



Förutsättningar för ett gott ljudlandskap - En studie av Skanstorget

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

OSKAR ANDERSSON, HENGAMEH FATTAHI,
HENRIK GULDBRANSEN, ROBERT LARSSON,
MATTIAS LUNDIN, JOHAN WITTSTEN

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2012
Kandidatarbete/rapport nr 2012:60

Abstract

This project is a study of the noise problem in an area of Gothenburg, called Skanstorget. This noise problem is caused by traffic on the streets Övre Husargatan and Sprängkullsgatan. The study's aim is partially to identify how the soundscape of the area changes by a possible construction. Furthermore acoustical solutions will be presented where residential and infrastructural changes has been considered.

To gather the required knowledge, literature study and simulations in programs Matlab and CadnaA were conducted. Results of these simulations consist of images that show how the equivalent soundpressure level varies with position and different building designs.

This study may facilitate in deciding the buildings' planning and placement, and also lead to a lower disturbance for current and new residents in this historical part of Gothenburg.

Sammanfattning

Detta arbete är en undersökning av den bullerproblematik som råder vid Skanstorget i Göteborg, vilket är resultatet av en hög trafikmängd på Övre Husargatan och Sprängkullsgatan. Målet är delvis att identifiera hur ljudbilden förändras vid en eventuell nybyggnation och hur utformningen av byggnaden påverkar den samma. Dessutom presenteras lämpliga akustiska lösningar där hänsyn tas till framtida planer för trafik, befintlig bebyggelse och nya bostäder på torget.

För att samla nödvändiga kunskaper utnyttjas litteraturstudier och simuleringar utförda med hjälp av Matlab och CadnaA. Resultatet av dessa simuleringar i form av bilder visar hur de ekvivalenta ljudtrycksnivåerna varierar utmed torget beroende på placering och byggnadsutformningsförslag.

Tanken är att rapporten kan underlätta vid val av placering och utformning av den tänkta byggnationen. Den skall förhoppningsvis också bidra till att skapa en behagligare boendemiljö för de nya invånarna samtidigt som situationen för de redan bosatta inte försämras.

Förord

Detta kandidatarbete har genomförts på avdelningen för Teknisk akustik på Chalmers tekniska högskola i Göteborg. Vi vill tacka våra handledare Patrik Andersson och Jens Forssén samt vår examinator Wolfgang Kropp för all hjälp, idéer, tips och råd. Vi vill även tacka Pontus Thorsson och Akustikverkstan i Lidköping för utlåning av programvaran CadnaA.

Arbetet riktar sig både till beslutsfattare och projektörer i frågor rörande nybyggnation, inte bara på Skanstorget utan städer i allmänhet. Rapportens inledande avsnitt syftar till att ge läsaren den nödvändiga kunskap som krävs för att kunna förstå och tolka rapportens resultat.

Contents

1	Bakgrund	1
1.1	Ljudsituation kring Skanstorget	2
1.2	Hälsoeffekter av samhällsbuller	2
2	Syfte	4
3	Problemställning	4
4	Avgränsningar	4
5	Metod	5
5.1	Simulering med hjälp av Matlab	5
5.2	Utformande av verktygslåda	6
6	Litteraturstudie	6
6.1	Introduktion till ljudutbredning	7
6.1.1	Ekvivalent ljudnivå	8
6.1.2	Reflektioner	8
6.1.3	Ljudsplittring	9
6.1.4	Diffraction	9
6.1.5	Absorption	9
6.1.6	Transmission	9
6.1.7	Däckljud/Rulljud	10
6.1.8	Motorljud	10
6.1.9	Ljudtransport i konstruktioner	11
6.2	Teoretiska bulleråtgärder	11
6.2.1	Tyst asfalt	11
6.2.2	Bullerskärmar	12
6.2.3	Träd och buskar	14
6.2.4	Fönster	14
6.2.5	Bullerplanering	15
6.2.6	Ljuddämpade ingångar mot innergårdar	17
6.3	Riktvärden	20
6.3.1	Riktvärden för ljudnivå utomhus	20
6.3.2	Riktvärden för ljudnivå inomhus	21
7	Simuleringar	22
7.1	Simulering i CadnaA	22
7.1.1	Simulering av byggnad vid torgets framkant	23
7.2	Simulering i Matlab	24
7.2.1	Torget utan byggnad	24
7.2.2	Alternativ A	25
7.2.3	Alternativ B	26
7.2.4	Alternativ C	27
7.2.5	Alternativ D	28
7.2.6	Framför torget, utan byggnad	29
7.2.7	Framför torget alternativ A	30

8	Praktisk tillämpning på Skanstorget	31
8.1	Åtgärder mot källan	31
8.2	Ljudisolering	31
8.2.1	Fasadutformning	32
8.2.2	Väggmaterial	32
8.2.3	Fönster	32
8.3	Byggnadsplanering	33
9	Diskussion	34
9.1	Problemställning	34
9.2	Metod	34
9.3	Simulering	35
9.4	Åtgärder	35
9.5	Felkällor	37
10	Slutsatser	38

1 Bakgrund

Skanstorget i Göteborg har debatterats flitigt, bland annat i Göteborgs-Posten (GP), under en längre tid då invånare i Göteborg har uttryckt sina åsikter om torgets framtid och hur de vill att det ska se ut. Torget ska enligt Göteborgs kommun få ett nytt liv, bli en mer intressant knutpunkt med bättre utsikt och en levande plats [1]. För att skapa denna plats krävs bland annat åtgärder mot det buller som idag finns på och omkring Skanstorget.

Övre Husargatan och Sprängkullsgatan är ur bullerhänseende två av de värst utsatta gatorna i Göteborg. Det har kommit in många klagomål till kommunen från de boende i området och vid studier av bullerkartor så ligger de dygnsekvivalenta nivåerna långt över riktvärdena. Delar av problematiken beror på att byggnaderna på bägge sidor om vägen skapar en dal där reflektioner från ljudet förstärker ljudkällan. Men det verkliga problemet är den stora trafikmängd som passerar på gatorna.

I rapporten "Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe." [2] som presenterades år 2011 hamnade samhällsbuller på andra plats på listan över de faktorer som leder till störst samhällskostnader i form av sjukdomar. På första plats hamnade luftföroreningar. Med detta i åtanke borde bullerproblematiken vara en större del i debatten vid nybyggnation och förtätning av staden.

I GP har Göteborgs kommun presenterat tre förslag till nybyggnation på Skanstorget, se figur 1. Två av förslagen avsåg att byggnaderna skulle användas till verksamheter och placeras i framkant på torget mot Sprängkullsgatan som bullerskydd mot ett nytt torg bakom. Det tredje förslaget syftade till att bygga bostäder på torget och placeringen av den byggnaden var längre in på torget mot Skansberget med en öppen torgplats i framkant mot Sprängkullsgatan [3]. Att skapa ett torg skyddat från buller och därmed en behaglig ljudmiljö är en lockande tanke och är i vår mening nödvändigt för en levande samlingsplats.



Figur 1: Förslag presenterade i GP

Den 7 februari 2012 beslutade Göteborgs kommun att det skulle byggas bostäder på Skanstorget vilket ställer höga krav på ljudmiljön, trots detta bör möjligheter finnas att skapa ett torg med god ljudmiljö, om byggnadsplaceringen tillsammans med andra ljudtekniska åtgärder samverkar.

När kommunen tog beslutet om att bygga just bostäder på Skanstorget kommenterade Kjell Björkqvist (FP) beslutet med: "Kunde vi bygga längs med Friggagatan, måste vi kunna bygga bostäder på Skanstorget". Utöver detta finns andra uttalanden gällande att det idag finns olika åtgärder, så som sänkt hastighet och bullerdämpande asfalt, som kan

användas för att lösa problemet med bullret från Sprängkullsgatan och Övre Husargatan. [4]

1.1 Ljudsituation kring Skanstorget

Byggnationen kring Skanstorget domineras av flera huskroppar som bildar slutna innergårdar i deras centrum, se figur 2. Byggnationen består av två olika typer av byggnader: Till söder (vänster i bild) ligger sexvåningshus i tegel, med verksamheter i bottenplan. Till norr (höger i bild) består byggnationen nästan uteslutande av lägre trevåningshus klädda i tegel, puts eller trä. Båda sidor om Skanstorget utsätts för mer eller mindre samma bullernivåer, detta till trots uppvisar innergårdarna skillnader i ljudnivå på mellan 1 och 7 dB(A). Detta kan med stor sannolikhet tillskrivas skillnaden i byggnadernas höjd. På de mest utsatta delarna av torget utan bebyggelse är den nuvarande ljudnivån hög, upp till cirka 65 dB(A), vilket påverkar möjligheten till ett levande torg negativt.



Figur 2: A-vägda ekvivalenta ljudtrycksnivåer på ett par innergårdar kring Skanstorget. [37][46]

1.2 Hälsoeffekter av samhällsbuller

Men dagens utveckling mot fler och större urbana miljöer växer problemen med samhällsbuller och följd effekterna av detta. Flera av samhällets vanligare sjukdomar har koppling till det ökande samhällsbullret så som hjärt- och kärlsjukdomar, högt blodtryck, kognitiv nedsättning, sömnsvårigheter, tinnitus och upplevd störning [2]. Därför blir buller en allt viktigare frågeställning när det kommer till nybyggnation i städer och vetenskapen om problemet ökar bland allmänheten, dels som en följd av en ökad påverkan men också genom en större kunskap i allmänhet vad gäller buller.

Buller kan leda till kognitiv nedsättning som främst drabbar barn i skolåren och medför inlärningssvårigheter för dessa men även vuxna kan drabbas vilket kan medföra lägre produktivitet på arbetet eller motsvarande. De vanligaste symptomen för sömnsvårigheter, som kan vara en följd av höga ljudnivåer, är problem vid insomningen och oönskat upp-

vaknande under natten, något som också leder till lägre produktivitet på grund av trötthet under dagen. Studier har också påvisat en koppling mellan samhällsbuller och hjärt- och kärlsjukdomar inklusive hjärtattack vilket idag ses som en av de största folksjukdomarna och som allvarligt påverkar både arbetsförmåga och livskvalité. Samhällsbuller kan även orsaka högt blodtryck som i sig leder till ökad risk för hjärtinfarkt, stroke och diabetes för att nämna några följsjukdomar. [5]

Tinnitus är den hälsoeffekt som oftast associeras med buller och som i sig ger stora konsekvenser för den drabbade så som sömnsvårigheter, inlärningssvårigheter, ångest, depression, psykisk ohälsa, kommunikationsproblem, frustration, arbetssvårigheter och svårigheter att delta i sociala aktiviteter. Tinnitus uppkommer normalt inte enbart av samhällsbullret, men det är en bidragande del då hemmet ofta ses som en plats för avslappning och återhämtning. Om hemmet liksom arbetsplatsen är utsatt för höga ljudnivåer blir den totala ekvivalenta ljudnivån för en 24 timmars period hög, även om varje enskild plats uppfyller kraven. En långvarig hög belastning av hörselorganen har visat sig orsaka tinnitus [2].

År 2009 kom en rapport gjord av WSP, för Naturvårdsverkets räkning, som kvantifierade kostnaderna till följd av samhällsbuller över 55 dB(A), samt antalet berörda invånare för år 2006 som täckte hela Sverige. Rapporten behandlar de olika bullerkällorna; vägtrafik, tågtrafik och flygtrafik, separat. I en jämförelse har också kostnader och antalet berörda beräknats för år 2000. Slutsatserna blev att år 2000 var kostnaderna för störning från vägtrafiken som är den i särklass största kostnadskällan 1,45 miljarder kronor och år 2006 2,1 miljarder kronor, båda beloppen är beräknade med 2006 års prisnivå. Antalet berörda personer för vägtrafiken var år 2000 1,34 miljoner invånare och år 2006 1,73 miljoner invånare. Alltså ökar både kostnaderna och antalet berörda invånare kraftigt under perioden mellan år 2000 och år 2006 för vägtrafiken. Under den här perioden har personbilstrafiken ökat med 10 % och den tunga trafiken med hela 30 % dessutom har befolkningen ökat med 3 % något som påverkar slutresultaten. Sammantaget så kan man säga att problemet med buller och konsekvenserna med det ökar och blir allt viktigare när nybyggnation och förtätning av städer ska ske [6]. Något som också följer samma linje som rapporten från WHO där det slås fast att samhällsbuller är den näst största kostnaden för samhället efter luftföroreningar.

2 Syfte

Inledningsvis syftar arbetet till att med hjälp av beräkningar och insamlade mätningar, som utförts på plats, ge en bild av hur ljudsituationen vid Skanstorget ser ut i dagsläget. Därefter avser arbetet att utreda förslaget kring eventuella bostäder med tyngd på följande frågeställningar:

- Hur kan placeringen och utformningen av huset påverka den ljudbild som skapas?
- Vad kan göras för att befintlig bebyggelse inte ska få en försämrad ljudbild i och med nybyggnationen?

Slutligen skapas en verktygslåda för hur placeringen av huskroppar tillsammans med andra lösningar, kan användas för att skapa en attraktiv ljudmiljö för de nya bostäderna, utan att försämra för den befintliga bebyggelsen.

3 Problemställning

Under våren 2012 ska Övre Husargatan och Sprängkullsgatan som passerar Skanstorget byggas om och istället för dagens två filer för biltrafik i vardera riktning, byggs de två mittersta filerna om till bussfiler för kollektivtrafiken. Detta innebär att ljudbilden för vägen kommer att förändras då trafikmängder och trafiksammansättning ändras.

Om nybyggnation skall ske på Skanstorget måste hänsyn tas till bullerproblematiken både för den nya byggnationen och den befintliga. Hänsyn måste även tas till den befintliga arkitekturen, med de gamla låga husen i Haga med sin annorlunda arkitektur, jämfört med de höga husen i Linnestaden, samt Skansen Kronan.

Med Skansen kronan som ligger alldeles intill torget vore det av intresse att försöka bevara den naturmiljö som Skansen Kronan ger, och om möjligt utnyttja denna miljö till att skapa en trivsamt miljö på torget. Detta förutsätter att byggnaden placeras i framkant av torget för att på så vis skapa en större öppen yta och minska den bullriga miljön för att skapa en plats där det finns möjlighet till lugn och ro.

Utvärderingen av ett förslag till bostäder på Skanstorget utgår både ifrån att läsa och gå igenom det material som finns från kommunen, samt att göra egna beräkningar för förslaget och jämföra resultaten.

