



CHALMERS



Stadens ljud

-Kan vi bygga stad med gårdagens bullerregler?

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

KIM DYKES
EMIL REGNSTRÖM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete 2015:90
Göteborg, Sverige 2015

EXAMENSARBETE 2015:90

Stadens ljud

-Kan vi bygga stad med gårdagens bullerregler?

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

KIM DYKES

EMIL REGNSTRÖM

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för teknisk akustik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2015

Stadens ljud

-Kan vi bygga stad med gårdagens bullerregler?

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

KIM DYKES

EMIL REGNSTRÖM

© KIM DYKES/EMIL REGNSTRÖM, 2015

Examensarbete 2015:90 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik

Avdelningen för teknisk akustik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Bullermätning vid Bergsjövägen.

Chalmers Reproservice/Institutionen för bygg- och miljöteknik

Göteborg 2015

Stadens ljud

-Kan vi bygga stad med gårdagens bullerregler?

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

KIM DYKES

EMIL REGNSTRÖM

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för teknisk akustik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Trafikbuller är ett stort problem i våra storstäder som skapar hälsoproblem i form av trötthet, stress, hjärt- och kärlsjukdomar m.m. Därför finns bullerregler vars syfte är att minska bullerproblematiken. Bostadsbristen i våra storstadsområden är stor, och det har sagts att tuffa och luddiga bullerregler begränsar nyproduktionen av bostäder. I denna rapport undersöks därför bullernivåer på olika typgator i Göteborg som sedan jämförs med bullerreglerna för att ta reda på vart det går att bygga och ej. Vidare undersöks olika bullerdämpande åtgärder som till exempel bullerskärm och tyst asfalt för att ta reda på hur dessa kan underlätta byggandet. I rapporten beskrivs även ljudteori för att ge en ökad förståelse för hur buller uppkommer och fungerar.

Nya bullerregler infördes 1 juni 2015. Dessa regler sänker bullerkraven vid bostadsfasader och ökar den tillåtna bullernivån på den minst utsatta sidan. Små lägenheter på max 35 kvm som är svåra att göra genomgående får också sina bullerkrav sänkta. Detta skall göra det lättare att bygga små lägenheter i städer vilket tidigare varit problematiskt.

Resultatet visar att det i centrum gick att bygga bostäder även med det tidigare regelverket på grund av avstegsprincipen som säger att avsteg från bullerkraven kan göras vid centrala stadsdelar med god tillgång till kollektivtrafik. I halvcentrala stadsdelar kunde det på de mindre gatorna inne i området byggas utan problem enligt de tidigare reglerna, men inte längs de större vägarna där en motivering enligt avstegsprincipen skulle krävts. Något som kan tänkas möjligt för det undersökta området. Utefter de större trafiklederna i förorten till Göteborg skulle det vara möjligt att bygga med hänsyn till gamla regler om den skyltade hastigheten i området sänktes. Detta skulle även möjliggöra byggnation av smålägenheter enligt nya regler. Med de nya bullerreglerna skulle byggnation eventuellt vara möjlig även utan en hastighetssänkning.

Slutligen generaliseras resultaten till att gälla för stadsgator och storstäder i allmänhet. De nya reglerna underlättar byggandet av bostäder på en del platser där det tidigare inte varit möjligt, särskilt har möjligheten att bygga små lägenheter ökat. De nya reglerna medför dock negativa konsekvenser för de boendes hälsa.

Nyckelord: Trafikbuller, hälsoeffekter, bullerdämpande åtgärder, bullerregler, Göteborg.

City sound

-Can we build houses in the town with the noise regulations of yesterday?

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

KIM DYKES

EMIL REGNSTRÖM

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of sound and vibrations

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Road noise is a big problem in our cities that cause health problems such as tiredness, stress, cardiovascular disease and more. This is why noise regulations exist, to lessen the noise problems. In our big city areas there is a housing shortage, and it has been said that though and unclear noise regulations are part of the problem. In this thesis the traffic noise of three typical city areas in Gothenburg is examined, and the noise levels are compared with the noise regulations to find out where it is possible to build residential housing. In the thesis different types of noise dampening measures have also been studied to see how they can lower the noise levels. The theory of sound is furthermore described to give a better understanding about how noise is created and how it behaves.

