= 0.23)
65         corr_screen_ground=3*z*log10(sigma)+2*z;
66     elseif sigma >10
67         corr_screen_ground=5*z;
68     end
69 end

```

```

70 corr_screen_and_ground=corr_screen+corr_screen_ground+(1-(7*z/13))*calc_corr_ground(d,h_b,
    h_m,softness);
71 end

```

Listing 9: Funktion för mark- och skärmkorrektion

```

1 function corr_screen_and_ground = calc_corr_screen_and_ground(d_1,d_2,d,h_v,h_m,h_b,softness
    )
2 h_e=(d_1*(h_v+h_m)+d_2*(h_v-h_b-0.5))/(sqrt((d_1+d_2)^2)+((h_m-h_b-0.5)^2));
3 if d_2>=d_1
4     if d_2<30
5         d_2=30;
6     elseif (d_2/d_1)>20
7         d_1=0.05;
8     end
9 elseif d_2<d_1
10    if d_1<30
11        d_1=30;
12    elseif (d_1/d_2)>20
13        d_2=0.05;
14    end
15 end
16 x=1.1*h_e*sqrt((d_2+d_1)/(d_1*d_2));
17 if x >=2.4
18     corr_screen = -25;
19 elseif (x >= 0) && (x < 2.4)
20     corr_screen=-5-10*log10(1+x+17*x^2);
21 elseif (x>=-0.33) && (x<0)
22     corr_screen=-5+10*log10(1-x+17*x^2);
23 elseif x<-0.33
24     corr_screen=0;
25 end
26 if corr_screen<=-18
27     z=1;
28 elseif (corr_screen > -18) && (corr_screen <= -5)
29     z=(-corr_screen-5)/13;
30 elseif corr_screen<-5
31     z=0;
32 end
33 if softness==1
34     if h_v>4
35         h_v=4;
36     elseif h_v<=4
37         h_v = h_v;
38     end
39 d_dot_2=d_2*10^(-0.3*h_v);
40 if h_m<2
41     h_m=2;
42 elseif h_m>=2
43     h_m=h_m;
44 end
45 sigma=d_dot_2/(10*h_m);

```

```

46 if sigma>=1
47     corr_screen_ground=-5*(1-z)*log10(sigma^2/(1+0.01*sigma^2));
48 elseif (sigma < 1) && (sigma >= 0.3)
49     corr_screen_ground=-4*z*log10(sigma);
50 elseif (sigma < 0.3) && (sigma > 0.1)
51     corr_screen_ground=2*z-4*z*log10(0.3/sigma);
52 elseif sigma<=0.1
53     corr_screen_ground=0;
54 end
55 elseif softness==0
56     if h_m <2
57         h_m=0;
58     elseif h_m>=2
59         h_m=h_m;
60     end
61     sigma = d_2/(10*h_m);
62     if sigma<0.2
63         corr_screen_ground=0;
64     elseif (sigma <=10) && (sigma >= 0.2)
65         corr_screen_ground=3*z*log10(sigma)+2*z;
66     elseif sigma >10
67         corr_screen_ground=5*z;
68     end
69 end
70 corr_screen_and_ground=corr_screen+corr_screen_ground+(1-(7*z/13))*calc_corr_ground(d,h_b,
    h_m,softness);
71 end

```

Listing 10: Funktion för korrektion av tjocka skärmar

```

1 function corr_thick_screen=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d,d_1,e)
2
3 if e>1.5
4     V_s=atand((h_v-h_b-0.5)/d_1);
5
6     V_m=atand((h_v-h_m)/(d-d_1-e));
7
8     u=(3.5+V_s+V_m-sqrt(100+V_s^2+V_m^2-(1.6*V_s*V_m)+7*(V_s+V_m)))/18;
9     k=11-(10^((6-u)/6));
10    corr_thick_screen=-k*log10(2.2*(e-0.05));
11    if corr_thick_screen>0
12        corr_thick_screen=0;
13    end
14 else
15    corr_thick_screen=0;
16 end
17 end

```

Listing 11: Matlabkod för framtagande av spektrum för betong- respektive träfasad

```

1 %% Indata till funktion för Nord2000
2 c0=340; % ljudets hastighet [m/s]

```

```

3 v=50;      % driving speed [km/h]
4 n_axles=6; % assumed nr axles on heavy vehicles
5
6 %% Kallar på funktion för Nord2000 för att erhålla tersband
7 [f,LW,A_coeff]=road_traffic_source_strength_nord2000_SWE(v,n_axles);
8
9 % Data hämtad ur rapporten Suggested facade cases for study of sound
10 % insulation considering wall, window and air intake.
11
12 Lp_out=[31.3, 29.3, 27.3, 25.3, 23.3, 21.3, 20.3, 20.3, 18.3, 16.3, 15.3, 14.3, 13.3, 12.3,
13         11.3, 9.3, 8.3, 9.3, 10.3, 11.3, 13.3, 15.3, 16.3, 18.3, 20.3, 22.3, 24.3];
14 Lp_case1=[51.3, 50, 48.2, 46.5, 45, 43, 41.3, 39.5, 35.5, 43.2, 47.3, 48, 46.9, 44.8, 44.8,
15         43.9, 45.4, 49.3, 51.4, 52.1, 56.2, 59.7, 62.9, 64.9, 69.8, 73.5, 76.7];
16 Lp_case6=[57.2, 54.2, 50.3, 46.4, 48.9, 50.6,53.4, 61.8, 58.9, 57.4, 57.7, 59.5, 64.3, 63.5,
17         63.6, 63, 65.2, 68.4, 69.3, 68.7, 72.1, 76.3, 80.5, 82, 85.1, 88.2, 91.2];
18
19 % Reduktionstalet erhålls då respektive fall subtraheras med Lp_out
20
21 R_case1=Lp_case1-Lp_out;
22 R_case6=Lp_case6-Lp_out;
23
24 % Fasadernas reduktionstalskurvor plottas
25 figure(5)
26 semilogx(f,R_case1,'b-o',f,R_case6,'r-*)
27 xlabel('Frekvens (Hz)')
28 ylabel('A-vägt reduktionstal, [dBA]')
29 grid on
30 legend('Träfasad','Betongfasad','location','northwest')

```

Listing 12: Kod för beräkning av ljudnivån på fasaden för fastigheterna längs Gibraltargatan

```

1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700; %Antal lätta fordon under mätperioden
4 Num_heavy_vehicles=580;  %Antal tunga fordon under mätperioden
5 Velocity=42;           %Medelhastighet
6 Default_sound_level=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity
7     ,24); %Hämtar utgångsvärde från funktionen calc_default_sound_level
8 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles; %Andel tunga fordon
9 Road_distance=325;     %Vägens längd
10 Altitude_diff_road=4.5; %Höjdskillnad mellan vägstart och vägslut
11 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10; %Vägstigning i promille
12 corr_incline=calc_corr_incline(G,p); %Hämtar korrektionsfaktor för vägens stigning från
13     funktionen calc_corr_incline
14
15 a=10.5; %Vinkelrätt horisontellt avstånd mellan mottagaren och källan
16 h_m=3; %Lodrätt avstånd mellan källan och mottagaren (våningshöjd)
17 h_b=0; %Vägytans höjd över omkringliggande mark
18 Number_of_floors=6; %Antal våningar
19
20 for i=1:Number_of_floors %Beräknar ljudnivån vid mottagaren våning för våning
21     corr_distance=calc_corr_distance(a,h_m*i,h_b); %Beräknar avståndskorrektion mha funktionen

```