Verktygslådan skapas för att ge riktlinjer till personer som arbetar med utformning av förslag till Skanstorget. Dels genom att ge förslag på hur huskroppar lämpligtvis placeras för att skapa en bra ljudmiljö på torget och för de bostäder som ska finnas där i framtiden. I denna verktygslåda skall det också finnas åtgärder riktade mot huvudkällan till bullret, vilken är vägen.

4 Avgränsningar

Arbetet kommer enbart innefatta analys av området runt Skanstorget. Utredningen kommer att begränsas till den akustiska miljön samt de tekniska lösningar som går att genomföra. Hänsyn till andra aspekter än akustik kommer inte tas.

5 Metod

För att kunna påbörja arbetet var det nödvändigt att fastställa hur ljudnivåerna vid Skanstorget såg ut. Eftersom mätningar på plats var omöjliga, inledningsvis till följd av fel väderförhållanden och senare eftersom det för närvarande pågår en ombyggnation av Sprängkullsgatan, användes de för allmänheten tillgängliga bullerkartorna. [7]

För att få en bättre uppfattning av ljudsituationen, erhöles från kommunen mer detaljerade bullerkartor. Dessutom efterfrågades de bullerutredningar som borde finnas med hänsyn till den planerade ombyggnaden av Övre Husargatan – Sprängkullsgatan. Vidare kontaktades geodataavdelningen på Göteborgs stadsbyggnadskontor att ta del av digitala kartor över området. Det insamlade materialet om rådande situation och utredningar över kommande utbyggnader ligger till grund för utvärderingen av byggnationen av bostäder på torget.

Genom att ta del av de utredningar som gjorts med anledning av den planerade ombyggnaden av Övre Husargatan – Sprängkullsgatan kan den framtida trafiksituationen uppskattas. Detta kan kompletteras med en studie av de förväntade effekterna till följd av trängselskattens införande och på så vis bättre uppskatta den framtida situationen.

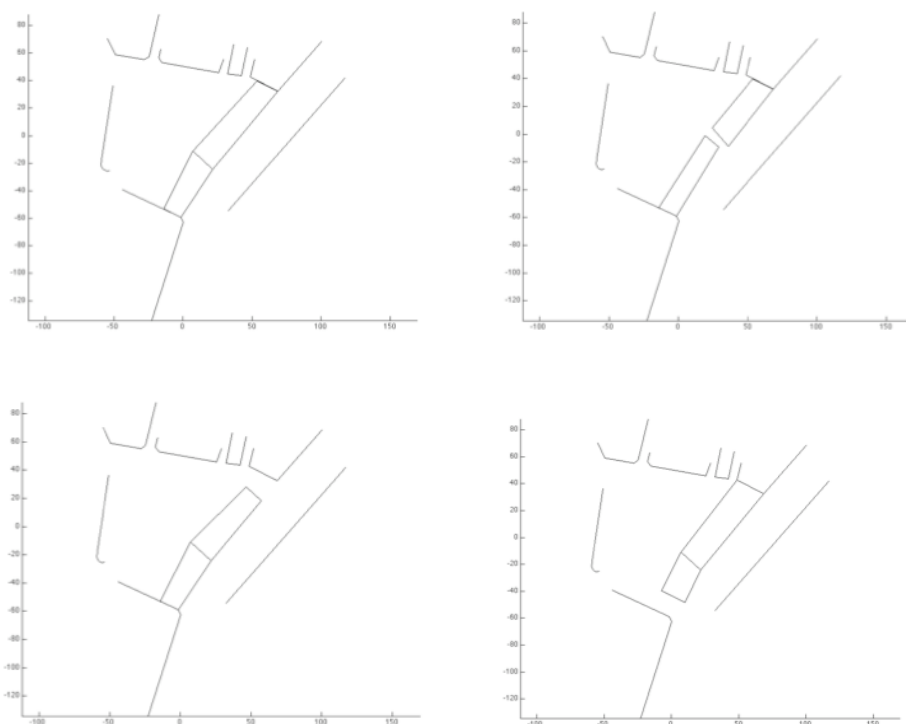
5.1 Simulering med hjälp av Matlab

Med utgångspunkt från Skanstorgets befintliga bebyggelse har olika alternativ av nybyggnation tagits fram. Alternativen utgår från ett första alternativ där en ny huskropp placeras utmed vägen och som sluter tätt mot befintlig bebyggelse i norr och söder. Därefter har tre andra alternativ tagits fram med samma huskropp fast med öppningar antingen i norr, söder eller i mitten för att belysa problemet med inströmmande ljud, se figur 3.

Dessa fyra är intressanta för de påvisar alla varsitt fall av ljudinsläpp. Genom att studera den ljudbild som skapas av respektive förslag, fås en förståelse av vad som är lämpligt eller olämpligt om man önskar skapa en lugn torgmiljö bakom huset.

Med hjälp av befintlig bebyggelse och de olika alternativen analyseras området på Skanstorget genom att först dela upp den befintliga vägen i fyra filer. Två av dessa trafikeras av kollektivtrafik och de två andra trafikeras av bilar och övrig tung trafik. Därefter har dessa linjekällor delats in i punktkällor med ett avstånd på 10 cm. Genom att inledningsvis genomföra beräkningar med hjälp av Nordiska beräkningsmodellen, reviderad 1996, kan ljudnivån på Skanstorget uppskattas genom att simulera de fyra filerna som linjekällor. Med vetskap om antalet punkter längs vägen och den förväntade ljudnivån kan bilvägen indelas i inkoherenta punktkällor med hjälp av Nord2000. Tillsammans ger dessa punktkällor samma nivåer som de tidigare uträknade nivåerna med linjekällor.

Från dessa punktkällor beräknas sedan bidraget till mottagarpositionen genom att ta hänsyn till de möjliga färdvägar som finns. Först studeras huruvida det finns möjlighet till någon oskärmad reflekterad väg. Om så är fallet beräknas avstånd till reflekterande yta och avstånd från yta till mottagare. Därefter kontrolleras om avstånden är i den storleksordningen att ljudet reflekteras mot ytan eller om ytan är för liten för någon nämnvärd reflektion. När reflektioner kontrollerats undersöks huruvida det finns en direkt väg för ljudet att färdas och om så är fallet beräknas detta avstånd. Slutligen kontrolleras hur ljudet färdas över huskroppen, avstånd beräknas från källa till främre kant på barriären,



Figur 3: De fyra alternativen för simulering

från främre till bakre kant och slutligen från bakre kant till mottagare.

Baserat på avståndet mellan käll- och mottagarpunkt samt omvägen över huskroppen, reduceras varje källpunkts bidrag enligt ISO SS-9613. Varje mottagarpunkt har ett värde baserat på de sammantagna bidragen från alla källpunkter.

5.2 Utformande av verktyglåda

Parallellt med matematiska beräkningar gjordes en litteraturstudie för den teoretiska bakgrunden till ljudproblemen från trafikbuller, vidare undersöktes befintliga bullerreducerande åtgärder som används i Sverige. Dessa tillsammans med tidigare information om Skanstorget och omgivningen skapades en verktyglåda för en arkitekt att utgå ifrån vid utformningen av fler förslag till Skanstorget och syftar till att skapa en bättre ljudmiljö på detta torg. Verktyglådan vänder sig även till personal på kommunen som arbetar med frågor om nybyggnation, för att ge dem en ökad förståelse för bullerproblematiken.

6 Litteraturstudie

Litteraturstudien kommer ge en kort introduktion till hur ljud uppkommer, hur det sprids och hur ljudet teoretiskt kan dämpas i de olika skedena. Vi kommer även beskriva några av de riktvärden som används inom samhällsplaneringen idag.

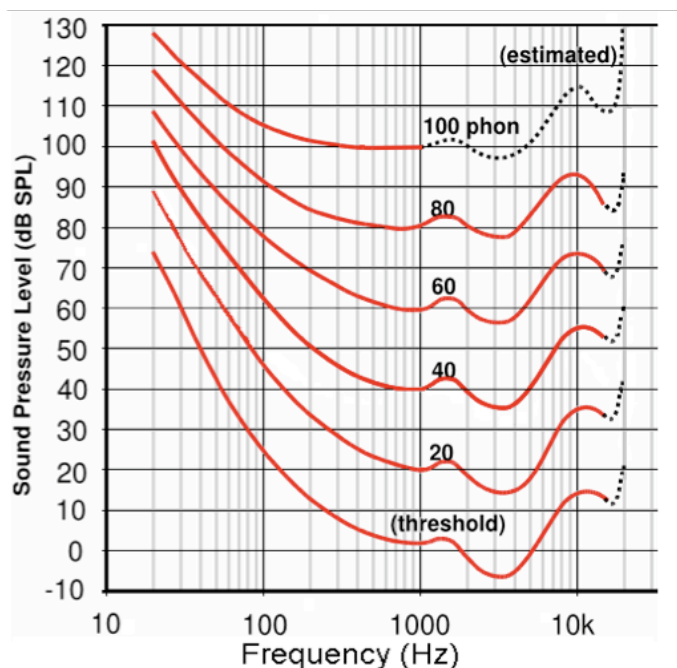
6.1 Introduktion till ljudutbredning

Ljud kan uttryckas som tryckvariationer över tid. Dessa variationer sker kring ett statistiskt ljudtryck, i vanliga fall 101.35 kPa. Att dessa variationer uppkommer beror på ett mekaniskt förlopp som sätter ett medium i svängning som vi uppfattar som ljud. För en källa i ett öppet rum kommer ljudutbredningen verka i tre rumsdimensioner.

Ljudtrycksnivån anger hur högt ljudet är och mäts i enheten dB. Det är ett logaritmiskt värde baserat på en kvot mellan det aktuella tillståndet och ett referenstryck. Referenstrycket anges oftast som $20 \mu\text{Pa}$, vilket är lägsta ljudtrycket vi kan uppfatta med vår hörsel. Då det uppmätta ljudtrycket är samma som referenstrycket motsvarar det 0 dB.

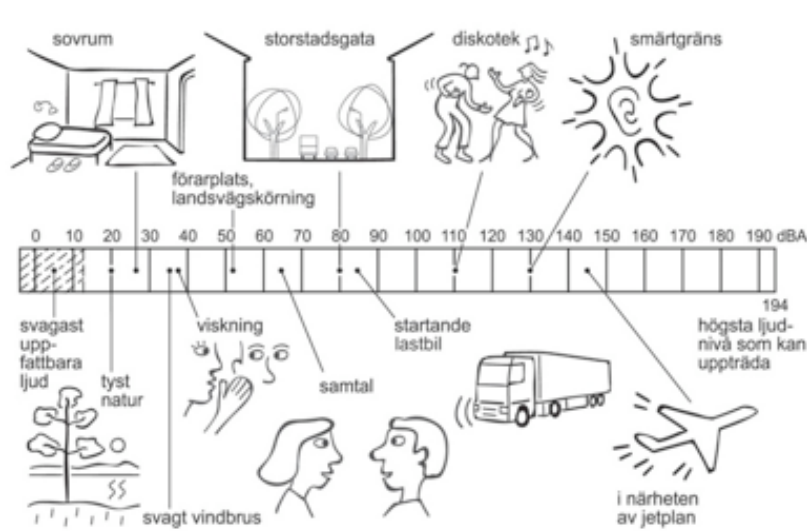
$$Ljudtrycksnivå[dB] = 20 \cdot \log_{10} \frac{Ljudtryck}{Referenstryck} \quad (1)$$

Hur starkt vi uppfattar en ton beror på vilken frekvens den har. Generellt gäller att låga frekvenser kräver högre ljudtrycksnivå (i dB) för att uppfattas lika starkt som en ton med högre frekvens. En tons styrka kan sägas motsvara en viss phon. Ur figur 4 ses att frekvenser på 100 Hz måste ha ett dB-värde på 45 för att uppfattas lika starkt som 1000 Hz vid 20 dB.



Figur 4: Equal loudness contours. [47]

Eftersom vår hörförmåga är frekvensberoende brukar ljudtrycksnivån påläggas ett filter, som baseras på inversen av de ovanför nämnda phonkurvorna. Detta för att simulera ljudtrycksnivån efter vår hörförmåga. Vanligtvis används ett A-filter för normala ljudnivåer, ljudtrycksnivån har då enheten dB(A) som visar att nivån är avvägd med A-filtret.



Figur 5: Typiska ljudtrycksnivåer för olika aktiviteter. [48]

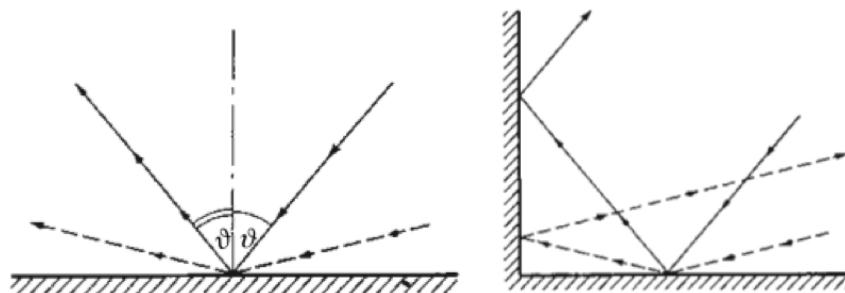
6.1.1 Ekvivalent ljudnivå

Ljudnivån för en bilväg varierar över tid och kan uttryckas som en ekvivalent ljudtrycksnivå, med enheten dB. Denna nivå är det momentana ljudtrycket integrerat över en viss tid, delat med mättiden. Vanligtvis är mättiden 24 timmar och nivån kallas då för dygnsekvivalent ljudtrycksnivå. Alla ekvivalenta ljudtrycksnivåer i detta arbete är dygnsekvivalenta nivåer.