New noise regulations were implemented on the first of June 2015. These rules lower the noise requirements at the facades of houses and increase the allowed noise level at the quieter side. Also small apartments of less than 35 m², which are difficult to make pervading, will be easier to build according to the noise regulations.

The results show that it was possible to build residential buildings in the city center even with the former noise regulations because exceptions can be made for central parts of town with good public transport. In semi-central parts of the town smaller roads could be built upon with the former rules, but larger roads would need the same exceptions as for the central parts. Along the bigger roads in the suburbs of Gothenburg homes could have been built with the former rules if the speed limitations were lowered. This would also enable the building of smaller apartments according to the new rules. The new regulations would probably make it possible to build along these roads even without the lowered speed limits.

Finally the results are generalized to apply to city streets and cities in general. The new rules facilitate the construction of homes at some locations where it has previously not been possible. In particular the construction of small apartments has been made easier according to the noise regulations. The new regulations will however bring negative consequences to the residents' health.

Key words: Traffic noise, health effects, noise measures, noise regulations, Gothenburg.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
<i>DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME</i>	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställningar	2
1.4 Avgränsningar	2
1.5 Metod	2
2 HÄLSOEFFEKTER	4
2.1 Stress	4
2.2 Hjärt- och kärlsjukdomar	5
2.3 Kognitiv försämring hos barn	6
2.4 Sömnproblem	6
2.4.1 Natlig ljudnivå	7
2.4.2 Insomningsperiod	7
2.4.3 Påverkan på sömnstadier	7
3 LJUDTEORI	9
3.1 Ljudnivåer	10
3.2 Vägning av ljudnivå	12
3.3 Ljudkällor	14
3.3.1 Punktkälla	14
3.3.2 Linjekälla	15
3.3.3 Inkoherent linjekälla	15
3.4 Ljudutbredning	16
3.4.1 Markeffekten	17
3.5 Meteorologi	18
3.5.1 Temperatur	18
3.5.2 Vind	19
3.5.3 Turbulens	19
3.6 Trafikbuller	19

4	BULLERREGLER	21
4.1	Bakgrund till bullerreglering	21
4.2	Gamla regler	21
4.2.1	Avsteg:	22
4.2.2	Göteborgs tolkning av bullerreglerna	22
4.3	Nya regler	24
5	BULLERDÄMPANDE ÅTGÄRDER	25
5.1	Bullerskärm	25
5.2	Tyst asfalt	26
5.3	Gröna lösningar	28
5.3.1	Vegetation	28
5.3.2	Gröna fasader	28
5.4	Minska ljudnivån på innergårdar	30
5.4.1	Gröna fasader	30
5.4.2	Gröna tak	30
5.4.3	Låghöjdsbarriärer	30
5.4.4	Innergårdar	30
6	MÄTNINGAR OCH BERÄKNING AV LJUDNIVÅER	33
6.1	Bakgrund till mätområden	33
6.1.1	Miljonprogramsområden	33
6.1.2	Innerstaden	34
6.1.3	Halvcentrala områden	36
6.2	Metod	37
6.3	Konvertering av mätvärden	37
6.4	Beräkningar av ljudnivåer	38
6.4.1	Beräkningar med bullerskärm	38
6.5	Resultat av mätningar samt beräkningar	39
6.5.1	Resultat bullerskärm	40
6.5.2	Resultat av hastighetssänkning/avståndsändring	41
7	ANALYS	42
7.1	Förutsättningar för nybyggnation	42
7.2	Utan åtgärder miljonprogramsområden	42
7.2.1	Almanacksvägen	42
7.2.2	Bergsjövägen	43
7.2.3	Kvadrantgatan	43
7.2.4	Slutsats	43
7.3	Med åtgärder i miljonprogramsområden	43
7.3.1	Almanacksvägen	43
7.3.2	Bergsjövägen	44
7.3.3	Slutsats miljonprogramsområden	45

7.4	Utan åtgärder halvcentralt område	45
7.4.1	Guldhedsgatan	45
7.4.2	Doktor Allards Gata	46
7.5	Med åtgärder halvcentralt område	46
7.5.1	Guldhedsgatan	46
7.5.2	Slutsats halvcentralt område	46
7.6	Utan åtgärder centrumområdet	47
7.6.1	Linnégatan	47
7.6.2	Nordhemsgatan	47
7.7	Med åtgärder centrumområde	48
7.7.1	Slutsats Centrum	48
8	SLUTSATS	49
9	REFERENSER	50

Förord

Detta examensarbete har genomförts våren 2015 som en del av byggingenjörutbildningen på Chalmers tekniska högskola och omfattar 15 högskolepoäng. Arbetet har gjorts genom avdelningen för teknisk akustik på institutionen för bygg- och miljöteknik.