```

    calc_corr_distance våning för våning
20 A_default_value(i)=Default_sound_level; %Fyller vektor med utgångsvärdena
21 A_corr_distance(i)=corr_distance;      %Fyller vektor med avståndskorrectionerna
22 A_corr_incline(i)=corr_incline;       %Fyller vektor med vägstigningskorrectionerna
23 end
24 Value_facade=A_default_value+A_corr_distance+A_corr_incline; %Summerar vektorerna och
    skapar således vektor med ljud nivåer hos mottagarpunkterna.
25
26 Ped_dist_from_facade=3;                %Gångtrafikanterens avstånd från fasaden
27 a_ped=a-Ped_dist_from_facade;          %Beräkningsavstånd för gångtrafikanter
28 ped_height=1.7; %Mottagarpunkt för gångtrafikanter (uppskattad människolängd)
29 Corr_ped_dist=calc_corr_distance(a_ped,ped_height,h_b); %Hämtar avståndskorrection för g
    ångtrafikanter
30
31 Value_pedestrian=A_default_value(1)+A_corr_incline(1)+Corr_ped_dist; %Summerar utgångsv
    ärde och korrectioner för gångtrafikanter

```

Listing 13: Kod för beräkning av ljudnivån på fasaden mot Gibraltargatan för de tilltänkta fastigheterna

```

1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700; %Antal lätta fordon under mätperioden
4 Num_heavy_vehicles=580;  %Antal tunga fordon under mätperioden
5 Velocity=42;           %Medelhastighet
6
7 Default_sound_level=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity
    ,24); %Hämtar källljud från funktionen calc_default_sound_level
8 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles; %Andel tunga fordon
9 Road_distance=325;      %Vägens längd
10 Altitude_diff_road=4.5; %Höjdskillnad mellan vägstart och vägslut
11 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10; %Vägstigning i promille
12 corr_incline=calc_corr_incline(G,p); %Hämtar korrektionsfaktor för vägens stigning från
    funktionen calc_corr_incline
13
14 a=15.7; %Vinkelrätt horisontellt avstånd mellan mottagaren och källan
15 h_m=3; %Lodrätt avstånd mellan källan och mottagaren (våningshöjd)
16 h_b=0; %Vägytans höjd över omkringliggande mark
17
18 Number_of_floors=7; %Antal våningar
19
20 for i=1:Number_of_floors %Beräknar ljudnivån vid mottagaren våning för våning
21 corr_distance=calc_corr_distance(a,h_m*i,h_b); %Beräknar avståndskorrection mha funktionen
    calc_corr_distance våning för våning
22 A_default_value(i)=Default_sound_level; %Fyller vektor med utgångsvärdena
23 A_corr_distance(i)=corr_distance; %Fyller vektor med avståndskorrectionerna
24 A_corr_incline(i)=corr_incline; %Fyller vektor med vägstigningskorrectionerna
25 end
26
27 Ped_dist_from_facade=3; %Gångtrafikanterens avstånd från fasaden
28 a_ped=a-Ped_dist_from_facade; %Mätavstånd för gångtrafikanter
29 ped_height=1.7; %Höjd för mottagarpunkten (uppskattad medellängd)
30 Corr_ped_dist=calc_corr_distance(a_ped,ped_height,h_b); %Beräknar avståndskorrection för g

```

```

31     ångtrafikanter
32 Value_pedestrian=A_default_value(1)+A_corr_incline(1)+Corr_ped_dist;    %Summerar utgångsvärde och korrektionsvärden för en gångtrafikanter
33 Value_facade=A_default_value+A_corr_distance+A_corr_incline;    %Summerar vektorerna och skapar således vektor med ljudnivåer hos mottagarpunkterna.

```

Listing 14: Matlabkod för beräkning av ljudnivån vid fasaderna på innergårdarna på de tilltänkta fastigheterna

```

1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700;    %Antal lätta fordon under mätperioden
4 Num_heavy_vehicles=580;    %Antal tunga fordon under mätperioden
5 Velocity=42;    %Medelhastighet
6
7 Default_sound_level=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity,24);    %Hämtar källljud från funktionen calc_default_sound_level
8 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles;    %Andel tunga fordon
9 Road_distance=325;    %Vägens längd
10 Altitude_diff_road=4.5;    %Höjdskillnad mellan vägstart och vägslut
11 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10;    %Vägstigning i promille
12 corr_incline=calc_corr_incline(G,p);    %Hämtar korrektionsfaktor för vägens stigning från funktionen calc_corr_incline
13
14 a=15.7;    %Vinkelrätt horisontellt avstånd mellan mottagaren och källan
15 h_m=3;    %Lodrätt avstånd mellan källan och mottagaren (våningshöjd)
16 h_b=0;    %Vägytans höjd över omkringliggande mark
17 b_g=1;    %Anger mottagarläge, 1=fasad närmast vägen (på innergården) och 0= Övriga fasader (på innergården), se Nordisk beräkningsmodell, korrektion för slutna gårdsrum.
18
19 Number_of_floors=7;    %Antal våningar
20 Floor_diff=h_m;    %Höjdskillnad per våningsplan
21
22 h_h=Floor_diff*Number_of_floors;    %Total hushöjd
23 b_h=15.7;    %Avstånd till fasad mot vägen från vägmitten
24
25 corr_multi_reflex_closed_courtyard=calc_corr_multi_reflex_closed_courtyard(h_h,b_h,b_g);    %Hämtar korrektion för slutna gårdsrum
26
27 for i=1:Number_of_floors    %Beräknar ljudnivån vid mottagaren våning för våning
28 corr_distance=calc_corr_distance(a,h_m*i,h_b);    %Beräknar avståndskorrektion mha funktionen calc_corr_distance våning för våning
29
30 A_corr_multi_reflex_closed_courtyard(i)=corr_multi_reflex_closed_courtyard;    %Fyller vektor med korrektionstal för slutna gårdsrum
31 A_default_value(i)=Default_sound_level;    %Fyller vektor med utgångsvärdena
32 A_corr_incline(i)=corr_incline;    %Fyller vektor med vägstigningskorrektionerna
33 end
34 Value_facade=A_default_value+A_corr_incline+A_corr_multi_reflex_closed_courtyard;    %Beräknar slutvärdet genom att summera utgångsvärdet och korrektionerna

```

Listing 15: Matlabkod för beräkning av ljudnivåer längs sidogatan mellan tilltänkta kvarter