Enskilda händelser, till exempel ett passerande fordon, ger tillfälliga maxnivåer och kan integrerat över tid uttryckas som en ljudexponeringsnivå. [9]

6.1.2 Reflektioner

När en ljudvåg träffar en yta reflekteras en del av den. Precis som lagen för ljus gäller här att infallsvinkeln är samma som utfallsvinkeln [10]. Detta förhållande betyder att genom att ytans vinkel ändras kan reflektionen dirigeras om. Är två ytor vinkelräta med varandra, sker två reflektioner. Här färdas den reflekterade vågen i exakt motsatt riktning mot den infallna vågen, se figur 6 [11]. Förutom en reflekterad våg skapas dessutom en transmitterad våg som fortsätter in och igenom materialet. [8]



Figur 6: Reflektioner på plan yta, samt reflektioner mellan två vinkelräta ytor. [11]

6.1.3 Ljudsplittring

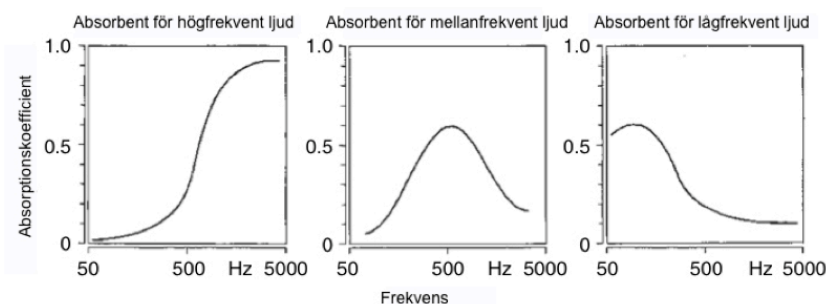
Ovanstående beskrivna reflektioner förutsätter helt plana ytor. I verkligheten är ytor emellertid täckta av håligheter och ojämnheter, vilket får ljudet att splittras i flera olika riktningar, i den engelska litteraturen kallat för scattering och kallas också för diffus reflex [11].

6.1.4 Diffraction

Fenomenet att ljud böjs kring hörn eller objekt kallas diffraction och blir betydelsefullt vid exempelvis konstruktion av bullerskärmar [10]. Detta fenomen vill man utnyttja för att minimera då det minskar den dämpande effekten av till exempel bullerskärmar.

6.1.5 Absorption

Vid reflektion mot en yta sker förutom riktningsändring också en minskning av ljudvågens amplitud på grund av ytans absorberande egenskaper, en minskning av ljudvågens totala energi. Ljudabsorption sker i porösa material då ljudvågen tränger in i materialet och på grund av friktion omvandlas ljudenergin till värme. Hur mycket av ljudvågens energi som absorberas är material- och frekvensberoende och hur mycket alternativt lite energi som absorberas beskrivs av absorptionskoefficienten, α . Inverkan av frekvens och vilket material som ljudvågen reflekteras mot ses i figur 7 där absorptionskoefficienten för tre olika ljuddämpande material visas. Absorptionskoefficienten kan anta värden mellan noll och ett, desto högre värde desto mer absorption sker.

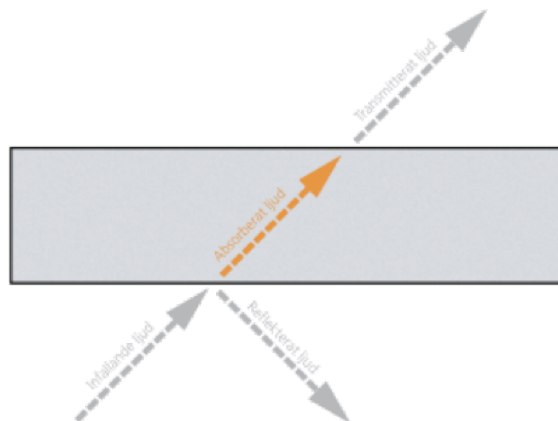


Figur 7: Olika absorbenters frekvensberoende. [11]

Det finns inga material vars absorptionsegenskaper är oberoende av frekvens, däremot är det värt att nämna att riktigt hårda material reflekterar i stort sett allt ljud oberoende av frekvens [11].

6.1.6 Transmisson

Den del av ljudvågen som träffar ett material och passerar hela materialets bredd har transmitterats och detta är det ljud som en eventuell mottagare hör på andra sidan en vägg, se figur 8.



Figur 8: Ljudvågor kan reflekteras, absorberas och transmitteras när de träffar ett material. [49]

6.1.7 Däckljud/Rullljud

Rullljud består av två källor; mekaniska och aerodynamiska ljud. Mekaniska ljud uppkommer som en följd av ojämnheter i underlaget och i däckets struktur. Asfalt kan för blotta ögat se jämn ut men är i själva verket full av små gropar, hålor och andra ojämnheter. Likaså är däckets inte slätt, utan det är mönstrat för att avleda vatten som finns på vägbanan och små ojämnheter från tillverkningen finns också på ytan. Alla dessa inhomogeniteter ger upphov till vibrationer i däckets stomme. Dessa vibrationer avger ljud till omgivningen, ljud som vi uppfattar som buller. Även däckets deformation på grund av yttre krafter skapar vibrationer.

De aerodynamiska ljuden kommer även de från ojämnheterna i underlaget och i däckets. Men nu skapas tryckskillnader i dessa hålrum när däckets rullar och pressar ner luft och sen stänger till håligheter. När däckets har passerat sjunker trycket igen till det normala men dessa variationer i tryck skapar också buller.

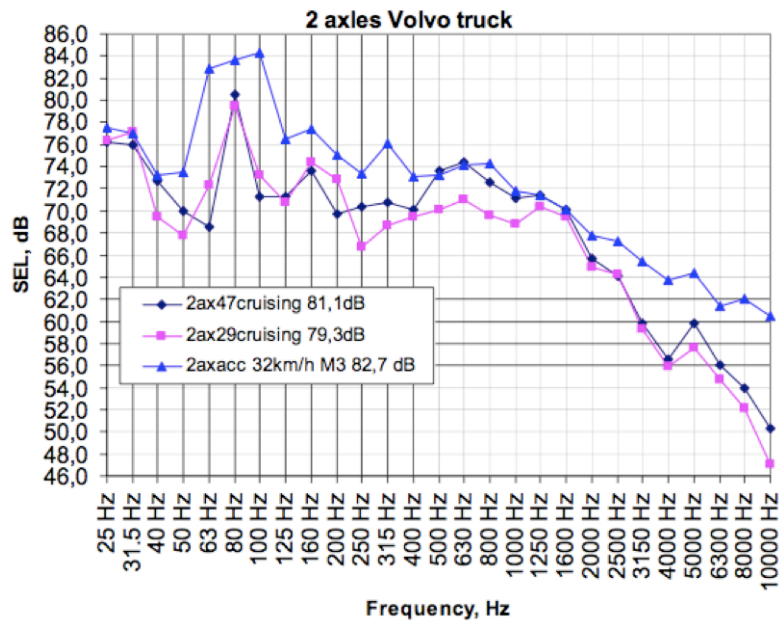
Kopplat till forskning och utveckling av tyst asfalt, som förklaras mer under kapitel 6.2, är det dessa bullerkällor som kan reduceras av den öppna porstrukturen i den tysta asfalten.

6.1.8 Motorljud

Motorljud är en sammansättning av ljud från mekaniska rörelser, förbränning och andra tillhörande ljud. Detta ljud är frekvensberoende, för bilar ligger motorljudet vanligtvis inom spektrumet 50-5000 Hz. [12]

Buller från tunga fordon har mer energi i de lägre frekvenserna, $f < 200$ Hz, vilket ger upphov till ett mer dovt buller jämfört med bilar, dessutom bidrar det till en högre ljudnivå totalt. [13]

När ett tungt fordon accelererar ökar ljudexponeringsnivån och det har oftast högre nivå än ett fordon som kör med konstant hastighet. Som synes i figur 9 är skillnaden i exponeringsnivå som störst runt låga frekvenser vid 63-100 Hz.



Figur 9: Variationer i nivå för två-axlad lastbil som:
 Kör 47 km/h i konstant hastighet (svart)
 Kör 29 km/h i konstant hastighet (rosa)
 Accelererar och har en momentan hastighet 32 km/h (blå) [14]

6.1.9 Ljudtransport i konstruktioner

Beroende på hur ljudet produceras och sprids i ett hus delas ljudet i två begrepp; "luftljud" och "steg- och stomljud". Luftljudet är det ljud som transmitteras genom luften till exempel ljud från en högtalare eller från trafiken. Steg- och stomljud är de ljud som överförs i husets konstruktion genom vibrationer. Vanligt är att lågfrekventa ljud lättare överförs till dessa konstruktioner och på så vis sprids längre sträckor i huset.

Luftljudsisoleringens effektivitet beskrivs av reduktionstalet R_w som är materialberoende och beskriver hur mycket ljudnivån reduceras i frekvensområdet 100-3150 Hz när ljudet passerar genom en vägg eller motsvarande. Ju högre reduktionstalet är desto bättre luftljudsisolering har väggen. [15] [16]

6.2 Teoretiska bulleråtgärder

6.2.1 Tyst asfalt

Tyst asfalt innebär att vägbeläggningen har en öppen porstruktur till skillnad från traditionell asfalt som har en sluten porstruktur. Den öppna strukturen möjliggör en bullerreducering då viss del av det alstrade ljudet kan absorberas. För en traditionell asfalt reflekteras istället ljudet och når fasader et cetera.

Mellan olika tillverkare av tyst asfalt varierar de tekniska detaljerna vad gäller porstrukturen samt antalet lager. Grundtanken är densamma, nämligen att tillåta ljudet passera lättare genom asfalten och på så vis öka absorptionen. Generellt är en tyst asfalt betydligt

tjockare än en traditionell, som exempel 30-50 mm traditionell mot ca 100 mm tyst asfalt. Tjockleken på asfaltsbeläggningen är också kopplat till den uppnådda bullerreduceringen, tjockare asfalt ger djupare och större porstruktur vilket ger en högre dämpning av bullret. Mätningar har visat att en reduktion på upp till 10 dB(A) går att uppnå med tyst asfalt. [17]

Med den öppna porstrukturen i asfalten så avtar bullerreduceringen med tiden, detta eftersom partiklar som rivs upp från vägbanan av bilar täpper till porstrukturen. För att detta ska undvikas krävs det att beläggningen rengörs minst en gång om året. Detta görs av ett speciellt rengöringsfordon som tvättar asfalten med hjälp av högtryck och samlar upp det använda vattnet och de partiklar som spolats loss. Förslagsvis utförs denna tvätt på våren då snö is och slask har smält undan. En traditionell asfaltsbeläggning kräver endast sopning på våren för att samla upp eventuellt grus som spritts ut under vintern.

Livslängden för tyst asfalt är betydligt kortare än för traditionell asfalt och kräver fler omläggningar då den slits snabbare än sin föregångare. Tillsammans med det underhåll som krävs med tvättning varje år beräknas kostnaderna för en tyst asfalt till tre gånger så stora jämfört med traditionell asfaltsbeläggning.

Ny forskning på andra beläggningstyper har visat goda resultat för så kallade ”Openthin-layers” som är tunna asfaltslager med en öppen porstruktur, precis som den mer traditionella tysta asfalten. Den största skillnaden är istället tjockleken på asfaltslagret som kan vara så tunt som 17 mm, jämfört med ca 30-50 mm för en konventionell typ av asfalt. Jämfört med traditionell asfalt som används i Sverige är dessutom stenstorleken betydligt mindre. Idag används stenstorlekar ända upp till 18 mm, men i dessa tunna lager är storleken reducerad till 6-8 mm beroende på variant.

För dessa lager har bullerreduktionen uppmätts till ca 3 dB(A) jämfört med konventionell asfalt. Fördelarna jämfört mot den betydligt tjockare tysta asfalten är att samma rengöringsbehov inte är nödvändigt, utan det underhåll som görs för traditionell asfalt räcker. Självklart krävs det omläggning av beläggningen oftare på grund av de betydligt tunnare lagren asfalt. [18]

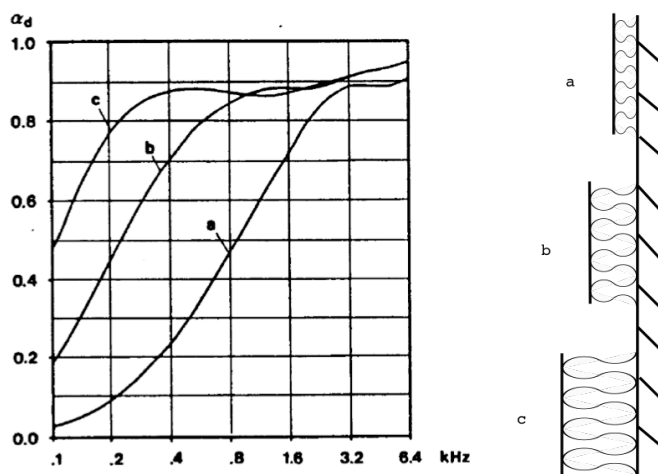
6.2.2 Bullerskärmar

Bullerskärmar är vanligtvis en bra lösning för att dämpa höga ljudnivåer längs bullriga gator genom att skapa en så kallad skuggzon. De faktorer som påverkar skärmens bullerdämpningseffekt är bland annat skärmens material, ljudisoleringsförmåga, höjd, utformning och dess placering [19]. Dämpning av buller med bullerskärmar sker genom både reflektion och absorption av ljudvågor.

Skärmar ska helst inte enbart varaljudreflekterande så att de inte bidrar till en högre ljudnivå på den plats dit ljudet reflekteras. Därför byggs skärmen upp av material som är både ljudreflekterande och ljudabsorberande, exempelvis trä, eller så byggs den upp av två olika element med respektive funktion. Exempel på skärmar byggda med olika element som ska passa i olika ljudmiljöer, är en kombination av betong och glas, eller ett ljudisolerande material som täcks med absorberer för att minska reflektioner. Exempel för ljudabsorberande material är mineralull och lättklinkerbetong. [20]

För att dämpa låga frekvenser kan mycket porösa material användas så som glasfiber, stenull eller motsvarande med fiberstorlek 2-20 μm i diameter som ger materialen väldigt hög porositet [21]. Utformningen av porösa absorberare är i största grad beroende på absorberarens tjocklek. Desto tjockare absorberare desto lägre frekvenser absorberar den. Tumregeln är att absorberarens tjocklek ska vara en fjärdedel av våglängden, som är beroende av frekvensen, för att ha bra absorption vid den önskade frekvensen. [22]

För detta krävs det att absorberaren är monterad mot en hård baksida eventuellt med luftspalt. Porösa absorberare har bra dämpning över ett förhållandevis stort frekvensspann, tjockleken styr hur låga frekvenser som dämpas och för höga frekvenser är absorptionen mer eller mindre konstant. Som ses i figur 10 dämpar en porös absorberare även under den frekvens där den når sitt maximum. En porös absorberare med en hög absorption för vårt fall skulle behöva vara mellan 50-100 cm tjock men en tunnare variant skulle fortfarande tillföra ett visst mått av absorption.