Vi var båda intresserade av att försöka skriva ett examensjobb inom området infrastruktur, och kom fram till att vi ville göra något som handlade om vägbuller. På avdelningen för teknisk akustik fann vi sedan ett färdigt examensjobb förslag vilket vi tyckte lät intressant och gav oss på.

Vi vill tacka vår examinator Patrik Höstmad för hans engagemang under arbetets gång, samt vår handledare Jens Forssén. Vi vill även tacka Wolfgang Kropp, Börje Wijk och kandidatgruppen från Väg och vatten som vi samarbetat med under arbetet. Tack till Axel Sundelius, Maja Jansson, Mikaela Stenberg och Elsa Wigren.

Göteborg juni 2015

Emil Regnström
Kim Dykes

1 Inledning

1.1 Bakgrund

År 2009 antog kommunfullmäktige en ny översiktsplan för Göteborg. Målen i översiktsplanen var att Göteborg skulle bli en långsiktigt hållbar stad med balans mellan miljömässiga, sociala och ekonomiska faktorer. För att uppnå målen ska Göteborg förtätas inifrån och ut, både i innerstan och vidare ut i förorterna. I en tätare stad, med fler människor per ytenhet, kan en effektivare kollektivtrafik skapas vilket i kombination med att människor inte behöver färdas lika långt och kan lämna bilen hemma är bra ur miljösynpunkt. En förtätad stad har också samhällsekonomiska fördelar samt ger en större möjlighet till integration. (Business region Göteborg, 2005)

År 2009 beräknades ca 2 miljoner svenskar bo i bostäder där bullernivåerna överskred de då gällande gränsvärdena vid husfasad. Vägverket bedömer att till och med år 2020 kan trafikbullret ha ökat med upp till 20–30 % (Gritsko, 2012). Fler människor riskeras alltså att påverkas negativt av buller från vägar. En tätare stad kan, om dåligt planerad, leda till ökat buller.

Buller är ljud som uppfattas störande och som påverkar oss negativt. Människan påverkas negativt på flera sätt av buller, till exempel genom sömnsvårigheter med efterföljande trötthet, stress, minskad koncentrationsförmåga, inlärningssvårigheter samt en ökad risk för hjärt- och kärlsjukdomar. (Bengtsson, 2014). Samhällsbuller beskrivs i rapporten *Burden of disease from environmental noise*, skriven av World health organisation år 2011, som den miljöpåverkan som leder till den näst högsta samhällskostnaden, efter luftföroreningar. Faktorer som tas hänsyn till är sjukdom, försämrad hälsa och förtidiga dödsfall. (WHO, 2011). Politiker och tjänstemän har på senare tid hävdade att regelkrångel gällande bullernivåer försvårar byggnation av bostäder i städer och tätorter och därmed även förtätningen av dem. Det är framförallt för små och billiga lägenheter samt studentlägenheter som detta rör. (SOU, 2013)

Urbaniseringen i Sverige fortsätter och befolkningsökningen i storstäderna har lett till bostadsbrist. Anledningen till att folk söker sig till staden är främst det stora utbudet av arbetstillfällen. Behovet av nya bostäder är alltså som högst i storstäderna vilket gör att det är här man måste bygga mest. Men det är också här som regelkrånglet blir som störst på grund av de många berörda och de ofta höga bullernivåerna.

En tätare stad är som ovan nämnt mer effektiv och miljövänlig. I tätbefolkade områden blir bullret idag högre än i mer otätt befolkade områden på grund av ökad kollektivtrafik och mer bilar och transporter på en mindre yta. För att råda bot på problemen med att bygga i bullriga områden har därför regeringen infört nya regler vars syfte är att underlätta byggandet i städerna.

I januari 2015 infördes en ny paragraf i plan och bygglagen som innebär att en ansökan om bygglov ska innehålla en bullerutredning där det kan behövas. En större förändring infördes även 1 juni 2015 som leder till att högre ljudnivåer accepteras vid nybyggnation av bostäder. Förordningen kommer att gälla för såväl plan- och bygglagen som miljöbalken.