```
1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700; %Antal lätta fordon under mätperioden
4 Num_heavy_vehicles=580; %Antal tunga fordon under mätperioden
5 Velocity=42; %Medelhastighet
6 Default_sound_level=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity
,24); %Hämtar källljud från funktionen calc_default_sound_level
7 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles; %Andel tunga fordon
8 Road_distance=325; %Vägens längd
9 Altitude_diff_road=4.5; %Höjdskillnad mellan vägstart och väglut
10 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10; %Vägstigning i promille
11 corr_incline=calc_corr_incline(G,p); %Hämtar korrektionsfaktor för vägens stigning från
    funktionen calc_corr_incline
12
13
14 b_s=15/2; %Halva sidogatans bredd mellan husen
15 b_h=26.2-10.5; %Avståndet mellan källan och sidogatans start
16 a_thick_screen=b_h; %Vinkelrätt horisontellt avstånd mellan skärm och källan
17
18 h_b=0; %Vägytans höjd över omkringliggande mark
19 Number_of_sections=6; %Antal sektioner i sidogatans riktning
20 Number_of_floors=8; %Antal våningar
21
22 h_m=3; %Mottagarhöjd (höjdskillnad mellan våningsplanen)
23 h_v=h_m*Number_of_floors; %Skärmens höjd i förhållande till reflexionsplanet på mottagarens
    sida av skärmen
24 softness=0; %Markens beskaffenhet(0=hård,1=mjuk)
25 Building_length=50; %Byggnadens längd i riktning med sidogatan
26 e_thick_screen=13.5; %Skärmens tjocklek
27
28 for j=1:Number_of_sections %Beräknar ljudnivån vid mottagaren våning för våning
29 Q=calc_corr_multi_reflex_side_street(b_s,b_h,b_h+j*(Building_length/Number_of_sections)); %
    Beräknar korrektion för multipelreflexer
30
31 Angle_case_1=atan(2*b_s/(j*(Building_length/Number_of_sections))); %Beräknar vinkel för
    delsträcka 1
32 Angles_case_1(j)=Angle_case_1; %Fyller vektor med vinkelområden för samtliga mätpunkter f
    ör delsträcka 1
33 D_case_1=calc_corr_anglearea(Angle_case_1); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för
    samtliga mottagarpunkter (delsträcka 1)
34
35 Angle_case_2=90-Angle_case_1; %Beräknar vinkel för delsträcka 2
36 Angles_case_2(j)=Angle_case_2; %Fyller vektor med vinkelområden för samtliga mätpunkter för
    delsträcka 2
37 D_case_2=calc_corr_anglearea(Angle_case_2); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 2)
38
39 Angle_case_3=Angle_case_1+Angle_case_2; %Beräknar vinkel för delsträcka 3
40 Angles_case_3(j)=Angle_case_3; %Fyller vektor med vinkelområden för samtliga mätpunkter f
    ör delsträcka 3
```

```

41 D_case_3=calc_corr_anglearea(Angle_case_3); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 3)
42
43 d_case_1=(b_h+j*(Building_length/Number_of_sections))/cosd(Angle_case_1/2); %Beräknar d,
    beräkningsavstånd till vägens mitt för delsträcka 1
44 ds_case_1(j)=d_case_1; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för samtliga mottagarpunkter för
    delsträcka 1
45
46 d_case_2=(b_h+j*(Building_length/Number_of_sections))/cosd(Angle_case_1+(Angle_case_2/2));
    %Beräknar d, beräkningsavstånd till vägens mitt för delsträcka 2
47 ds_case_2(j)=d_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för samtliga mottagarpunkter f
    ör delsträcka 2
48
49 d_case_3=(b_h+j*(Building_length/Number_of_sections))/cosd(Angle_case_3/2); %Beräknar d, ber
    äkningsavstånd till vägens mitt för delsträcka 3
50 ds_case_3(j)=d_case_3; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för samtliga mottagarpunkter f
    ör delsträcka 3
51
52 d_1_case_2=a_thick_screen/cosd(Angle_case_1+(Angle_case_2/2)); %Beräknar d_1, ber
    äkningsavstånd från skärmen till vägens mitt för delsträcka 2
53 d_1s_case_2(j)=d_1_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd från skärmen till vägens
    mitt för samtliga punkter för delsträcka 2
54
55 d_2_case_2=d_case_2-d_1_case_2; %Beräknar d_2, beräkningsavstånd från skärmen till
    mottagaren för delsträcka 2
56 d_2s_case_2(j)=d_2_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd från skärmen till mottagaren
    för delsträcka 2
57
58 d_1_case_3=a_thick_screen/cosd(Angle_case_3/2); %Beräknar d_1, beräkningsavstånd från sk
    ärmen till vägens mitt för delsträcka 3
59 d_1s_case_3(j)=d_1_case_3; %Fyller vektor med beräkningsavstånd från skärmen till vägens
    mitt för samtliga punkter för delsträcka 3
60
61 d_2_case_3=d_case_3-d_1_case_3; %Beräknar d_2, beräkningsavstånd från skärmen till
    mottagaren för delsträcka 3
62 d_2s_case_3(j)=d_2_case_3; %Fyller vektor med beräkningsavstånd från skärmen till
    mottagaren för delsträcka 3
63
64 for i=1:Number_of_floors;
65
66
67 F_case_2=calc_corr_screen_and_ground(d_1_case_2,d_2_case_2,d_case_2,h_v,h_m*i,h_b,
    softness); %Beräknar skärm- och markkorrektion för delsträcka 2
68 A_corr_screen_and_ground_case_2(j,i)=F_case_2; %Fyller matris med värden för skärm- och
    markkorrektion för samtliga mottagarpunkter för delsträcka 2
69
70 F_case_3=calc_corr_screen_and_ground(d_1_case_3,d_2_case_3,d_case_3,h_v,h_m*i,h_b,
    softness); %Beräknar skärm- och markkorrektion för delsträcka 3
71 A_corr_screen_and_ground_case_3(j,i)=F_case_3; %Fyller matris med värden för skärm- och
    markkorrektion för samtliga mottagarpunkter för delsträcka 3
72

```