Figur 10: Visualisering hur absorptionen, för olika frekvenser, varierar beroende på absorberarens tjocklek (5, 10 och 15 cm) [41], [22]

Ljudkällans avstånd till bullerskärmen är också viktigt, ju kortare avstånd desto bättre dämpning. Detta gäller även på mottagarens sida. Skärmens effekt på mottagarens sida är störst vid små avstånd mellan skärmen och mottagare. Detta eftersom diffraktionsvinkeln eller omvägen då är större. Dessutom kan, på långa avstånd, ljudet påverkas av temperatur- och vindgradienter och då böjas över skärmkrönet och på så sätt ta sig till punkter längre bakom skärmen. [19]

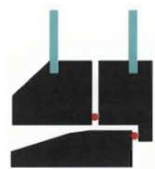
6.2.3 Träd och buskar

Vegetation har försumbar inverkan på bullernivån (på stora avstånd, över 100 m och vid tät vegetation kan de ge minskad nivå på 1-2 dB(A)). Vegetation kan däremot göra att störningen upplevs som mindre eftersom trafiken inte syns. [23]

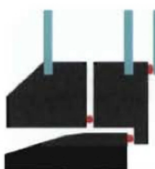
6.2.4 Fönster

Normalt är fönster och ventiler för tilluft de delar av fasaden som är känsligast ur bullersynpunkt. Vill man uppnå stora bullerreduktioner med fönsteråtgärder krävs det en bullerisolerande väggkonstruktion, vilket är fallet i de flesta byggnader, undantaget exempelvis äldre trähus. I dessa hus kan en fönsteråtgärd ha försumbar effekt. Samtliga nedan nämnda åtgärder har större effekt på de låga frekvenserna än de höga [24].

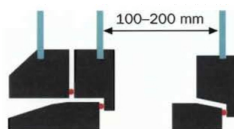
Ett tvåglasfönster, som ses i figur 11, kan kompletteras och justeras för att förbättra deras ljudisolerande egenskaper. Genom att justera, rikta och förse fönster med tätninglistor kan bullernivån inomhus minskas med mellan 2 och 4 dB(A).



Figur 11: Fönster försett med tätninglistor [23]



Figur 12: Fönster försett med tillsatsruta [23]



Figur 13: Fönster kompletterat med extra båg [23]

Förutom att utföra ovan nämnda tätningåtgärder kan ytterligare isolering uppnås med en tillsatsruta. Detta betyder att ett extra glas monteras, alternativt att den inre rutan byts ut mot ett isolerglas. Ett exempel visas i figur 12. Denna åtgärd kan minska bullernivåerna inomhus med mellan 3 och 8 dB(A).

Genom att komplettera befintliga fönster med ny båg på ett stort avstånd från dessa, kan bullernivån inomhus minskas med mellan 8 och 15 dB(A). I figur 13 ses den extra bågen till höger. Denna åtgärd kräver relativt djupa fönsternischer. [23]

6.2.5 Bullerplanering

För att kunna ta hänsyn till bullerproblematiken vid planering av byggnation krävs kunskap om vilka faktorer som påverkar störningen. Faktorer som gör att störningen ökar är bland annat:

- Hög ljudnivå på trafiksidan
- Exponering från flera bullerkällor
- Lägenheter utan tyst- eller ljuddämpad sida
- Hög ljudnivå på uteplats/balkong
- Bullrigt grannskap

Det krävs dessutom kunskap om faktorer som gör att störningen minskas. Viktiga sådana faktorer är:

- Bostadsrum mot en tyst sida
- Låga bullernivåer inomhus
- Tyst gård och gårdssida

Om hänsyn tas till dessa faktorer fås en möjlighet att tydliggöra och utvärdera bullerfrågan redan i planeringsskedet [25].

6.2.5.1 Utformning och placering av byggnader

För att åskådliggöra vilken betydelse utformning och placering av byggnader har för ljudnivån följer här tre exempel:



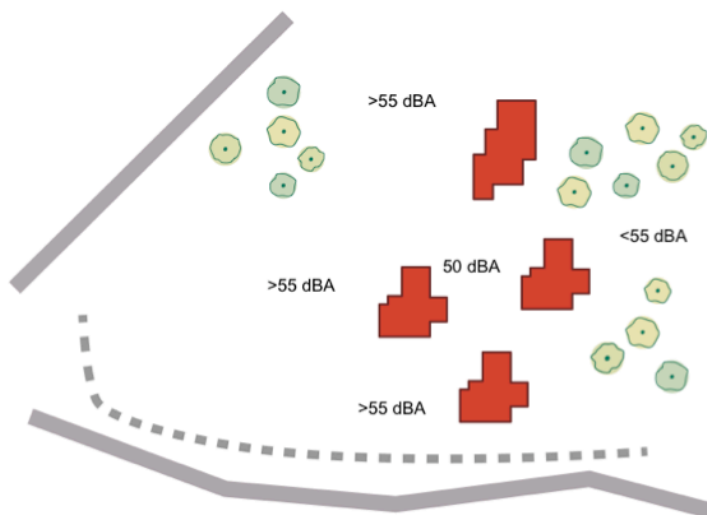
Figur 14: Två punkthus, L-formad byggnad samt byggnad med "halv" innergård. [25]

I ovanstående exempel råder samma omgivande ljudförhållanden men byggnadernas utformning ger olika ljudmiljö kring och bakom byggnaden. Bland ovanstående exempel är det endast exemplet med U-formad byggnadskropp som uppnår riktvärdena för ljudnivå utomhus (se kap. 6.3), vilket visar placering och utformnings betydelse för ljudmiljön [25].

Vid planering av bebyggelse i bullriga miljöer är det viktigt att i ett tidigt skede säkerställa tysta miljöer i närmiljön. Att skapa tysta ljudmiljöer är nämligen betydligt svårare att göra i efterhand. Ett effektivt sätt att skapa tysta miljöer är att låta huskropparna tjäna som avskärmning. Grundregeln är att avskärmningen, för att vara effektiv, helt måste innesluta det tysta området. Alternativt kan den vara i form av en mycket lång eller U-formad huskropp. [26] På små innergårdar uppnår man lägre ljudnivåer än på större och på innergårdar som ligger mellan två långa huskroppar är ljudnivåerna ändå högre. Om två långa huskroppar är det enda alternativet fås lägsta ljudnivåer om dessa placeras så tätt intill varandra som möjligt [27].

6.2.5.2 Exempel på lösningar från verkligheten

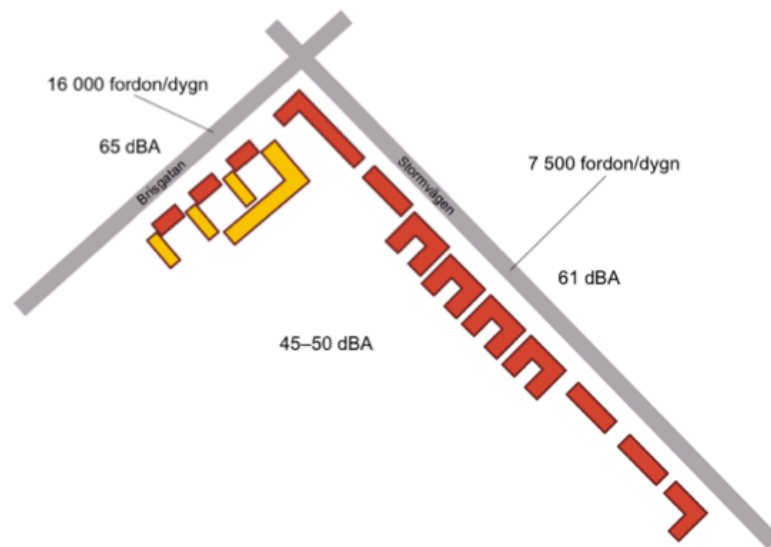
I nedanstående exempel har det byggts 200 lägenheter i fyra punkthus med 10 våningar. Byggnaderna exponeras med trafikbuller från två riktningar.



Figur 15: Fyra punkthus skyddade från trafikbuller med en bullerskärm

Punkthus ger i de flesta fall en ofördelaktig ljudmiljö när de utsätts för trafikbuller. I detta fall har husen placerats tätt ihop. Detta kombinerat med en bullerskärm utmed den ena vägen har gjort att man lyckats uppnå en ljuddämpadsida i centrum av punkthusen.

I nästa exempel har 250 lägenheter byggts i fyra våningshus längs med en trafikerad gata. Nya byggnader har byggts för att tillsammans med den befintliga bebyggelsen (gula i figuren) skapa slutna gårdar. Den täta placeringen av byggnaderna ger ett stort ljuddämpat område bakom byggnaderna och på så sätt uppnås ställda ljudkrav [25].



Figur 16: En rad mindre bostadshus längs en väg med en ljuddämpad sida bakom

6.2.6 Ljuddämpade ingångar mot innergårdar

En effektiv åtgärd för att skapa behagliga och tysta miljöer i städer är att skärma innergårdar eller motsvarande helt från intilliggande vägar. Dock stänger även dessa lösningar ute mer än bara ljud och hindrar boende från att enkelt ta sig till sina bostäder. Även besökare hindras från att ta del av eventuella allmänna och trevliga miljöer som finns i närheten av innergårdarna. Därför är det viktigt med lösningar som ökar tillgängligheten i staden för alla. I Göteborg har det redan idag byggts några nya bostadsområden som använder sådana lösningar på det här problemet.

Glas är ett material som dämpar ljud förhållandevis väl. Befintliga lösningar utnyttjar ofta glas som en fasad som sammankopplar två huskroppar med varandra och på så vis skapar en för ljudet sett hel fasad.

Vid Första Långgatan har det mellan husen byggts glasfasader (figur 18), bakom dessa har träd och buskar planterats för att ge en mer park-lik känsla till innergården, samt för att delvis begränsa insynen från första långgatan. Dessutom ger vegetationen ett trevligt intryck för de som vistas på innergårdarna jämfört med om de hade varit tomma hål. Husen vid Första Långgatan har också regelbundna ojämnheter i sina fasader (figur 19) som inte bara ger fasaderna ett estetiskt uttryck utan också skapar en viss ljudspridning av infallande ljud.

SGS studentbostäders hus på Lindholmsallén har en innergård som vätter mot gatan vilket normalt leder till stor störning på den även om den ger ett välkomnande intryck. För att minska störningen finns här en glasad entré formad som två stycken S-kurvor, där glasväggarna löper omlott om varandra samt är försedda med dörrar som eliminerar öppningar där ljudet kan ta sig in (figur 20). Denna utformning med S-kurvor fungerar ur akustiskt synvinkel endast då kurvorna är försedda med en dörr eller om entrén är byggd av absorberande material då ljudet annars kan reflekteras in genom kurvan.



Figur 17: Glasväggar mellan lamellhus vid porslinsfabriken i Göteborg sett från insidan



Figur 18: Glasväggar mellan lamellhus vid Masthugget

Ingångar till innergårdar är ibland även utformade som små tunnlar som inte delar hela huset utan bara en liten gång genom bottenplanet som är stor nog för biltrafik eller motsvarande. Dessa upplevs gärna som bullriga platser dessutom så ger de fri väg för ljudet att sprida sig i till innergården vilket gör att man tydligt kan höra förbipasserande bilar, lastbilar och bussar under en kort sekvens. Dessa problem går att åtgärda genom att förse tunnelarna med absorberande material som dämpar det ljud som träffar väggarna i tunnelarna. Tänkbart är även att förse tunnelarna med en mindre öppning och täcka resten av öppningen med glasdörrar som lätt kan öppnas om bilar behöver passera. Lösningen kan utökas med att båda öppningarna fördes med glasdörrar och var sin mindre öppning för gående förlagda i motsatta hörnen, så det i princip är omöjligt för ljudet att passera igenom utan att reflekteras på någon av väggarna som då också är försedda med dämpande material.



Figur 19: Ljudspridande fasad vid Masthugget



Figur 20: Glasvägg mot innergården på Lindholmsallen

6.3 Riktvärden

6.3.1 Riktvärden för ljudnivå utomhus

I Proposition 1996/97:53 antogs att följande riktvärden för trafikbuller normalt inte ska överträdas vid nybyggnation av bostadsbebyggelse eller väsentlig ombyggnad av trafikinfrastruktur:

- 55 dB(A) ekvivalentnivå utomhus (vid fasad)
- 70 dB(A) maximalnivå vid uteplats i anslutning till bostad

Riktvärden vid fasad och uteplats är frifältsvärden, alltså värden som inte är påverkade av reflektioner från fasad [25].

6.3.1.1 Avvikelser från riktvärden

$L > 65$ dB(A) Om den dygnsekvivalenta ljudnivån vid fasaden överstiger 65 dB(A), bör inte nya bostäder byggas. Om byggnation skall ske måste i så fall åtgärder göras vid källan.

$L > 60$ dB(A) Överstiger den dygnsekvivalenta ljudnivån 60 dB(A) vid fasaden skall bostäder byggas endast i undantagsfall.

$L = 55-60$ dB(A) Ligger den dygnsekvivalenta ljudnivån mellan 55 och 60 dB(A) vid fasaden bör bostäder kunna byggas, detta förutsatt att en tyst sida med en ljudnivå under 45 dB(A) eftersträvas och att en ljudnivå mellan 45-50 dB(A) uppnås.

Riktvärden för ljudnivå inomhus skall alltid uppfyllas, oavsett yttre ljudnivåer. Görs avvikelser från riktvärdena utomhus bör ljudklass B uppfyllas inomhus [28].

6.3.1.2 Tyst och ljuddämpad sida

Boverket rekommenderar att man skiljer på tyst och ljuddämpad sida. Begreppet används ofta när avvikelser från riktvärden är aktuella. Rekommendationen är att uttrycket tyst sida endast används när det är fråga om god ljudkvalitet, i annat fall skall begreppet ljuddämpad sida användas [28].

Tyst sida

Den tysta sidan har en dygnsekvivalent ljudnivå som är lägre än 45 dB(A) (totalnivå), vilket är ett totalvärde från alla källor inklusive trafik, industri och installationer. Även maxnivån på 70 dB(A) bör vara uppfyllt på den tysta sidan. Utöver att vara akustiskt attraktiv skall den tysta sidan också vara visuellt attraktiv att vistas på [25].

Ljuddämpad sida

För den ljuddämpade sidan gäller samma som för den tysta sidan, men här får den dygnsekvivalenta ljudnivån ligga mellan 45 dB(A) och 50 dB(A) [25].

6.3.1.3 Uteplatser och balkonger

För uteplatser och balkonger skall riktvärdet 55 dB(A) dygnsekvivalent ljudnivå samt en maximalnivå på 70 dB(A) uppfyllas. Dessa värden bör uppfyllas för åtminstone en uteplats [28].