Bullerfrågan är alltså ett högaktuellt område att beakta, inte minst i Göteborg. Det finns behov av större kännedom om hur ljudnivåerna längs olika gator i staden ser ut i förhållande till regelverken för buller. Det finns även behov av att undersöka hur olika stadsplanerings och bullerdämpande åtgärder kan underlätta för nybyggnation av bostäder med de nuvarande och kommande bullerreglerna.

1.2 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka bullernivåer i staden och hur man kan bygga för att uppnå bullerreglerna. Bullernivåer skall kartläggas längs tre olika typfall av stadsgator i Göteborg, och lämpliga sätt att bygga bostäder med hänsyn till buller längs dessa skall föreslås. Gatorna generaliseras till att gälla för stora delar av Göteborg samt till storstäder i allmänhet. Den första juni 2015 infördes nya bullerregler som leder till att högre ljudnivåer accepteras vid nybyggnation av bostäder. Ett mål med denna rapport är att undersöka om de nya reglerna markant förenklar förtätningen av Göteborg eller om det är möjligt att bygga bostäder utefter de tidigare lägre nivåerna.

1.3 Frågeställningar

- Vad är ljud och buller?
- Hur ser bullernivåerna ut längst typiska gator i Göteborg?
- Hur ser bullerreglerna ut? Vad gäller?
- Vad krävs för att kunna bygga bostäder och förtäta Göteborg med hänsyn till bullerreglerna?
- Vilka åtgärder som till exempel bullerskärm eller att bygga slutna innegårdar är lämpliga för att åtgärda bullerproblem?
- Hur påverkar buller människors hälsa?

1.4 Avgränsningar

Rapporten fokuserar på bullerproblem rörande vägtrafik. Det innefattas av lätta och tunga fordon där lätta fordon är de med en tyngd under 3.5 ton och tunga de med en tyngd över 3.5 ton. Andra ljudkällor som är närvarande vid mätningar så som ljud från spårvagnstrafik i innerstaden utesluts ur resultaten, enligt använd mätmetod. Endast ljudnivåer på utsidan av byggnaders fasader tas hänsyn till.

1.5 Metod

För att uppnå syftet med rapporten har information från rapporter, föreläsningar, faktablad, artiklar och dylikt hämtats från internet. Bullermätningar har genomförts på tre platser i Göteborg som ansetts kunna representera liknande stadsdelstyper runt om i staden. På så vis har ljudnivåer för en stor del av staden kunnat kartläggas. De platser som undersökts är centrala staden (Linné), halvcentrala staden (Guldheden) samt ett miljonprogramssområde (Bergsjön). Mätningarna utfördes efter Nordtest

method och pågick i 20 minuter vardera. De uppmätta nivåerna korrigerades med hjälp av årliga trafikmängder hämtade från Trafikverkets hemsida. Ljudnivåer vid vägarna har även beräknats enligt den Nordiska beräkningsmodellen för olika fordonshastigheter och avstånd. För gator vid miljonprogramsområden har även beräkningar med bullerskärm utförts enligt samma beräkningsmodell. Generella värden för olika bullerdämpande åtgärder från existerande undersökningar samt olika kvartersutformningar har använts för att se om det är möjligt att hålla sig under de tidigare och nya riktvärdena för buller.

2 Hälsoeffekter

Trafikbuller påverkar människor negativt på flera olika sätt. I en undersökning gjord av WHO (World health organisation) 2011 kallad *Burden of disease from environmental noise* listas hälsoproblem som hjärt- och kärlsjukdomar, kognitiv försämring för barn, sömnproblem, tinnitus samt irritation med problem med buller som bidragande orsak. Det finns gott om bevis från epidemiologiska undersökningar som visar att buller inte bara är en orsak till olägenheter utan även är ett hot mot folkhälsan. (WHO, 2011).

Figur 1 visar resultatet från en undersökning genomförd på Sahlgrenska akademien vid Göteborgs Universitet. Här har man undersökt hur olika personer upplever olika ljudnivåer i sina hem. Undersökningen har tagit hänsyn till olika ljudtryck vid fasad samt om bostäderna har tillgång till en tyst sida eller ej. Studien visar att tillgången till en tyst sida tydligt minskar antalet störda. Noterbart är också att även om båda sidor av en bostad är att betrakta som tysta så är det ändå ett antal personer som stör sig på ljudnivån. Enstaka höga ljud kan här ha inverkat då undersökningen är baserad på ljudmedelvärden.