```

73     E_case_2=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d_case_2,d_1_case_2,e_thick_screen); %Ber
      äknar korrektion för tjock skärm för delsträcka 2
74     A_corr_thick_screen_case_2(j,i)=E_case_2; %Fyller matris med värden för korrektion för
      tjock skärm för delsträcka 2
75
76     E_case_3=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d_case_3,d_1_case_3,e_thick_screen); %Ber
      äknar korrektion för tjock skärm för delsträcka 3
77     A_corr_thick_screen_case_3(j,i)=E_case_3; %Fyller matris med värden för korrektion för
      tjock skärm för delsträcka 3
78
79
80
81     A_corr_anglearea_case_1(j,i)=D_case_1; %Fyller matris med korrektioner för vinkelomr
      åde för fall 1
82     A_corr_anglearea_case_2(j,i)=D_case_2; %Fyller matris med korrektioner för vinkelomr
      åde för fall 2
83     A_corr_anglearea_case_3(j,i)=D_case_3; %Fyller matris med korrektioner för vinkelomr
      åde för fall 3
84
85     A_corr_multi_reflex_side_street(j,i)=Q; %Fyller matris med korrektioner för slutna g
      årdsrum
86     A_default_value(j,i)=Default_sound_level; %Fyller matris med utgångsvärdena
87     A_corr_incline(j,i)=corr_incline; %Fyller matris med vägstigningskorrektionerna
88
89 end
90 end
91
92
93 Value_facade_case_1=A_default_value+A_corr_incline+A_corr_multi_reflex_side_street+
      A_corr_anglearea_case_1; %Summerar utgångsvärde och korrektioner för delsträcka 1
94 Value_facade_case_2=A_default_value+A_corr_incline+A_corr_multi_reflex_side_street+
      A_corr_anglearea_case_2+A_corr_screen_and_ground_case_2+A_corr_thick_screen_case_2; %
      Summerar utgångsvärde och korrektioner för delsträcka 2
95 Value_facade_case_3=A_default_value+A_corr_incline+A_corr_multi_reflex_side_street+
      A_corr_anglearea_case_3+A_corr_screen_and_ground_case_3+A_corr_thick_screen_case_3; %
      Summerar utgångsvärde och korrektioner för delsträcka 3
96
97
98 for j=1:Number_of_sections
99     for i=1:Number_of_floors
100 Value_total(j,i)=10*log10(10^(Value_facade_case_1(j,i)/10)+10^(Value_facade_case_2(j,i)/10)
      +10^(Value_facade_case_3(j,i)/10)); %Beräknar slutlig ljudnivå för alla mottagarpunkter
101     end
102 end
103
104 for i=1:Number_of_sections
105     Mean_section=mean(Value_total(i,:)); %Beräknar medelljudnivå för varje sektion
106     Value_mean_section(i)=Mean_section; %Fyller vektor med medelljudnivåer
107 end

```

Listing 16: Matlabkod för beräkning av ljudnivåer på fasaden mot Gibraltargatan för fastighet på Palmstedtsgatan 3A,3B och 3C

```
1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700;    %Antal lätta fordon
4 Num_heavy_vehicles=580;    %Antal tunga fordon
5 Velocity=42;               %Medelhastighet
6
7 Q=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity,24); %
   calc_default_sound_level hämtar källjud baserat på tung och lätt trafik, hastighet samt
   mättid i timmar
8
9 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles;    %Andel tung trafik
10 Road_distance=325;                          %Vägens längd
11 Altitude_diff_road=4.5;                     %Höjdskillnad mellan vägstart och väglut
12 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10;    %G=lutning i promille (delsträckan Chalmers Tv
   ärgata – Engdahlsgatan)
13 corr_incline=calc_corr_incline(G,p); %Beräknar korrektion för vägstigning
14
15 h_b=0; %Vägytans höjd över omkringliggande mark
16 h_v=18; %Skärmens höjd över reflektionsplanet
17 softness=1; %Om softness = 1, mjuk mark. Om Softness=0, hård mark.
18 Number_of_floors=8; %Antal våningar
19 Number_of_sections=6; %Antal sektioner
20 Closest_dist=48.9; %Sektion 1s avstånd till vägmitten
21 Longest_dist=69.8; %Sektion 6 avstånd till vägmitten
22 y_diff=12.8; %Höjdskillnad mellan gata och husbas
23 Floor_diff=3; %Höjddökning i meter per våningsplan
24 a_thick_screen=10.5; %Vinkelrätt avstånd från skärm till vägmitten
25 e_thick_screen=13.5; %Skärmens tjocklek
26
27 for i=1:Number_of_sections
28 a=Closest_dist-((Longest_dist-Closest_dist)/(Number_of_sections-1))+((Longest_dist-
   Closest_dist)/(Number_of_sections-1))*i; %Beräknar kortaste horisontella avståndet till
   vägmitten från mottagarpunkten
29 Distances(i)=a; %Fyller vektor med beräkningsavstånden för alla mottagarpunkter
30
31 Angle_case_1=90-(35.2/(Number_of_sections-1))+(35.2/(Number_of_sections-1))*i; %Beräknar
   vinkelområde för delsträcka 1
32 Angles_case_1(i)=Angle_case_1; %Fyller vektor med vinkelområden för delsträcka 1
33
34 Angle_case_2=180-Angle_case_1; %Beräknar vinkelområde för delsträcka 2
35 Angles_case_2(i)=Angle_case_2; %Fyller vektor med vinkelområden för delsträcka 2
36
37 d_case_1=a/(cosd(Angle_case_1/2)); %Beräknar beräkningsavstånd för delsträcka 1
38 d_case_2=a/(cosd((Angle_case_2/2)+(Angle_case_1-90))); %Beräknar beräkningsavstånd för
   delsträcka 2
39
40 Distances_case_1(i)=d_case_1; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för delsträcka 1
41 Distances_case_2(i)=d_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för delsträcka 2
42
```

```

43 d_1_case_2=a_thick_screen/(cosd((Angle_case_2/2)+(Angle_case_1-90))); %Beräknar d_1, ber
    äkningsavstånd mellan skärm och väg för delsträcka 2
44 d_2_case_2=d_case_2-d_1_case_2; %Beräknar d_2, beräkningsavstånd mellan mottagare och sk
    ärm för delsträcka 2
45
46 Distances_d_2_case_2(i)=d_2_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd mellan skärm och
    väg för delsträcka 2
47 Distances_screen_case_2(i)=d_1_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd mellan
    mottagare och skärm för delsträcka 2
48
49 for j=1:Number_of_floors
50
51 h_m=y_diff+Floor_diff*j; %Beräknar h_m för varje våningsplan
52 B=calc_corr_distance(d_case_1,h_m,h_b); %Beräknar avståndskorrektion för varje
    mottagarpunkt (delsträcka 1)
    %Ber
    äknar avståndskorrektion
53 B_case_2=calc_corr_distance(d_case_2,h_m,h_b); %Beräknar avståndskorrektion för varje
    mottagarpunkt (delsträcka 2)
54
55 C=calc_corr_ground(d_case_1,h_b,h_m,softness); %Beräknar markkorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
56
57 D=calc_corr_anglearea(Angle_case_1); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
58 D_case_2=calc_corr_anglearea(Angle_case_2); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 2)
59
60 E_case_2=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d_case_2,d_1_case_2,e_thick_screen); %Beräknar
    korrektion för tjock skärm (delsträcka 2)
61 F_case_2=calc_corr_screen_and_ground(d_1_case_2,d_2_case_2,d_case_2,h_v,h_m,h_b,softness);
    %Beräknar mark- och skrämkorrektion (delsträcka 2)
62
63 A_corr_screen_and_ground_case_2(i,j)=F_case_2; %Fyller matris med mark- och sk
    ärmkorrektion för delsträcka 2
64 A_corr_thick_screen_case_2(i,j)=E_case_2; %Fyller matris med korrektion för tjock skärm
    (delsträcka 2)
65
66 A_corr_distance_case_1(i,j)=B; %Fyller matris med avståndskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
67 A_corr_distance_case_2(i,j)=B_case_2; %Fyller matris med avståndskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 2)
68
69 A_default_value(i,j)=0; %Beräknar källjud för alla mottagarpunkter (används för båda delstr
    äckor)
70
71 A_corr_incline(i,j)=corr_incline; %Fyller vektor med stigningskorrektion för alla
    mottagarpunkter (används för båda delsträckor)
72
73 A_corr_ground_case_1(i,j)=C; %Fyller vektor med markkorrektion för delsträcka 1
74

```