6.3.2 Riktvärden för ljudnivå inomhus

I socialstyrelsens allmänna råd om buller inomhus, SOSFS 2005:6, ges följande riktvärden för buller inomhus [29]:

- 45 dB(A) maximalnivå inomhus
- 30 dB(A) ekvivalentnivå inomhus
- 25 dB(A) ekvivalentnivå av hörbara tonkomponenter
- 25 dB(A) ekvivalentnivå från musikanläggningar

Tersband (Hz)	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Ljudtrycksnivå (dB)	56	49	43	41,5	40	38	36	34	32

Tabell 1: Lågfrekvent buller

Förutom socialstyrelsens riktvärden finns boverkets ljudklasser reglerade i svensk standard (SS025267(2)). Man har angett fyra olika ljudklasser: Ljudklass A-D, som sträcker sig från bäst till sämst. Som en tumregel kan man säga att det skiljer ungefär 4 dB mellan de olika klasserna. Ljudklass C har ett maxvärde inomhus på 45 dB och är alltså det värde som inte får överskridas enligt socialstyrelsens allmänna råd. Klass D skall bara användas i undantagsfall, när exempelvis verksamhet gör det omöjligt att uppnå bättre ljudklasser [28].

Tabellvärdena nedan enligt BBR visar högsta ljudnivå i möblerade utrymmen för sömn- och vila samt daglig samvaro i bostaden, dB(A), på grund av trafikbuller etc.

Ljudklass	Ekvivalentnivå (dB)	Maximalnivå (dB)
C	30	45
B	26	41
A	22	38

Tabell 2: Ekvivalent- och maximalljusnivåer för olika ljudklasser [30]

7 Simuleringar

I detta kapitel kommer simuleringar från CadnaA och Matlab presenteras, simuleringarna i CadnaA är utförda tillsammans med Pontus Thorsson medan simuleringarna i Matlab är gjorda med ett egenskrivet program.

För att genomföra simuleringar behövdes en antaganden trafikmängd, det antagande som gjordes baserades på de trafikdata som fanns tillgänglig hos Göteborgs stad. För beräkning valdes en personbilstrafikmängd på 20000 fordon per dygn där andelen tung trafik antogs vara 5 %. Vidare antogs ombyggnationen av Sprängkullsgatan vara genomförd och en busstrafik på 400 fordon per dygn som baserades på de linjer som är tänkta att trafikera sträckan. Dessa mängder fördelades sedan på följande vis; de två mittersta filerna har 200 tunga fordon i vardera riktningen och de yttre filerna har 10000 fordon i vardera riktningen och andelen tung trafik är 5 %.

Hastigheten antogs vara 50 km/h och mottagarens höjd valdes till 1,5 meter.

7.1 Simulering i CadnaA

Ljudmiljön på torget idag, utan någon byggnad på torget, ses här i figur 21 och visar höga ljudnivåer som en följd av den stora trafikmängden på framförallt Sprängkullsgatan och Övre Husargatan. Kurvorna som utbreder sig över torget visar att ekvivalenta ljudtrycksnivåer upp till 60 dB(A) (röd linje) återfinns långt in på torget och närmast vägen är de så höga som 70 dB(A).

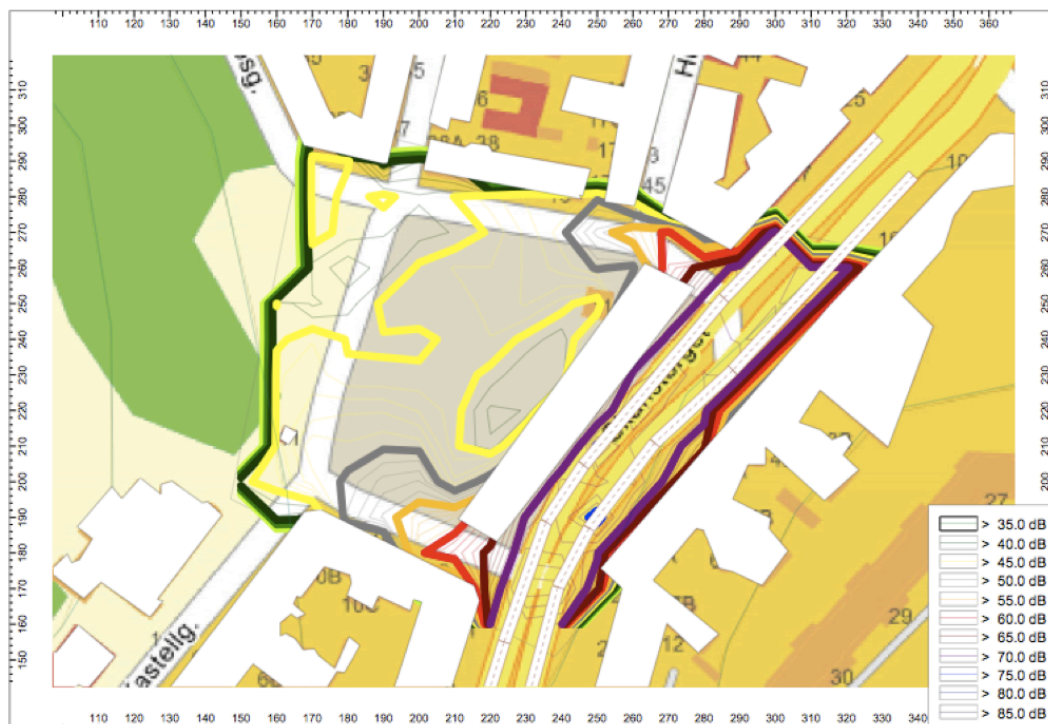


Figur 21: Simulering i CadnaA utan byggnad.

7.1.1 Simulering av byggnad vid torgets framkant

Om vi simulerar en byggnad i torgets framkant som har öppningar vid södra och norra änden, får vi en bild som den i figur 22.

Figuren visar att det sker ett relativt stort ljudläckage i byggnadens båda ändar och ekvivalenta ljudtrycksnivåer upp till 50 dB(A) sprider sig in en längre bit in på torget. Även nivåer på 55 dB(A) finns innanför öppningarna. Mitt på torget uppnås nivåer på 45 dB(A) vilket är kravet för tyst sida. Vid framsidan av det nya bostadshuset är nivåerna så höga som 70 dB(A).

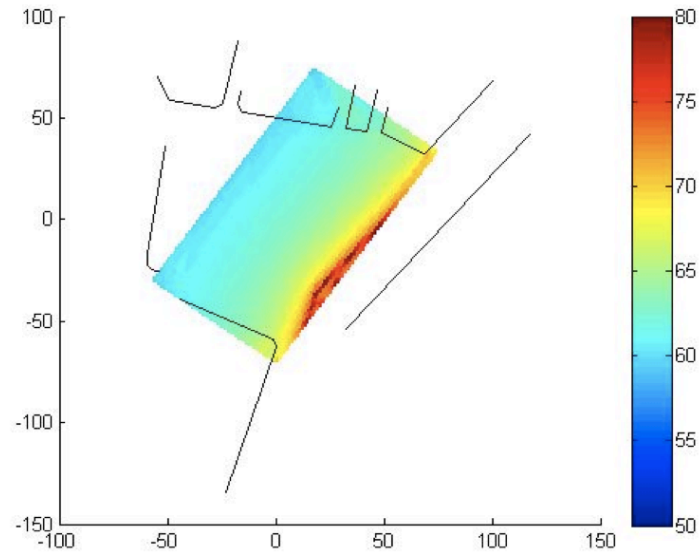


Figur 22: Simulering i CadnaA med byggnad i torgets framkant.

7.2 Simulering i Matlab

Nedan kommer de fyra tidigare presenterade byggnadsförslagen utvärderas.

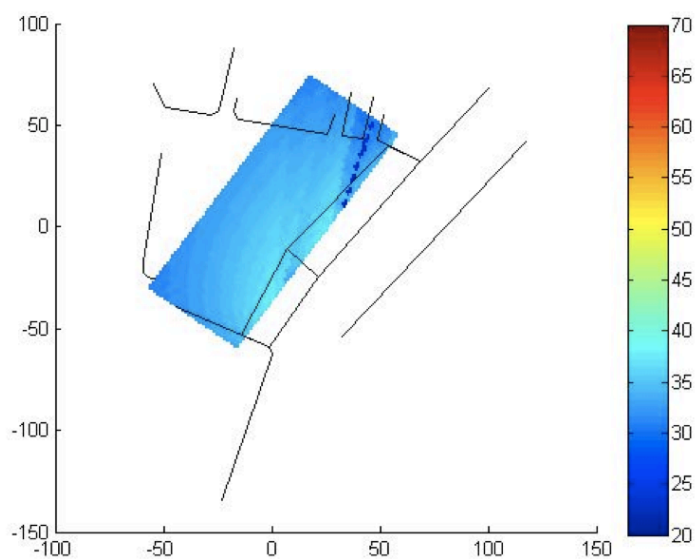
7.2.1 Torget utan byggnad



Figur 23: Alternativ E, ingen byggnad i torgets framkant.

Utan någon byggnad i framkant av torget visar simuleringen, se figur 23, på höga nivåer över hela torget, i synnerhet i framkant där nivåerna ligger mellan 65 och 70 dB(A). Längre bak går nivåerna ner till 60 dB(A), möjligen något lägre.

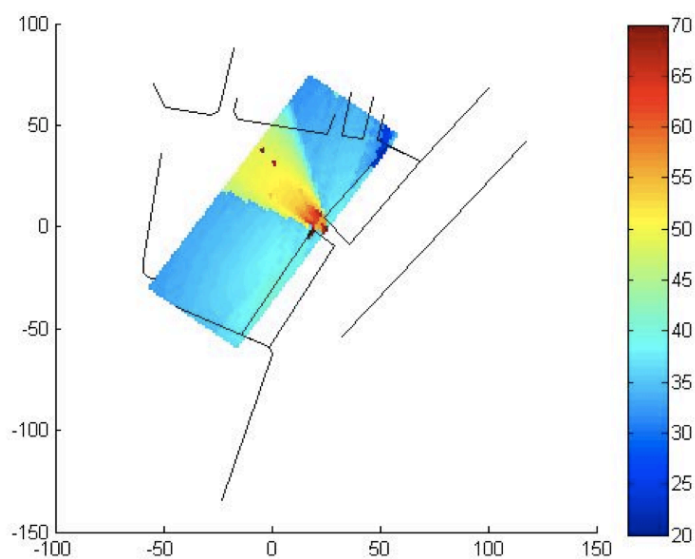
7.2.2 Alternativ A



Figur 24: Alternativ A. Sluter tätt i norr och söder.

Vi kan se att ljudnivåerna bakom huskroppen har en spridning mellan 35 och 40 dB(A), se figur 24. Även om det är något lägre nivåer i det norra hörnet. Det är tydligt i figuren att ljudet minskar med ökande avstånd från byggnaden. Med de nivåer som presenteras i bilden finns det god möjlighet att skapa ett torg med en behaglig miljö. I detta alternativ har det nya huset slutit helt tätt mot befintlig bebyggelse, vilket vi senare kommer se är nödvändigt för att skapa en tyst sida.

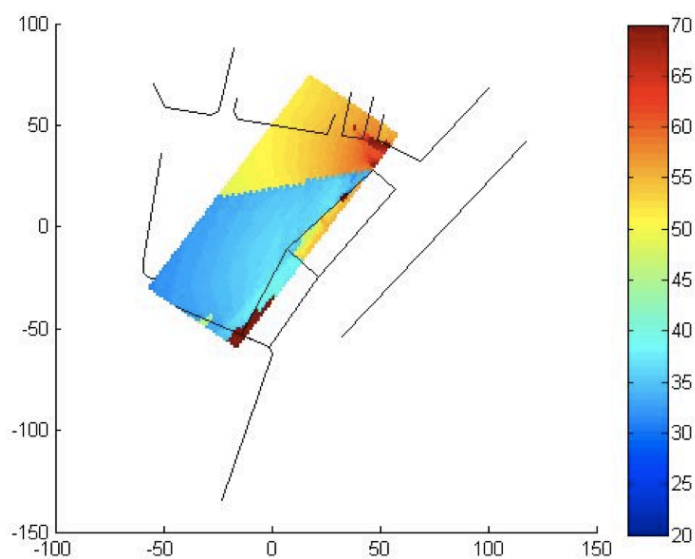
7.2.3 Alternativ B



Figur 25: Alternativ B. Sluter tätt i norr och söder, öppning i mitten.

Vid en första anblick ser man tydligt hur öppningen i fasadens mitt ger lokala höga nivåer, 65 dB(A), där direktljudet kan nå in, se figur 25. Denna höga ljudnivå sprider sig inåt och påverkar ett relativt stort triangulärt område i förhållande till den lilla och snäva öppning som ljudet kan ta sig in genom. Områdena som inte påverkas av detta inströmmande ljud har nivåer likt de som syntes i alternativ A.

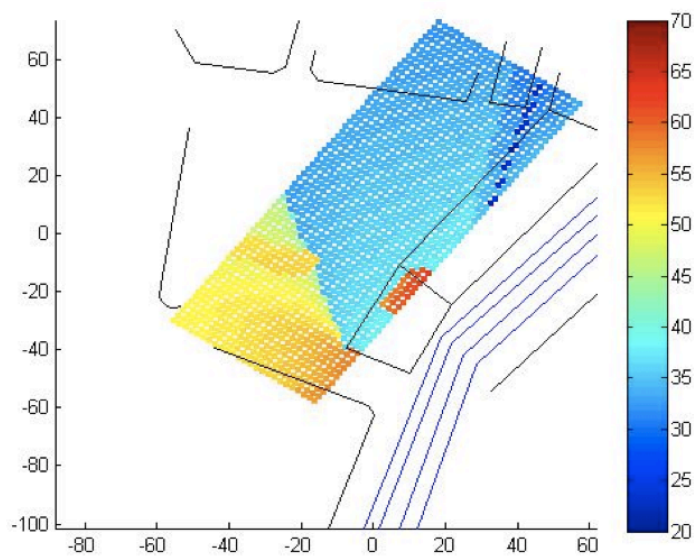
7.2.4 Alternativ C



Figur 26: Alternativ C, byggnaden sluter tätt i söder.

Reflektionerna och direkt ljudet ger i norr ett område med höga nivåer som utbreder sig in mot torgets mitt, se figur 26. Värdena i detta område ligger på 55-65 dB(A) vid öppningen mot vägen och avtar till värden runt 45-50 dB(A). Det område som i vår analys inte påverkas av direkt ljud och reflektioner ger liknande värden som i alternativ A på runt 40-45 dB(A). I modellen tas ingen hänsyn till fenomen som exempelvis diffraktion. Om dessa effekter skulle tas i beaktande skulle nivåerna bakom huskroppen avta långsammare.