EFFEKT AV TRAFIKBULLER VID OLIKA NIVÅER							
	Referens- område	Bebyggelse <u>med</u> tyst sida Bullernivå, mest exponerad sida			Bebyggelse <u>utan</u> tyst sida Bullernivå på båda sidor		
Andel i procent som påverkas av vägtrafikbuller:	42-43 dB båda sidor	55 dB	60 dB	65 dB	55 dB	60 dB	65 dB
Allmän störning	3	11	21	38	22	34	57
Vila/äterhämtning (inomhus stängt fönster)	4	11	18	31	19	33	45
Vila/äterhämtning utomhus	3	11	21	25	20	26	40
		Sovrum mot tyst sida			Sovrum mot bullrig sida		
Sämre sömnkvalitet (fönstret öppet på glänt)	4	10	17	29	18	34	47
Kan ej ha sovrumsfönstret öppet	6	10	15	21	34	44	56

(dB avser medelljudnivå [LAeq] per dygn.)

Figur 1. Undersökning hur människor upplever ljud i sina hem (Öhrström, 2005D)

2.1 Stress

Hur mycket buller stressar en person är individuellt. Mats Nilsson, docent vid psykologiska institutionen vid Stockholms universitet, säger att de inom psykologin ser ljudkänslighet som ett personlighetsdrag som beror både på genetiska förutsättningar och psykosociala faktorer (Tideström 2012). Personer som är känsliga för stimuli samt har svårt att stänga ute distraktioner kan alltså påverkas i högre grad av trafikbuller än andra.

Rent fysiologiskt får människan två direkta reaktioner på ljud: Orienteringsreaktion och försvarsreaktion. Orienteringsreaktioner uppkommer när en ny ljudkälla identifieras. Huvudet vrids mot ljudkällan, pulsen minskar, pupillerna vidgas och blodflödet till fingrarna minskar. Vid plötsliga, intensiva ljud så startar också en kortvarig (mindre än en sekund) muskelsammandragning, den så kallade

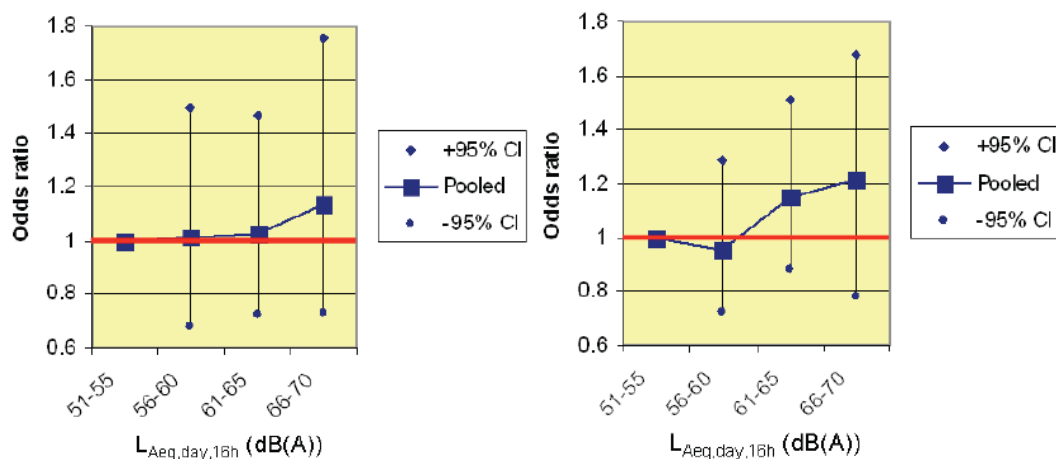
överrumplingseffekten. Orienteringsreaktionen upphör när vi identifierat ljudkällan och vant oss vid den. Efter tillräckligt lång tid passerat så kommer dock reaktionen tillbaka (Öhrström, 2007A). Försvarsreaktioner uppkommer vid ljud som är tillräckligt intensiva, varaktiga eller av tillräckligt stor betydelse för att upplevas som hotfulla. Det sätter igång en "kämpa eller fly-reaktion" vilket leder till en ökad pulsfrekvens, vakenhetsnivå och utsöndring av olika stresshormoner startar. Till skillnad från orienteringsreaktionen så vänjer man sig inte vid dessa ljud. En ljudnivå av 70 dB (vilket nivån bredvid till exempel en 70-väg ofta överstiger) kan starta en försvarsreaktion i vaket tillstånd, men vid sömn kan det räcka med 30-40 dB (Öhrström, 2007A).