```

75 A_corr_anglearea_case_1(i,j)=D; %Fyller vektor med vinkelområdeskorrektion för delsträcka
    1
76 A_corr_anglearea_case_2(i,j)=D_case_2; %Fyller vektor med vinkelområdeskorrektion för
    delsträcka 2
77 end
78 end
79 Value_facade_angle_case_1=A_default_value+A_corr_distance_case_1+A_corr_incline+
    A_corr_ground_case_1+A_corr_anglearea_case_1; %Beräknar bidraget från delsträcka 1 för
    samtliga mätpunkter
80 Value_facade_angle_case_2=A_default_value+A_corr_distance_case_2+A_corr_incline+
    A_corr_anglearea_case_2+A_corr_thick_screen_case_2; %Beräknar bidraget från delsträcka
    2 för samtliga mätpunkter
81
82
83
84 for i=1:Number_of_sections
85     for j=1:Number_of_floors
86 Value_total(i,j)=10*log10(10^(Value_facade_angle_case_1(i,j)/10)+10^(
    Value_facade_angle_case_2(i,j)/10)); %Beräknar slutlig ljudnivå genom att summera
    bidrag från båda delsträckor
87     end
88 end
89 for i=1:Number_of_floors
90     Mean_floor=mean(Value_total(:,i)); %Beräknar medelljudnivå per våningsplan
91     Value_mean_floor(i)=Mean_floor; %Fyller vektor med medelljudnivåer
92 end

```

Listing 17: Matlabkod för beräkning av ljudnivån vid fasaden mot Gibraltargatan för fastigheterna på Rosensköldsgatan och Spaldingsgatan

```

1 clear all
2
3 Num_light_vehicles=7700; %Antal lätta fordon under mätperioden
4 Num_heavy_vehicles=580; %Antal tunga fordon under mätperioden
5 Velocity=42; %Medelhastighet
6
7 Q=calc_default_sound_level(Num_light_vehicles,Num_heavy_vehicles,Velocity,24); %
    calc_default_sound_level hämtar källjud baserat på tung och lätt trafik, hastighet samt
    mättid i timmar
8
9 p=Num_heavy_vehicles/Num_light_vehicles; %Andel tung trafik
10
11 Road_distance=325; %Vägens längd
12 Altitude_diff_road=4.5; %Höjdskillnad mellan vägstart och vägslut
13 G=(Altitude_diff_road/Road_distance)*10; %Vägstigning i promillecorr_incline=
    calc_corr_incline(G,p);
14 corr_incline=calc_corr_incline(G,p); %Hämtar korrektionsfaktor för vägens stigning från
    funktionen calc_corr_incline
15
16 h_b=0; %Vägytans höjd över omkringliggande mark
17 h_v=10; %Skärmens höjd över reflektionsplanet
18 softness=1; %Om softness = 1, mjuk mark. Om Softness=0, hård mark.

```

```

19
20 Number_of_floors=8; %Antal våningar
21 Number_of_sections=2; %Antal sektioner
22 Closest_dist=51; %Sektion 1s avstånd till vägmitten
23 Longest_dist=63; %Sektion 6 avstånd till vägmitten
24 y_diff=65-56; %Höjdskillnad mellan gata och husbas
25 Floor_diff=3; %Höjdökning i meter per våningsplan
26 a_thick_screen=10.5; %Vinkelräta avståndet från skärmen till vägmitten
27 e_thick_screen=13.5; %Skärmens tjocklek
28
29
30 for i=1:Number_of_sections
31 a=Closest_dist-((Longest_dist-Closest_dist)/(Number_of_sections-1))+((Longest_dist-
    Closest_dist)/(Number_of_sections-1))*i; %Beräknar kortaste horisontella avståndet till
    vägmitten från mottagarpunkten
32 Distances(i)=a; %Fyller vektor med avstånd, a
33
34 Angle_case_1=24-((29-24)/(Number_of_sections-1))+((29-24)/(Number_of_sections-1))*i; %Ber
    äknar vinkelområde för delsträcka 1
35 Angles_case_1(i)=Angle_case_1; %Fyller vektor med vinkelområden för delsträcka 1
36
37 Angle_case_2=90-Angle_case_1; %Beräknar vinkelområde för delsträcka 2
38 Angles_case_2(i)=Angle_case_2; %Fyller vektor med vinkelområden för delsträcka 2
39
40 Angle_case_3=180-Angle_case_2-Angle_case_1; %Beräknar vinkelområde för delsträcka 3
41 Angles_case_3(i)=Angle_case_3; %Fyller vektor med vinkelområden för delsträcka 3
42
43 d_case_1=a/(cosd(Angle_case_1/2)); %Beräknar beräkningsavstånd för delsträcka 1
44 Calculation_distances_case_1(i)=d_case_1; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för delstr
    äcka 1
45
46 d_case_2=a/(cosd(Angle_case_2/2)); %Beräknar beräkningsavstånd för delsträcka 2
47 Calculation_distances_case_2(i)=d_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd för delstr
    äcka 2
48
49 d_case_3=a/(cosd(Angle_case_3/2)); %Beräknar beräkningsavstånd för delsträcka 3
50 Calculation_distances_case_3(i)=d_case_3;%Fyller vektor med beräkningsavstånd för delsträcka
    3
51
52 d_1_case_2=a_thick_screen/(cosd(Angle_case_2/2)); %Beräknar d_1, beräkningsavstånd mellan v
    äg och skärm för delsträcka 2
53 d_2_case_2=d_case_2-d_1_case_2; %Beräknar d_2, beräkningsavstånd mellan skärm och
    mottagare för delsträcka 2
54
55 d_1_case_3=a_thick_screen/(cosd(Angle_case_3/2)); %Beräknar d_1, beräkningsavstånd mellan v
    äg och skärm för delsträcka 3
56 d_2_case_3=d_case_3-d_1_case_3; %Beräknar d_2, beräkningsavstånd mellan skärm och mottagare
    för delsträcka 2
57
58 Distances_d_2_case_2(i)=d_2_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd , d_2 för delstr
    äcka 2

```