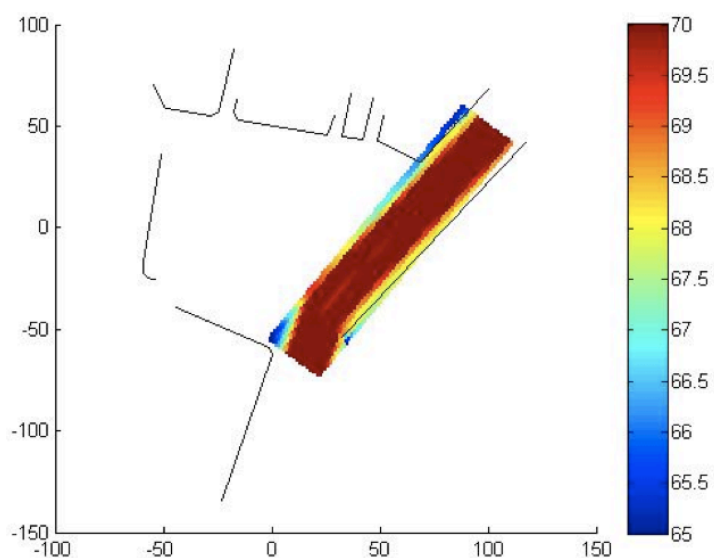
7.2.5 Alternativ D



Figur 27: Alternativ D, byggnaden sluter tätt i norr.

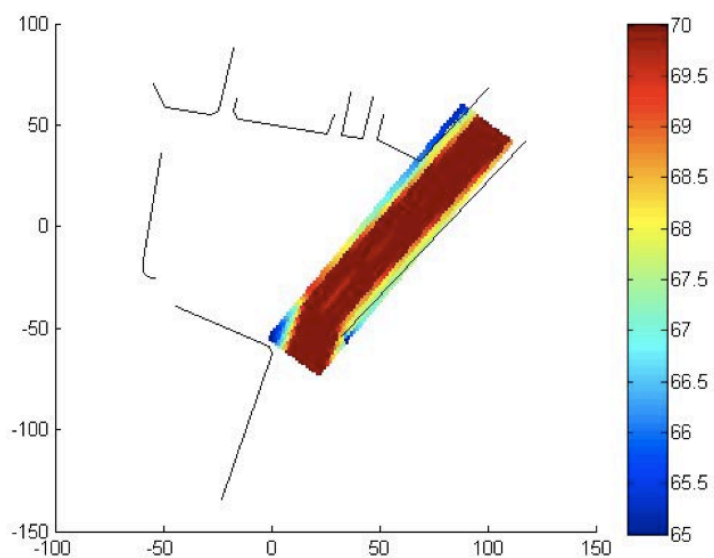
Reflektionerna och direktljudet ger i söder ett område med höga nivåer som utbreder sig in mot torgets mitt, se figur 27. Värdena i detta område ligger på 55-60 dB(A) vid öppningen mot vägen och avtar till värden runt 45-50 dB(A). Det område som i vår analys inte påverkas av direktljud och reflektioner ger liknande värden som i alternativ A på runt 40-45 dB(A). Området med värden runt 55 dB(A) nära torgets mitt kan bero på en felberäkning i programkoden, men kan också bero på begränsningen till en reflex.

7.2.6 Framför torget, utan byggnad



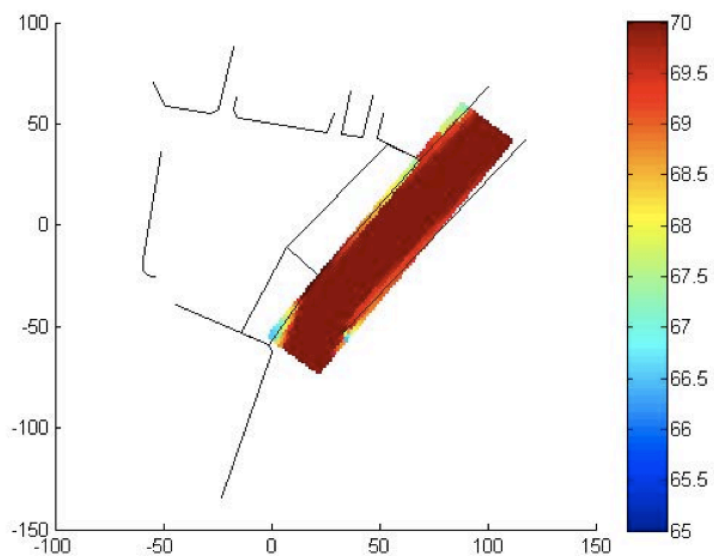
Figur 28: Ekvivalenta ljudtrycksnivåer framför torget, utan byggnad och utan absorption.

Resultatet av simuleringen, i figur 28, visar på värden mellan 67 och 68 dB(A) framför fasaden på byggnaden på andra sidan Sprängkullsgatan. Dessa värden fås när inget ljud alls absorberas av de reflekterande ytorna. Ett snarlikt resultat fås om absorptionen tas i beaktande, se figur 29. Beaktande bör tas på att beräkning är utförd med en reflex i åtanke. Multipla reflexer bör ge högre värden.



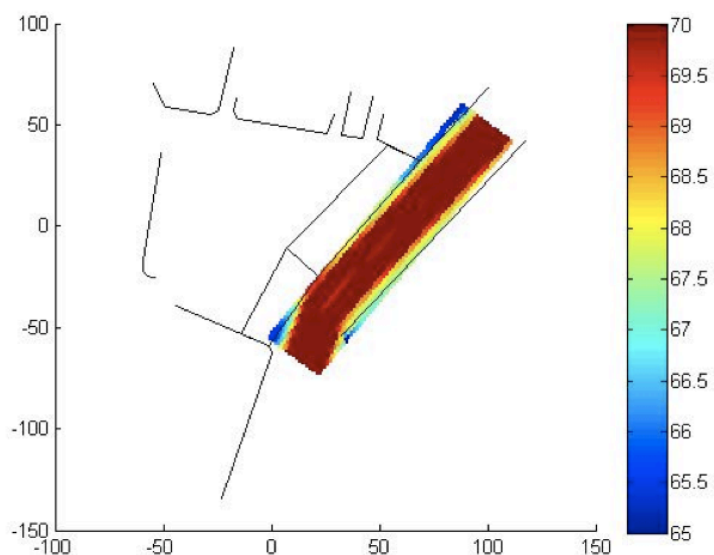
Figur 29: Ekvivalenta ljudtrycksnivåer framför torget, utan byggnad och med absorption.

7.2.7 Framför torget alternativ A



Figur 30: Ekvivalenta ljudtrycksnivåer framför torget, med hus utan hänsyn till absorption.

Resultatet av simuleringen, figur 30, visar värden mellan 68 och 70 dB(A) framför fasaden på byggnaden på andra sidan Sprängkullsgatan. Dessa värden fås om ingen hänsyn tas till absorption. Tas däremot hänsyn till att viss absorption sker fås värden mellan 67 och 68 dB(A), se figur 31.



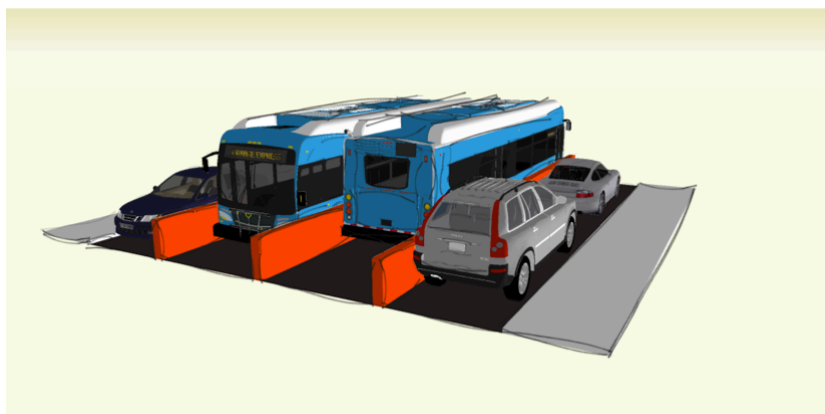
Figur 31: Ekvivalenta ljudtrycksnivåer framför torget, med hus utan hänsyn till absorption.

8 Praktisk tillämpning på Skanstorget

8.1 Åtgärder mot källan

Åtgärder som reducerar källstyrkan är intressanta därför att de påverkar hela ljudbilden både på torget och närliggande områden.

Efter ombyggnationen till bussgata finns det möjlighet att göra direkta åtgärder mot de bussar som hör till kollektivtrafiken. Då busschaufförer är vana att framföra bussarna på litet utrymme borde det vara möjligt för dem att köra bussarna i en form av kanaler där bullerskärmar på var sida om bussen utgör väggarna på kanalen, se figur 32.



Figur 32: Låga bullerskärmar vid bussfilerna. [39]

För att utforma bullerskärmar måste hänsyn tas till källans höjd. För bussar som kör 50 km/h är motorbuller den dominerande källan [22], därför avgör motors höjdplicering vilken höjd som krävs för att optimera bullerskärmar. Skärmar måste skapa en skuggzon över torget, men om de placeras nära bussarna behöver höjden inte bli speciellt hög och bör inte heller störa sikten mellan gatans sidor. Ytterst nödvändigt är att skärmar är gjorda i ett material som absorberar buller och reflekterar så lite som möjligt eftersom reflekterande skärmar i urbana miljöer flyttar bullerproblemet till en annan punkt [31]. Andra krav på skärmar är att de måste fungera i alla väderlekar och att deras funktion inte avtar när de utsätts för väder och vind.

Även tyst asfalt och *open thin layers* är lämpliga åtgärder att använda, inte bara för bussfilerna utan för hela vägbanan för att dämpa bullret från all trafik.

8.2 Ljudisolering

Simulerade bullernivåer visar ekvivalenta ljudtrycksnivåer som har värden upp till 70 dB(A) vid fasader. I och med dessa höga nivåer ställs höga krav på nybyggda fasaders ljudisolerande egenskaper.

Med hänsyn till hur byggnaden utformas kommer vissa sidor av huskroppen utsättas för mer eller mindre ljud, beroende på hur mycket direktljud och reflektionsljud som varje sida påverkas av. Detta innebär att det kommer ställas högre krav på vissa fönster och vissa delar av ytterväggen.

8.2.1 Fasadutformning

Förutom att det är viktigt med ljudisolerande material med få otätheter är det också viktigt attbyggnadsutformningen inte skapar onödiga reflektioner. Två helt plana fasader som står mot varandra skulle göra att ljudreflektioner studsar mellan båda fasadytorna. Ett sätt att undvika reflektioner är att använda sig av ljudsplittrande material med ojämna ytor. Istället för att ljudvågornareflekteras i endast en riktning skulle det innebära att ljudet reflekteras med mindre energi åt olika håll [32]. Placering av eventuella balkonger på fasaden kan splittra ljudreflexerna och därmed hjälpa till med en tystare miljö. För att hantera ljudsplittringeffektivt är det nödvändigt att kombinera ljudsplittring med ljudabsorption. Fasaden kan också ges en lutning, vilket gör att ljudet skulle reflekteras uppåt.

Ett alternativ för fasaden ären så kallad dubbelskalsfasad.Denna tekniska lösning innebär att en vanlig huskropp påläggs ett yttre enkelglas, där utrymmet mellan fasaden och det pålagda glaset fungerar som en luftspalt. Med en sådan fasad kan en reduktion av bullernivån med 10 dB fås. [33]

8.2.2 Vägghmaterial

Skanstorget utsätts för många ljudnivåer med flera olika frekvenser,speciellt intressant är låga frekvenser som kommer från busstrafik. Eftersom dämpning av låga frekvenser är svårare än dämpning av höga frekvenser är det viktigt att stom- och fasadmateriel har lämpliga egenskaper. [34]

Gipsskivor och betong är bra lösningar för ljuddämpning. Betong är ett bra material när det gäller ljudisolering vid fasad eftersom det kan dämpa även lågfrekvent ljud, jämfört med gipsskivor som har sämre förmåga om de inte används i flerlayerskonstruktioner. Med frekvenser över 100 Hz har en betongvägg och en gipsvägg liknande reduktion. [16]

8.2.3 Fönster


Antal fönster, eventuella balkonger och balkongdörrar som är anslutna till fasaden är av stor betydelse eftersom de orsakar otätheter som alla försämrar ljuddämpningen [30].

Med en bullernivå utomhus mellan 66-70 dB(A) visar figur 33 vilka reduktionstal som fönster måste ha när de placeras i en viss typ av vägg och för hur stor area som fönstren utgör av väggens totala area. Reduktionstalet beror på vilken ljudklass som efterfrågas inomhus. Som exempel kan nämnas att för en vägg där 10 % av väggytan upptas av fönster krävs för yttervägg 2 ett reduktionstal på 46 dB hos fönstren för att uppnå ljudklass C. [35]


Reduktionstalen för fönstren beror inte bara på val av glas utan även på fogmaterialet och karmens egenskaper. Det är det viktigt att fönstren monteras med minimala otätheter mellan fönster och stomme, dessutom är det viktigt att tätheten mellan fönstrets olika delar är så hög som möjligt. [36]

Det rekommenderas att eventuella fönsterdörrar eller balkonger läggs mot den tysta sidan av byggnaden eller de delar som inte påverkas av reflektioner. Balkonger som placeras på den bullrigare sidan måste använda fönster med högre isoleringsförmåga. Ett normalt 2+1-fönster, som har en isolerruta i inre bågen och ett enkelglas i yttre bågen, kan isolera ljudet med minst 30 dB. Isoleringsförmågan kan ökas med ökat avstånd mellan glasskivor eller ökat antal laminerade glas. [33]


Typ av yttervägg	Ljudklasser	10 %			20 %			30 %			40 %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
		R _w (dB)			R _w (dB)			R _w (dB)			R _w (dB)		
1		52	48	45	55	51	48	57	53	50	58	54	51
2		62	50	46	65	53	49	67	55	52	68	56	53
3		-	53	47	-	56	50	-	58	52	-	59	53
4		-	-	48	-	-	51	-	-	53	-	-	54




1.
Sandwichvägg
150 + 75 mm betong
med 150 mm
mineralullsisolering
och förbindelsestegar



2.
Sandwichvägg
150 + 75 mm betong
med 150 mm
cellplastisolering och
förbindelsestegar



3.
Sandwichvägg
120 mm betong
med
150 mm
cellplastisolering,
50 mm lättklinker
och
10 mm puts



4.
Halvsandwichvägg
150 mm betong
med
150 mm cellplast
och
10 mm puts

Figur 33: Reduktionstal för fönster vid olika ljudklasser

8.3 Byggnadsplanering

Skansberget i väster med sin gräsbeklädnad kan fungera som en absorber och dessutom på grund av dess sluttande form reflektera ljudet uppåt. Att placera en huskropp i torgets bakkant skulle ta bort effekten av detta och istället reflektera ljudet tillbaka mot torgets mitt. Detta illustreras i figur 34. En fördel med att ha en byggnad i torgets västra sida är att den skärmar den gata som passerar väster om torget.



Figur 34: Konsekvensen av att placera en byggnad i torgets bakkant.

9 Diskussion

9.1 Problemställning

Vid projektets början rådde viss osäkerhet gällande Skanstorgets framtid, vilket gjorde att fastställandet av problemställning till en början var svår. Initialt var det oklart vad för slags byggnation som skulle uppföras på Skanstorget, då både verksamheter och bostäder låg framme som förslag. Tanken var då från vår sida att undersöka lämpligheten av både verksamheter och bostäder, vilket skulle resulterat i ett vidare och mer svårutrett problem. Efter att beslut tagits av kommunen att bygga bostäder på Skanstorget kunde dock problemställningen centreras kring detta och angreppspunkten blev att utreda hur bostäder kan uppföras för att i den rådande ljudsituationen ge en så god ljudmiljö som möjligt. Detta är en öppen problemställning, som involverar frågeställningar om ljudutbredning, vägmateriell, trafik- och byggplanering, skärmning, byggnadsmateriell och liknande områden som var för sig är breda vetenskaper. Detta har tvingat oss till att bara översiktligt gå in på varje område utan att fullt ut utreda dem. Detta har å andra sidan gett rapporten styrkan att det blir lättförståeligt och för Skanstorget specifikt applicerbart. En djupdykning i något av underområdena hade riskerat att bli allt för teoretisk och möjligheten att vara en resurs för personer involverade i bygget av Skanstorget hade då gått förlorad.

9.2 Metod

Tidigt i arbetet blev det uppenbart att om vi ville utföra både undersökningar av Skanstorgets ljudsituation med hjälp av simuleringar och en litteraturstudie, skulle någon form av uppdelning av arbetet mellan gruppmedlemmar bli nödvändig. Vi uppskattade att två grupper om tre personer skulle vara en lämplig uppdelning, vilket har visat sig vara en någorlunda jämn fördelning av arbetsbördan. Valet att själva utföra simuleringar istället för att exempelvis använda en professionell programvara använd inom branschen, var i första hand en fråga om tillgänglighet. Dyra programvarulicenser gör dessa programvaror svårtillgängliga för privatpersoner. I realiteten använder dessa programvaror samma standarder som vi valt att använda, med det undantag att de tar hänsyn till fler reflektioner. Den största skillnaden är att de sparar användaren den tid det skulle tagit att programmera, samt att de kräver mindre datorkraft. Senare i projektet fick vi möjlighet att använda en av dessa programvaror och för oss har resultaten från dessa simuleringar tjänat som bekräftelse på att våra egna simuleringar varit riktiga.

De resultat som vi kommit fram till är endast baserade på beräkningar utifrån vald trafikmängd och torgets geometri. Det val av trafikmängd som gjorts kan diskuteras och vi har gjort vissa antaganden eftersom inga fullständiga trafikdata fanns tidigare än 2002 (det var det enda året då det fanns någon tung trafik registrerad). Att vi valde att räkna med en total trafikmängd på 20000 fordon motiverar vi på följande vis: Göteborgs stad redovisar år 2010 en trafikmängd på 20800 fordon per dygn, om vi antar att den mätta trafikmängden skulle vara något lägre än den egentliga mängden, så får vi resultat som är på den säkra sidan. Därför antar vi en verklig trafikmängd på 22000 fordon år 2012, som med en minskning på 10 % efter införande av trängselskatt ger oss en mängd på ungefär 20000 fordon.

Inga egna mätningar med ljudutrustning har gjorts, däremot har andra utredningars ljudmätningar på till exempel innergårdar använts till detta arbete.

9.3 Simulering

Jämför man våra beräknade värden med de tidigare uppmätta värden som finns för innegårdarna kring Skanstorget samt de resultat som kunde erhållas från CadnaA-simuleringen ser vi klart att de i Matlab beräknade värdena är lägre. En orsak till detta kan vara avsaknad av bakgrundsljud från alla större leder som finns i närheten av torget, samt avsaknad av multipla reflektioner av ljudet som når in till torget från bilvägen. Detta har tagits större hänsyn till i simuleringarna med CadnaA och dessa värden bör därför vara mer rättvisande. Med multipla reflektioner borde ett större område kring öppningen påverkas. Det är viktigt att inse att denna skillnad finns eftersom att det med bakgrunds nivåer och multipla reflektioner finns stora chanser att det blir svårt att skapa bostäder i framkant av torget som uppfyller kravet om ljudtrycksnivåer under 45 dB(A) för att uppnå tyst sida. På grund av att nivåerna ligger nära de som godkänns är det viktigt att fortsatt arbete undersöker vilka tekniska lösningar som kan ge en tillräcklig dämpning vid källan för att dessa nivåer skall vara acceptabla. Dessutom visar resultatbilderna från simuleringarna i både CadnaA och Matlab vikten av att använda absorbenter i öppningar i ett försök att dämpa multipla reflektioner. Störst möjlighet att påverka ljudbilden för torget är naturligtvis att dämpa källan så mycket som möjligt.

Simuleringarna utgår från plana fasader. Skulle fasaderna utformas med till exempel balkonger och andra ojämnheter skulle det hjälpa till en bättre ljudbild och reducerat bidrag från direktljud genom att splittra ljudvågorna. Fasadens utformning kan bidra en del till ljudbilden. En skalfasad vid den tysta sidan skulle kunna vara tillräcklig för att uppnå tillräckligt låga värden eller vara ett bra komplement om nivåerna redan ligger vid en godkänd nivå. Det handlar också om att skapa en god levnadsmiljö för de framtida boende och riktvärdena är trots allt gränser, och därmed inte några ideala förhållanden. Att bygga rätt från början kan hjälpa till att undvika behov av senare ombyggnationer. Något som är värt att uppmärksamma är den förändring av ljudbild som kommer ske vid en nybyggnation, den redan befintliga fasaden öster om Skanstorget skulle vid upprättande av en byggnad likt något av våra simulerade alternativ utsättas för ökade ljudnivåer på grund av reflektioner mot fasad. En möjlighet som kan vara värd att undersöka är att luta fasaden för att på så sätt reflektera ljudet uppåt och undvika förhöjda ljudnivåer vid befintlig fasad.

9.4 Åtgärder

Tyst asfalt och *open thin layers* är alternativ som bör beaktas då det kan hjälpa till att uppnå lägre ljudnivåer. Det innebär större kostnader på grund av materialet och det underhåll som krävs, samt en del komplikationer av att lägga om trafiken för de vägarbeten som krävs. Det är inte bara en ekonomisk fråga och behöver inte endast röra Skanstorget. Om man väljer att lägga tyst asfalt längs hela Sprängkullsgatan och upp längs Övre Husargatan skulle samtliga boende i området uppleva bättre ljudförhållanden. Nu har förvisso redan mycket av vägarbetet längs bilgatan redan utförts och det kan tänkas att asfalt redan har lagts. Det går att lägga tyst asfalt i efterhand men då asfalten nyligen lagts kan det vara en faktor som talar mot detta.

Det finns flera fördelar med att stänga den bilväg som löper längs med Skansberget. I dagsläget skiljer vägen torget från Skansberget och dess grönytor, se det markerade området i figur 35. Utan vägen finns möjlighet att på ett naturligt sätt inkorporera naturområdet i torgmiljön. Det skulle också bidra till att skapa en mer behaglig miljö för marknader och



Figur 35: Visar väg som löper längs med Skanstorget.

liknande verksamheter eftersom mer yta skulle tillgängliggöras för marknadsstånd och liknande. Det skulle också innebära att vägen som bullerkälla skulle försvinna. Problemet är då att man minskar framkomligheten för de som färdas i närområdet. Dock bor troligtvis en majoritet av dessa personer i området och om man skapar en trevlig miljö för dessa att vistas i, är förmodligen den minskade rörligheten ett pris de är villiga att betala.

Sprängkullsgatan som går utmed Skanstorget är den största källan till buller i området. Efter ombyggnationen av vägen kommer två filer vara ägnade för busstrafik, som ger upphov till buller i ett speciellt frekvensspektrum. Fram tills nu har inga bussar kört denna sträcka, den enda tunga trafik som passerat har varit lastbilar och tyngre bilar. Med denna ändring kommer det lågfrekventa ljud som är karakteristiskt för bussar och andra tyngre fordon eventuellt öka. Detta på grund av motorljud när de accelererar och då kan maxnivåerna tänkas överskridas flera gånger per dygn. Vi har tagit fram ett förslag med bullerskärmar placerade intill bussarna, enligt figur 32. Dessvärre har, på grund av tidsbrist, inga beräkningar gjorts för detta. Det kan dock vara en möjlighet till att uppnå de krav som ställs och sådana beräkningar kan vara lämpliga att göra för att undersöka om skärmarna är en lämplig åtgärd.

Innergårdarna norrut uppfyller med små marginaler kravet om en tyst sida, och deras närhet till Skanstorget ger därför en fingervisning om vilka nivåer som kan förväntas vid en nybyggnation, med sluten innergård. Värt att notera är att dessa innergårdar visserligen har omgivande byggnader med en höjd av 2-3 våningar men de är belägna en bit från vägen. Inte bara är de belägna en bit från vägen, de har ytterligare huskroppar mellan sig och vägen. De gårdar som ligger söderut om Skanstorget har nivåer under 45 dB och ligger intill vägen, men de är 6 våningar höga. Detta kan tyda på svårigheter med att bygga låga byggnader alldeles intill vägen. Enligt våra simuleringar fick vi förvisso värden nära de krav som ställs, men då har inte fullständig hänsyn tagits till bakgrunds nivåer.

Det kan vara möjligt att skapa ingångar till torget genom fasaden, likt det i alternativ B, men som synes i den simuleringen ger även en relativt lite öppning en stor påverkan

på ljudmiljön. Därför är det viktigt att utreda vilka konsekvenser en sådan öppning ger på ljudbilden på torget och om det är nödvändigt att komplettera en sådan öppning med glasfasader eller motsvarande.

Tanken var att använda Matlab-programmet för att simulera ljudtrycksnivåernas variation även i höjddled. Men på grund av tidsbrist har vi inte tagit detta i beaktande. Det är möjligt att det på bottenplan inte blir nivåer som tillåter bostadsbyggnation, men de våningsplan ovanför istället är bättre lämpade. Kanske är det heller ingen dum idé att placera verksamheter i bottenplan för att på så vis blanda stadsmiljön och bättre ta till vara på torgytan.

För att klara de riktvärden som finns krävs en reducering vid fasaden med minst 5 dB(A) enligt våra simuleringar. Detta om endast riktvärden skall uppnås, men för att skapa en god boendemiljö är större reducering önskvärd. Vi tycker också att med tanke på att det nu finns en chans att skapa ett nytt levande torg, i centrala delarna av Göteborg, bör utformningen inte endast styras av de gällande riktvärdena för bostäder. Eftersom riktvärdena till stor del har tagits fram för att skapa goda inomhusmiljöer tar de inte nödvändigtvis hänsyn till den utomhusmiljö som skapas. Därför bör inte riktvärdena ses som det slutgiltiga målet. Det lägsta kravet bör vara att riktvärdena uppnås, utöver det bör målet även vara att skapa en trevlig utomhusmiljö och en stadsmiljö som personer kommer att trivas att vistas i. För att skapa detta måste därför källan dämpas och byggnaden måste placeras på ett fördelaktigt sätt.

9.5 Felkällor

Simuleringar av det slag vi utfört är baserat på förenklade modeller av verkligheten och blir därför aldrig helt perfekta. Ingen modell kan ta hänsyn till alla ljudkällor som påverkar ett område och alla reflektioner som uppstår på grund av dessa. Däremot är modellerna utformade empiriskt för att passa verkligheten och prövade i otaliga tidigare projekt, vilket bör betyda att även om de verkliga ljudnivåerna kan avvika från de beräknade, bör felen vara inom acceptabla marginaler. På grund av tidsbrist har inte tillskottet från det ljud som transporteras över hörnhusen i norr och söder utmed vägen tagits i beaktande, vilket i det fall när huset sluter tätt mot befintlig fasad ger värden som är något för låga. Detta syns exempelvis i alternativ A där ljudnivåerna sjunker i södra och norra hörnet, där det istället borde vara liknande nivåer som vid övriga delen av fasaden.

Tankefel och egna fel som inte har upptäckts kan ha kommit med i koden och påverkat resultatet, men utifrån de resultatbilder vi producerat tycks de inte vara allt för framträdande. Jämfört med simuleringarna i CadnaA är det rimligt att säga att den största skillnaden är att simuleringen i CadnaA har tagit hänsyn till bakgrundsljud och multipla reflektioner.

Det framräknade värdet för källstyrkan kan vara något missvisande och på så vis påverka de beräknade ekvivalenta ljudtrycksnivåerna. Den trafikdata som finns tillgänglig är gammal och det är svårt att avgöra hur väl den överensstämmer med den faktiska trafiken, ännu svårare är det att veta hur trafiksituationen kommer vara efter ombyggnaden av bilvägen. Med hjälp av dessa data kunde vägen beräknas som en linjekälla, för att sedan omvandlas till en lång serie av inkoherenta punktkällor. Övergången från linjekälla till flera punktkällor är inte exakt beräknad, men det är en god approximation som ger ungefär samma värden.

10 Slutsatser

Vi har genomfört simuleringar utifrån följande fyra byggnadsalternativ med huskroppar placerade längs med Sprängkullsgatan:

- A) En huskropp som sluter helt tätt mot befintlig fasad i norr och söder.
- B) Två huskroppar som sluter tätt i norr och söder med en öppning i mitten.
- C) En huskropp som sluter tätt i söder.
- D) En huskropp som sluter tätt i norr.