```

59 Distances_screen_case_2(i)=d_1_case_2; %Fyller vektor med beräkningsavstånd , d_1 för
    delsträcka 2
60
61 Distances_d_2_case_3(i)=d_2_case_3; %Fyller vektor med beräkningsavstånd , d_2 för delstr
    äcka 3
62 Distances_screen_case_3(i)=d_1_case_3; %Fyller vektor med beräkningsavstånd , d_2 för
    delsträcka 3
63
64 for j=1:Number_of_floors
65 h_m=y_diff+Floor_diff*j; %Beräknar h_m för varje våningsplan
66
67 B_case_1=calc_corr_distance(d_case_1,h_m,h_b); %Beräknar avståndskorrektion för varje
    mottagarpunkt (delsträcka 1)
68 B_case_2=calc_corr_distance(d_case_2,h_m,h_b); %Beräknar avståndskorrektion för varje
    mottagarpunkt (delsträcka 2)
69 B_case_3=calc_corr_distance(d_case_3,h_m,h_b); %Beräknar avståndskorrektion för varje
    mottagarpunkt (delsträcka 3)
70
71 C=calc_corr_ground(d_case_1,h_b,h_m,softness); %Beräknar markkorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
72
73 D_case_1=calc_corr_anglearea(Angle_case_1); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
74 D_case_2=calc_corr_anglearea(Angle_case_2); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 2)
75 D_case_3=calc_corr_anglearea(Angle_case_3); %Beräknar vinkelområdeskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 3)
76
77 E_case_2=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d_case_2,d_1_case_2,e_thick_screen); %Beräknar
    korrektion för tjocka skärmar, delsträcka 2
78 E_case_3=calc_corr_thick_screen(h_v,h_m,h_b,d_case_3,d_1_case_3,e_thick_screen); %Beräknar
    korrektion för tjocka skärmar, delsträcka 3
79
80 F_case_2=calc_corr_screen_and_ground(d_1_case_2,d_2_case_2,d_case_2,h_v,h_m,h_b,softness);
    %Beräknar mark- och skärmkorrektion för delsträcka 2
81 F_case_3=calc_corr_screen_and_ground(d_1_case_3,d_2_case_3,d_case_3,h_v,h_m,h_b,softness);
    %Beräknar mark- och skärmkorrektion för delsträcka 3
82
83 A_corr_screen_and_ground_case_2(i,j)=F_case_2; %Fyller matris med mark- och sk
    ärmkorrektioner för delsträcka 2
84 A_corr_screen_and_ground_case_3(i,j)=F_case_3; %Fyller matris med mark- och sk
    ärmkorrektioner för delsträcka 3
85
86 A_corr_thick_screen_case_2(i,j)=E_case_2; %Fyller matris med korrektioner för tjocka sk
    ärmar för delsträcka 2
87 A_corr_thick_screen_case_3(i,j)=E_case_3; %Fyller matris med korrektioner för tjocka sk
    ärmar för delsträcka 3
88
89 A_corr_distance_case_1(i,j)=B_case_1; %Beräknar avståndskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (delsträcka 1)
90 A_corr_distance_case_2(i,j)=B_case_2; %Beräknar avståndskorrektion för samtliga

```

```

    mottagarpunkter (deslsträcka 2)
91 A_corr_distance_case_3(i,j)=B_case_3; %Beräknar avståndskorrektion för samtliga
    mottagarpunkter (deslsträcka 3)
92
93 A_corr_anglearea_case_1(i,j)=D_case_1; %Fyller matris med korrektioner för vinkelområdet (
    delsträcka 1)
94 A_corr_anglearea_case_2(i,j)=D_case_2; %Fyller matris med korrektioner för vinkelområdet (
    delsträcka 2)
95 A_corr_anglearea_case_3(i,j)=D_case_3; %Fyller matris med korrektioner för vinkelområdet (
    delsträcka 3)
96
97 A_corr_ground_case_1(i,j)=C; %Fyller matris med markkorrektion för delsträcka 1
98
99 A_default_value(i,j)=Q; %Beräknar källjud för alla mottagarpunkter
100 A_corr_incline(i,j)=corr_incline; %Beräknar stigningskorrektion för alla mottagarpunkter
101 end
102 end
103
104 Value_facade_angle_case_1=A_default_value+A_corr_distance_case_1+A_corr_incline+
    A_corr_ground_case_1+A_corr_anglearea_case_1; % Beräknar bidrag från delsträcka 1
105 Value_facade_angle_case_2=A_default_value+A_corr_distance_case_2+A_corr_incline+
    A_corr_anglearea_case_2+A_corr_thick_screen_case_2; % Beräknar bidrag från delsträcka 2
106 Value_facade_angle_case_3=A_default_value+A_corr_distance_case_3+A_corr_incline+
    A_corr_anglearea_case_3+A_corr_thick_screen_case_3; % Beräknar bidrag från delsträcka 3
107
108 for i=1:Number_of_sections
109     for j=1:Number_of_floors
110 Value_total(i,j)=10*log10(10^(Value_facade_angle_case_1(i,j)/10)+10^(
    Value_facade_angle_case_2(i,j)/10)+10^(Value_facade_angle_case_3(i,j)/10)) %Summerar
    bidrag från delsträckor och beräknar således slutlig ljudnivå vid fasaden
111     end
112 end
113
114 for i=1:Number_of_floors
115     Mean_floor=mean(Value_total(:,i)); %Beräknar medelljudnivån för varje våning
116     Value_mean_floor(i)=Mean_floor; %Fyller vektor med medelljudnivåer
117 end

```

Listing 18: Matlabkod för beräkningar av Gatusektion 1 med hjälp av Nord2000

```

1
2 %%% Indata till Nord2000
3 c0=340; % Ljudets hastighet [m/s]
4 v=42; % Hastighet hos fordon på Gibraltargatan [km/h]
5 n_axles=6; % Antal hjulaxlar på tunga fordon
6
7 %%% Kallar på funktion för nord2000
8 [f,LW,A_coeff]=road_traffic_source_strength_nord2000_SWE(v,n_axles);
9 Nf=length(f);
10
11 % A-vägda tersband för tung- och lätt trafik skapas med avseende på motor- och rulljud
12

```

```

13 LW_latt_rullning=LW(:,1)+A_coeff;
14 LW_latt_motor=LW(:,4)+A_coeff;
15 LW_tung_rullning=LW(:,3)+A_coeff;
16 LW_tung_motor=LW(:,6)+A_coeff;
17
18 % Tar fram vektorer till for-loop
19 Tung_A_motor = zeros(length(f),1);
20 Tung_A_rullning = zeros(length(f),1);
21
22 Latt_A_motor = zeros(length(f),1);
23 Latt_A_rullning = zeros(length(f),1);
24
25 % Använder ekvation (1) L_tot = 10*log(Summa(10^(LW/10)
26 % Gör först 10^(LW/10) i for-loopen och gör nya vektorer med dessa värden
27
28 for i=1:length(f)
29     latt_motor = 10^(LW_latt_motor(i)/10);
30     latt_rullning = 10^(LW_latt_rullning(i)/10);
31
32     Latt_A_motor(i) = latt_motor;
33     Latt_A_rullning(i) = latt_rullning;
34
35     tung_motor = 10^(LW_tung_motor(i)/10);
36     tung_rullning = 10^(LW_tung_rullning(i)/10);
37
38     Tung_A_rullning(i) = tung_rullning;
39     Tung_A_motor(i) = tung_motor;
40 end
41
42 % Summerar sedan dessa vektorer
43
44 Summa_Latt_A_motor = sum(Latt_A_motor);
45 Summa_Latt_A_rullning = sum(Latt_A_rullning);
46 Summa_Tung_A_motor = sum(Tung_A_motor);
47 Summa_Tung_A_rullning = sum(Tung_A_rullning);
48
49 % Tar fram effektnivå för rullning/motor med hjälp av ovanstående summer
50
51 L_Latt_A_rullning = 10*log10(Summa_Latt_A_rullning);
52
53 L_Latt_A_motor = 10*log10(Summa_Latt_A_motor);
54
55 L_Tung_A_rullning = 10*log10(Summa_Tung_A_rullning);
56
57 L_Tung_A_motor = 10*log10(Summa_Tung_A_motor);
58
59 % Summerar ihop rull- och motorljud
60
61 % Med motorljud:
62 L_A_Latt = 10*log10(10^(L_Latt_A_rullning/10)+10^(L_Latt_A_motor/10))
63 L_A_Tung = 10*log10(10^(L_Tung_A_rullning/10)+10^(L_Tung_A_motor/10))

```