För att skapa en bra ljudmiljö på och i närheten av Skanstorget är det fördelaktigt att bygga en eller flera huskroppar som skapar ett slutet torg. Dock kan sidan mot Skansen Kronan med fördel lämnas öppen för att eliminera reflektioner då kullen är gräsbevuxen och fungerar som en absorberande yta. Att skapa ett torg på det här sättet innebär att få personer utöver de som bor i husen kommer att besöka torget. För att öka tillgängligheten till torget bör lämpligtvis uppdelade huskroppar användas men som ändå är förbundna med varandra med till exempel en glasfasad och skärmade ingångar. Detta skulle öka tillgängligheten och samtidigt skydda mot ljudläckage från omkringliggande gator, ett problem som tydliggjordes vid simulering av alternativ B.

Resultaten av våra simuleringar med 10 m höga huskroppar i torgets framkant erhålls precis godkända riktvärden vilket tyder på att hus med lägre höjd kan vara olämpliga.

För att bygga i en så bullrig miljö som Skanstorget är, med höga nivåer vid fasaden längs vägen, krävs enligt dagens bestämmelser tillgång till en tyst sida som i vår analys endast uppnås i alternativ A. På grund av de rådande omständigheterna med verksamheter och bebyggelse är inte en nybyggnation som denna möjlig. Öppningar mot torget innebär att ljud kommer kunna passera både direkt och med reflektioner, vilket ger förhöjda ljudnivåer i likhet med alternativ C och D. Därför är en tyst sida endast genomförbar för andra byggnadsutformningar. Ett exempel på en sådan lösning är att bygga ett U-format hus, som skärmar torgets sidor.

Om en eller flera nya huskroppar byggs på Skanstorget riskerar det att ge en negativ påverkan på befintliga bostäder och verksamheter i området kring torget samt Sprängkullsgatan och Övre Husargatan. Därför bör en fasad med absorption, ljudspridande form eller en kombination användas för att reducera reflektioner från den nya fasaden. Släta ytor med låg absorption bör inte ha för stor area då dessa i princip reflekterar allt ljud som träffar ytan.

För att skapa en bra innemiljö i bostäderna på Skanstorget bör fönsterareorna inte vara för stora då ljudreduktionen hos fönster generellt är sämre än övrig fasad. Ett sätt att förbättra fasadens dämpning mot lågfrekvent buller är att konstruera fasaden av till exempel betong. För att ytterligare öka fasadens ljudreduktion kan en skalfasad användas.

En åtgärd som inte bara gynnar Skanstorget utan alla hus i närheten är om själva källan till ljudet dämpas. Åtgärder som tyst asfalt alternativt den mer moderna varianten *open thin layers* skulle vara lämplig att använda. Med tyst asfalt kan en dämpning med upp till 10 dB(A) uppnås, detta är dock under begränsad tid och kommer med tiden att försämrans.

Med *open thin layers* kan en dämpning upp till 3 dB(A) nås.

Om inte åtgärden med bullerdämpande asfalt är tillräcklig för att reducera trafikbullret kan åtgärder specifikt mot kollektivtrafikens bussar användas med hjälp av absorberande skärmar. Dessa placeras nära bussarna för att främst reducera motorljudet som är dominerande i lägre hastigheter, samt problemet med lågfrekvent buller från accelerationen. För att veta vilken dämpande effekt detta har måste beräkningar utföras. Liknande skärmar för biltrafik är troligtvis inte genomförbara på grund av att bilar ska kunna parkera utmed gatan, svänga av till sidogator och så vidare.

Åtgärder mot trafiken är inte bara applicerbara på Sprängkullsgatan och Övre Husargatan utan går att genomföra på fler gator. Även en omdirigering av trafiken mellan Skanstorget och Skansen Kronan skulle vara lämplig men ej helt nödvändig. Om så gjordes skulle trevnaden på torget öka och torget skulle få en mer naturlig koppling till grönområdet som Skansen Kronan utgör.

Målet bör vara att skapa en god torgmiljö, god stadsmiljö och god boendemiljö där personer trivs att vistas i utan att drabbas av omfattande negativa hälsoeffekter på grund av buller, därför bör åtgärder göras främst mot källan samtidigt som byggnadens placering är sådan att ljud från vägen inte tillåts att färdas direkt in till torget genom insläpp.

Bibliografi

- [1] Ljung, Maria. Skanstorget ska få nytt liv. *Göteborgsposten*. [Online] den 20 08 2011. [Citat: den 21 03 2012.]
<http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.336769-skanstorget-ska-fa-nytt-liv>.
- [2] World Health Organization. Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe. [Online] 2011.
http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
- [3] Grahn-Hinnfors, Gunilla. Ansiktslyft för Sveriges fulaste torg. *Göteborgsposten*. [Online] 01 2012. [Citat: den 21 03 2012.]
<http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.826874-ansiktslyft-for-sveriges-fulaste-torg>.
- [4] Gunilla Grahn-Hinnfors. Politikerna vill ha bostäder på Skanstorget. *GP*. [Online] 02 2012. <http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.851977-politikerna-vill-ha-bostader-pa-skanstorget>.
- [5] Hultehård, Johan. Läkarstuderande. *Intervju*. 2012.
- [6] WSP Akustik. *Uppskattning av antalet exponerade för väg, tåg- och flygtrafikbuller överstigande ekvivalent ljudnivå 55 dBA*. [Online] den 24 11 2009. [Citat: den 21 03 2012.]
http://www.naturvardsverket.se/upload/02_tillstandet_i_miljon/Miljoovervakning/rapporter/halsa/1/bullerinventering_2006.pdf
- [7] Göteborg Stad. *Bullerkartering Göteborg*. [Online]
<http://www.goteborg.se/wps/wcm/connect/b09d5b0042179228b60db697b3349e5a/Bullerkarta+Vagtrafik+Goteborg.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=b09d5b0042179228b60db697b3349e5a>.
- [8] Patrik Andersson, Wolfgang Kropp. Introduction to sound and vibration, Division of applied Acoustics. *Lecture 1*. 2009.
- [9] Institutionen för bygg- och miljöteknik, Teknisk akustik. [bokförf.] Mendel Kleiner. *Acoustics and Audio Technology*. 2011.
- [10] Rossing, Thomas D. *Springer Handbook of Acoustics*. Stanford : Springer Science+Business Media, 2007.
- [11] Meyer, Jürgen. *Acoustics and the Performance of Music*. u.o. : Springer Science, 2009.
- [12] Ivarsson, Lars. Chalmers. [Online] 2008.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture06_Vehicle_acoustics_pb_new.pdf.
- [13] Kropp, Wolfgang. Vägtrafik. *Ljudlandskap för bättre hälsa*. [Online] den 09 07 2010. [Citat: den 08 05 2012.]
http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=anvaendare&kapitel=kapitel_10&rubrik=rubrik1_1.
- [14] Jonasson, Hans. *Noise Emission of Heavy Vehicles*. Borås : SP ReportETa 6140-5, 2005. teknisk.
- [15] Begrepp. [Online] http://www.gyproc.se/files/PDF/Sweden/aku_begr.pdf.
- [16] Cementa AB. Sunt byggande med betong ger god ljudmiljö. [Online] [Citat: den 11 05 2012.]
<http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/07CA8480-C326->

- 44D6-9D97-1564CEF6A3FA/0/SuntbyggandedemedbetonggerGodljudmilj%C3%B6.pdf.
- [17] NCC. *VIACO*. [Online] [Citat: den 21 03 2012.] <http://www.ncc.se/Material-och-service/Asfalt-och-belaggnings/specialprodukter-belaggnings-asfalt/VIACO/tyst-asfalt/>.
- [18] Hans Bendtsen, Bent Andersen. *Thin open layers as noise reducing pavements : an Inter-Noise 2004 presentation*. Roskilde : Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut, 2004.
- [19] Hallberg, Johanna. *Akustisk design, ljuddämpningsmetoder, bullerskärmar*. [Online] den 17 2 2011. [Citat: den 21 3 2012.] http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=anvaendare&kapitel=kapitel_10&rubrik=rubrik4.
- [20] Träguiden. Bullerskärmar. [Online] <http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=4332>.
- [21] Vigran, Tor Erik. *Bygningsakustikk : et grunnlag*. Trondheim : Tapir, 2002. s.133.
- [22] Patrik Andersson, Wolfgang Kropp. Lecture. *Introduction to Sound and Vibration*. [Online] 02 2008. [Citat: den 08 05 2012.] http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture13.pdf.
- [23] Svenska kommunförbundet. *Skönheten och oljudet. 2*. Stockholm : Svenska kommunförbundet, 1998.
- [24] Gatunämnden. *Bullersaneringsplan för Göteborg*. 1988.
- [25] Boverket. *Buller i planeringen - Planera för bostäder i områden utsatta för buller från väg- och spårtrafik*. u.o. : Boverket, 2008.
- [26] *Ljudlandskap för bättre hälsa*. [Online] 2008. [Citat: den 29 03 2012.] <http://www.soundscape.nu/download/18.5f70f696125498bca9b80009024/Rapport+Ljudlandskap.pdf>.
- [27] Andersson, Patrik. *Bygga bort buller*. [Online] den 03 10 2011. [Citat: den 08 05 2012.] <http://gbg.yimby.se/tag/buller>.
- [28] Boverket. *Tillämpning av riktvärden för trafikbuller vid planering för och byggande av bostäder*. u.o. : Boverket, 2004.
- [29] Socialstyrelsen. *Buller inomhus*. u.o. : Socialstyrelsen, 2005.
- [30] Svensk Betong. *Trafikbullerisolering*. [Online] [Citat: den 12 05 2012.] <http://www.svenskbetong.se/ljud/trafikbullerisolering.html>.
- [31] Forssén, Jens. *Skärmens utformning. Ljudlandskap - För bättre hälsa*. [Online] den 18 11 2010. [Citat: den 08 05 2012.] http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=specialister&kapitel=kapitel_10&rubrik=rubrik2_2.
- [32] Akustikfunktioner. [Online] [Citat: den 08 05 2012.] <http://se.danoline.com/Funktioner/Akustik/Akustikfunktioner/Diffusion.aspx>.
- [33] Rätt ljudisolering hos fasader. *Ramboll*. [Online] [Citat: den 08 05 2012.] <http://www.ramboll.se/news/~media/F6F51E525E4E42299233926B2DB0227A.ashx>.
- [34] Socialstyrelsen. *Höga ljudnivåer och buller inomhus. Socialstyrelsen*. [Online] 2008. http://www.socialstyrelsen.se/Lists/Artikelkatalog/Attachments/8582/2008-101-4_20081015.pdf.

- [35] Svensk Betong. Trafikbullerisolering - Ljudklassning av påverkan från trafikbuller. [Online] [Citat: den 12 05 2012.]
<http://www.svenskbetong.se/ljud/trafikbullerisolering/ljudklassning-av-paverkan-fran-trafikbuller.html>.
- [36] Miljöförvaltning, Stockholms stads. ljudisolerande fönster- kostnader och förslag till utformning. *Miljöförvaltning*. [Online] 2003.
- [37] Träguiden. *Bullerskärmar*. [Online] [Citat: den 21 03 2012.]
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=4332>.
- [38] Google. Sattelitbild av Skanstorget. *Google Maps*. [Online] 2012.
<http://maps.google.se/maps?q=Skanstorget,+G%C3%B6teborg&hl=sv&ie=UTF8&ll=57.696264,11.95798&spn=0.001958,0.004356&sll=61.606396,21.225586&sspn=29.200095,71.367188&oq=skanst&hnear=Skanstorget,+411+22+G%C3%B6teborg,+V%C3%A4stra+G%C3%Botalands+l%C3%A4n&t=h&z=18>.
- [39] Göteborgs Stad. Vi bygger om Övre Husargatan. *Göteborgs stad*. [Online] den 16 03 2012. [Citat: den 21 03 2012.]
http://www.goteborg.se/wps/portal/lut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3giU-9AJyMvYwMDSycXA6MQFxNDPwtTI_cQQ6B8pFm8s7ujh4m5j4GBhYm7gYGniZO_n4dzoKGBpzEB3X4e-bmp-gW5EeUAPKXGFw!!/dl3/d3/L0lDU0IKSWdrbUEhIS9JRFJBQUlpQ2dBek15cXchLzRCRWo4bzBGBEdpdC1iWHBBRUEhLzdfMjVLUIySjMwMDICRDAYVEQ0MU44NTJHVDcvVVg0M0g5MDcwMDAYMA!!/?WCM_PORTLET=PC_7_25KQB2J3009BD02TD41N852GT7000000_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/goteborg.se/goteborg_se/invanare/resor_trafik/akt_n400_rt_2011-12-01_vibyggerom+ovrehusargatan.
- [40] Blomqvist, Marcus. Göteborg : u.n., 2012.
- [41] Kihlman, Tor. *Byggnadsakustik Vkvh. 2*. Göteborg : Chalmers Tekniska Högskola, 1993.
- [42] Bullerskydd. *Boverket*. [Online] den 11 01 11.
<http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Bygga-nytt/Bygga-nytt/>.
- [43] Ljudklassning av bostäder. [Online] [Citat: den 08 05 2012.]
<http://ama.bygggtjanst.se/Default.aspx?articleId=98&Typ=AmaNytt>.
- [44] Trafikbullerisolering. *Svensk betong*. [Online] [Citat: den 08 05 2012.]
<http://www.svenskbetong.se/ljud/trafikbullerisolering.html>.
- [45] Fredriksson, Lotta. Ljuddämpa huset. *Bygga hus*. [Online] den 20 08 2011.
<http://www.byggahus.se/artiklar/ljuddampa-huset>.
- [46] Göteborg Stad. *Bullerkartering Göteborg*. [Online]
http://www.goteborg.se/wps/wcm/connect/b09d5b0042179228b60db697b3349e5a/Bullerkarta+Vagtrafik+Goteborg.pdf?MOD=AJPERES&C ONVERT_TO=URL&CACHEID=b09d5b0042179228b60db697b3349e5a.
- [47] VELFAC. Test - information. [Online] [Citat: den 12 05 2012.]
http://www.velfac.se/Professionell/Test_information#Ljud.
- [48] Google. Google maps. [Online]
- [49] Tim Dwyer. *journal, Cibse*. [Online] 2012.
<http://www.cibsejournal.com/cpd/2012-03>.

- [50] Boverket. Vad är ljud och buller. *Boverket*. [Online]
<http://www.boverket.se/Planera/planeringsfragor/Buller/Vad-ar-ljud-och-buller/>
- [51] Rockfon. ljudabsorption. *Rockfon*. [Online]
<http://www.rockfon.se/akustik/vetenskapen+om+ljud/ljudabsorption!>