```

64 |
65 | % Utan motorljud (används vid beräkning av elfordon):
66 | L_A_Latt = L_Latt_A_rullning
67 | L_A_Tung = L_Tung_A_rullning
68 |
69 | % Viktar ihop en total effektnivå för trafik med 7.53% tung trafik
70 |
71 | L_tot = 10*log10((1-0.0753)*10^(L_A_Latt/10)+0.0753*10^(L_A_Tung/10))

```

Listing 19: Matlabkod för beräkning av samhällsekonomisk kostnad för gatusektion 1

```

1 |
2 | % Kr per persontimme. Prisnivå 2014.
3 | kr_bil=93;
4 | kr_buss=57;
5 |
6 | % Räknar worst case:
7 | % – alla resor är till, i och från arbetet,
8 | % – alla tunga fordon är bussar
9 | N_tot=7700;
10 | N_tung=580;
11 | N_pers_per_buss=30;
12 |
13 | v1=42/3.6; % km/h => m/s
14 | v2=30/3.6; % km/h => m/s
15 | s=325; % m
16 |
17 | % tid
18 | t1=325/v1; % s
19 | t2=325/v2; % s
20 |
21 | % tidsskillnad
22 | dt=t2-t1; % s
23 | % i timmar
24 | dt_h=(dt/60)/60; % h
25 |
26 | % årskostnad för längre restid
27 | SEK_bil=round(365*dt_h*(N_tot-N_tung)*kr_bil)
28 | SEK_tung=round(365*dt_h*N_tung*kr_buss*N_pers_per_buss)
29 |
30 | SEK_tot=SEK_bil+SEK_tung

```

Listing 20: Matlabkod för beräkning med Nord2000

```

1 |
2 | clear all
3 | close all
4 | clc
5 |
6 | %% General set-up
7 |
8 | c0=340;

```

```

9 v=42; % driving speed [km/h]
10 n_axles=6; % assumed nr axles on heavy vehicles
11
12 %% Anropar funktionen road_traffic_source_strength_nord2000_SWE
13 [f,LW,A_coeff]=road_traffic_source_strength_nord2000_SWE(v,n_axles);
14 Nf=length(f);
15
16 %Hämtar data
17 LW_light_rolling=LW(:,1);
18 LW_light_engine=LW(:,4);
19 LW_heavy_rolling=LW(:,3);
20 LW_heavy_engine=LW(:,6);
21 LW_heavy=zeros(length(LW_heavy_rolling),1);
22 LW_light=zeros(length(LW_heavy_rolling),1);
23
24 for i=1:length(LW_heavy_rolling) %Adderar rolling och engine noise för både lätt och tung
25     LW_heavy(i)=10*log10(10^(LW_heavy_rolling(i)/10)+10^(LW_heavy_engine(i)/10));
26     LW_light(i)=10*log10(10^(LW_light_rolling(i)/10)+10^(LW_light_engine(i)/10));
27 end
28
29 LW_heavy_A=zeros(27,1);
30 LW_light_A=zeros(27,1);
31 for i=1:length(LW_heavy)
32     LW_heavy_A(i)=LW_heavy(i)+A_coeff(i);
33     LW_light_A(i)=LW_light(i)+A_coeff(i);
34 end
35
36 tunga=0.0753; % Andel tung trafik
37
38 LA_N2k_sou_vec=zeros(length(LW_heavy),1);
39 for i=1:length(LW_heavy)
40     LA_N2k_sou_vec(i)=10*log10((1-tunga)*10^(LW_light_A(i)/10)+tunga*10^(LW_heavy_A(i)/10));
41     % Adderar heavy och light
42     % LA_N2k_sou_vec(i)=10*log10(10^((1-tunga)*LW_light_A(i)/10)+10^(tunga*LW_heavy_A(i)/10))
43     % Adderar heavy och light
44 end
45
46 LA_N2k_sou_tot = 10*log10(sum(10.^(LA_N2k_sou_vec/10))); % källspektrat som entalsvärde i
47 dBA
48 LA_N2k_sou_vec_0dBA = LA_N2k_sou_vec - LA_N2k_sou_tot; % källspektrat normaliserat till 0
49 dBA
50
51 % Data för reduktionstal
52 Lp_out=[31.3, 29.3, 27.3, 25.3, 23.3, 21.3, 20.3, 20.3, 18.3, 16.3, 15.3, 14.3, 13.3, 12.3,
53     11.3, 9.3, 8.3, 9.3, 10.3, 11.3, 13.3, 15.3, 16.3, 18.3, 20.3, 22.3, 24.3];
54 Lp_case1=[51.3, 50, 48.2, 46.5, 45, 43, 41.3, 39.5, 35.5, 43.2, 47.3, 48, 46.9, 44.8, 44.8,
55     43.9, 45.4, 49.3, 51.4, 52.1, 56.2, 59.7, 62.9, 64.9, 69.8, 73.5, 76.7];
56 Lp_case6=[57.2, 54.2, 50.3, 46.4, 48.9, 50.6, 53.4, 61.8, 58.9, 57.4, 57.7, 59.5, 64.3,
57     63.5, 63.6, 63, 65.2, 68.4, 69.3, 68.7, 72.1, 76.3, 80.5, 82, 85.1, 88.2, 91.2];
58 Lp_case2=[56.1, 54.2, 51.3, 48.9, 48.4, 47.7, 47.3, 49.9, 49.9, 50, 50.8, 51.1, 50.3, 47.8,
59     46, 45, 47, 51, 54.9, 58.4, 62.7, 66.7, 69, 71.2, 74.4, 77.6, 79.8];

```

```

52 Lp_case5=[57.2, 56.1, 54.8, 53.8, 52.1, 52.7, 52.3, 52.2, 49.3, 43.4, 49.1, 50.1, 50.5,
53     51.4, 55.1, 55, 56.2, 58.4, 59.4, 58.4, 59.5, 61.5, 62.6, 64.6, 66.6, 68.6, 70.6];
54
55 R_case2=Lp_case2-Lp_out; % Reduktionstal för lätt vägg
56 R_case5=Lp_case5-Lp_out; % Reduktionstal för tung vägg
57
58
59 Nod=[1 ,62.775, 3, 10.5 2           % [Nod, Ljudnivå, vertikalt avstånd, horisontellt avstånd]
60     2, 62.368, 6, 10.5 4
61     3, 61.800, 9, 10.5 1
62     4, 61.183, 12, 10.5 1          % Nod 1–6 är befintliga fastigheter från botten och uppåt
63     5, 60.577, 15, 10.5 1
64     6, 60.009, 18, 10.5 1
65     7, 61.093, 3, 15.7 3
66     8, 60.896, 6, 15.7 5
67     9, 60.589, 9, 15.7 1
68    10, 60.215, 12, 15.7 1
69    11, 59.808, 15, 15.7 1
70    12, 59.394, 18, 15.7 1
71    13, 58.987, 21, 15.7 1];
72
73
74 Niivv=[Nod(:,2)]; % Ljudnivåer innan åtgärd
75
76
77 R=R_case2; %Välj case 1 eller case 6 beroende på lätt eller tung vägg
78
79 R_ANNAN=R_case5; %Räknar case 6
80 R_tot = 10*log10(sum(10.^(R/10))); % Reduktionstalet som entalsvärde
81
82 semilogx(f,R) %Plottar reduktionstal
83
84 Spek=zeros(1,13);
85
86 % Anger tersband för tillgänglig data och för vilka tersband vi vill
87 % extrapolera till.
88 Freqvec_21=[50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600 2000 2500 3150
89             4000 5000]';
90 Frequency_27=[25 31.5 40 50 63 80 100 125 160 200 250 315 400 500 630 800 1000 1250 1600
91              2000 2500 3150 4000 5000 6300 8000 1000]';
92
93
94 RODME=zeros(27,4);
95
96 % Reduktionstalsspektrum för barriär, mottagare på höjd 1,5m, horisontellt
97 % avstånd 7m
98 R15_7m=[-0.8331
99         0.1212
100        1.8605
101        4.0357

```

```
100      5.9388
101      7.2142
102      8.4124
103      9.4688
104      10.3838
105      11.0177
106      11.3697
107      11.5781
108      11.9307
109      11.7226
110      12.175
111      12.8474
112      12.8786
113      13.3059
114      13.2145
115      13.9331
116      13.8530];
117
118 % Reduktionstalsspektrum för barriär, mottagare på höjd 1,5m, horisontellt
119 % avstånd 12m
120 R15_12m=[
121     -0.8974
122    -0.0497
123     1.5142
124     3.3125
125     4.7589
126     5.6396
127     6.5868
128     7.6401
129     8.9926
130    10.3177
131    11.6054
132    12.8340
133    13.7100
134    13.6811
135    13.7525
136    14.4915
137    14.5415
138    15.3202
139    14.9473
140    15.8014
141    16.4912];
142
143 % Reduktionstalsspektrum för barriär, mottagare på höjd 4m, horisontellt
144 % avstånd 7m
145 R4_7m=[0.1239
146     1.5330
147     3.5814
148     5.5424
149     6.3225
150     6.0547
```

```

151 5.4332
152 4.7271
153 4.1513
154 3.4307
155 3.1375
156 3.1287
157 2.7660
158 2.6648
159 2.4573
160 2.3537
161 2.0650
162 1.8745
163 1.9079
164 1.6934
165 1.8349];
166
167
168 % Reduktionstalsspektrum för barriär, mottagare på höjd 4m, horisontellt
169 % avstånd 12m
170 R4_12m=[-0.4706
171 0.6324
172 2.5048
173 4.7188
174 6.5408
175 7.5720
176 8.1762
177 8.1698
178 7.4984
179 6.5704
180 6.2556
181 6.0689
182 6.0682
183 5.9356
184 5.4635
185 5.3107
186 4.7796
187 4.4238
188 3.7983
189 3.8839
190 3.4060];
191
192 % Extrapolerar mätdata till efterfrågade tersband
193 LW_15_7=interp1(log(Freqvec_21),R15_7m,log(Frequency_27),'linear','extrap');
194 LW_15_12=interp1(log(Freqvec_21),R15_12m,log(Frequency_27),'linear','extrap');
195 LW_4_7=interp1(log(Freqvec_21),R4_7m,log(Frequency_27),'linear','extrap');
196 LW_4_12=interp1(log(Freqvec_21),R4_12m,log(Frequency_27),'linear','extrap');
197
198 % Beräkningsgången tillåter inte att reduktionstalens lägre
199 % tersbandsreduktion understiger lägsta uppmätta värdet
200 LW_15_7(1:3)=-0.8331;
201 LW_15_12(1:3)=-0.8973;

```

```

202 LW_4_7(1:3)=0;
203 LW_4_12(1:3)=-0.4706;
204
205 LW0=zeros(27,1);
206
207 % Skapar matris för alla reduktionsfall
208 LW_TOT=[LW0,LW_15_7, LW_15_12, LW_4_7, LW_4_12];
209
210 LA_final_spectrum_in=zeros(27,1);
211 LAeq_bra=zeros(27,1);
212 LAeq_ute=zeros(27,1);
213 Skook=zeros(13,1);
214
215 for j=1:13
216 LAeq_NPM=Nod(j,2);
217 LA_final_spectrum = LA_N2k_sou_vec_0dBA + LAeq_NPM;
218 % Väljer reduktionsfall beroende på mottagarpunkt (många är 1 = ingen
219 % reduktion)
220 Col_barr=Nod(j,5);
221 % plockar fram reduktionstal beroende på reduktionsfall
222 R_barr=LW_TOT(:,Col_barr);
223
224 for i=1:length(f)
225 LA_final_spectrum_in(i)=LA_final_spectrum(i)-R(i)-R_barr(i);
226 LAeq_ute(i)=LA_final_spectrum(i)-R_barr(i);
227 LAeq_bra(i)=LA_final_spectrum(i)-R_barr(i)-R_ANNAN(i);
228
229 end
230 LA_N2k_sou_tot = 10*log10(sum(10.^(LA_final_spectrum_in(:,1)/10)));
231 LA_N2k_ute_tot = 10*log10(sum(10.^(LAeq_ute(:,1)/10)));
232 LA_bra_tot = 10*log10(sum(10.^(LAeq_bra(:,1)/10)));
233 % Plottar källspektra samt reduktion.
234 % figure(j)
235 % semilogx(f,LA_final_spectrum,'-k',f,LA_final_spectrum_in,'k',f,R,'r',f,R_barr,'b') %
    Plottar källspektrum samt två reduktionstal
236 % grid on
237 % legend('Fasadljudnivå', 'Inomhusljudnivå', 'Reduktionstal Fasad', 'Reduktionstal Barriär')
238 % xlabel('Frekvens (Hz)')
239 % ylabel('A-vägd ljudnivå, LWA (dB)')
240 spek(j)=LA_N2k_sou_tot+3;%Gäller för mindre bra fasad, adderar 3dB, detta görs endast innanf
    ör fasaden.
241 Ute_ljud(j)=LA_N2k_ute_tot; %Fasadljud
242 Skook(j)=LA_bra_tot+3; %Gäller för bra fasad. Adderar 3dB, detta görs endast innanför
    fasaden.
243 end
244
245 spek=spek'; % Alla lagrade ljudnivåer efter fasadisolering
246 % Skook=Skook';
247 Ute_ljud=Ute_ljud';
248 diff=Nod(:,2)-spek; %Differens mellan Ljudnivå på fasad och ljudnivå inomhus.
249 T=table((Nod(:,1)),(Nod(:,2)),spek,diff,Ute_ljud);

```

```
250  
251 T.Properties.VariableNames = {'Nod' 'Ljudniva_old' 'Ljudniva_new' 'Sankning' 'Ljudniva_ute'}  
252  
253 figure(5)  
254 semilogx(f,R_case1,'b-o',f,R_case6,'r-o')  
255 grid on  
256 legend('Lätt fasad','Tung fasad')  
257 xlabel('Frekvens (Hz)')  
258 ylabel('A-vägt reduktionstal, [dBA]')
```