2.2 Hjärt- och kärlsjukdomar

Hjärt- och kärlsjukdomar innefattar högt blodtryck, ischemiska hjärtsjukdomar (t.ex. kärlkramp i hjärtat och hjärtinfarkt), samt stroke. Det finns dock inga bevis på att det finns en koppling mellan höga bullernivåer och stroke (WHO, 2011). Epidemiologiska studier som undersöker samband mellan trafikbuller och hjärt- och kärlsjukdomar har utförts på vuxna och barn och på senare år har det kommit fram fler och fler bevis på att kopplingen stämmer.

Enligt WHO så är ischemiska hjärtsjukdomar den vanligaste dödsorsaken i i-länder och u-länder. Av de totala antalen dödsfall i respektive landstyp beror 22,8 % samt 9,4 % av sjukdomar av detta slag. Sett över hela världen så beror 12,6 % av alla dödsfall på ischemiska hjärtsjukdomar och 13,5 % kan sammankopplas till högt blodtryck. Att minska faktorerna som påverkar dessa sjukdomar är alltså relevant världen över. Efter sammanställningar från olika studier gällande kopplingen mellan trafikljud och hjärt- och kärlsjukdomar visas att risken att drabbas av hjärt- och kärlsjukdomar ökar när den genomsnittliga (ekvivalenta) ljudnivån under dagen överskrider 60 dBA. (se figur 2, vänster). Man kan också se att risken för att drabbas av hjärtinfarkt ökar mer än den av ischemiska hjärtsjukdomar (se figur 2, höger).

En ekvivalent ljudnivå under dagen kan på ett relativt bra sätt beskriva inverkan på hjärt- och kärlsjukdomar från en väg. Det har visat sig att denna nivå inte skiljer sig nämnvärt från vägda ljudnivåer där nattliga nivåer är inkluderade. Detta är praktiskt vid sammanställningar av flera undersökningar då nattliga nivåer ofta ej finns tillgängliga. Att ljudnivåerna är vägda betyder att de tar hänsyn till att bullret skadar mer på natten (WHO, 2011).



Figur 2. Diagrammen visar ökningen av risken att drabbas av hjärt-och kärlsjukdomar samt hjärtinfarkt då hemmet utsätts för olika nivåer av buller (WHO, 2011).

2.3 Kognitiv försämring hos barn

Om barn utsätts för buller under skolåldern kan en minskning av kognitiv förmåga uppstå som även består en tid efter det att bullerexponeringen har upphört. Kognitiv försämring innefattar försening av psykomotorisk utveckling, med försämrade prestationsförmåga inom språk, motorik och koordination. Tre studier undersöks i *Burden of disease from environmental noise* rörande kognitiv försämring hos barn. En av dem handlar om trafikbuller, de andra två behandlar buller från flygplatser. Resultaten tydde på att minneskapaciteten hos barn försämrades linjärt med ökad daglig ekvivalent ljudnivå. I fallen från flygplatsundersökningarna minskade minneskapaciteten snabbare med ökad bullernivå, men sambandet till vägbuller var trots allt påtagligt (WHO, 2011).

2.4 Sömnproblem

Buller stör sömnen genom omedelbara effekter, eftereffekter, samt långvariga effekter. Omedelbara effekter är till exempel total vaken tid, sömnfaser, kroppsrörelser under sömnen, antalet uppvakningar samt autonoma kroppsliga svar. Eftereffekter är trötthet, försämrade prestationsförmåga under dagen, samt kognitiv funktionsnedsättning. En långvarig effekt är kroniska sömnproblem. Att man under en period av sitt liv varit tröttare med sämre kognitiv förmåga kan göra att man lärt sig mindre i t.ex. skolan vilket kan få långvariga effekter senare i livet. Det kan bli svårare att klara av senare skolgång eller uppgifter som bygger på tidigare erfarenheter (WHO, 2011). Känsligare grupper som kroniskt sjuka, äldre, barn och ungdomar samt personer med hörselnedsättning påverkas mer av buller (Gritsko, 2012).

2.4.1 Natlig ljudnivå

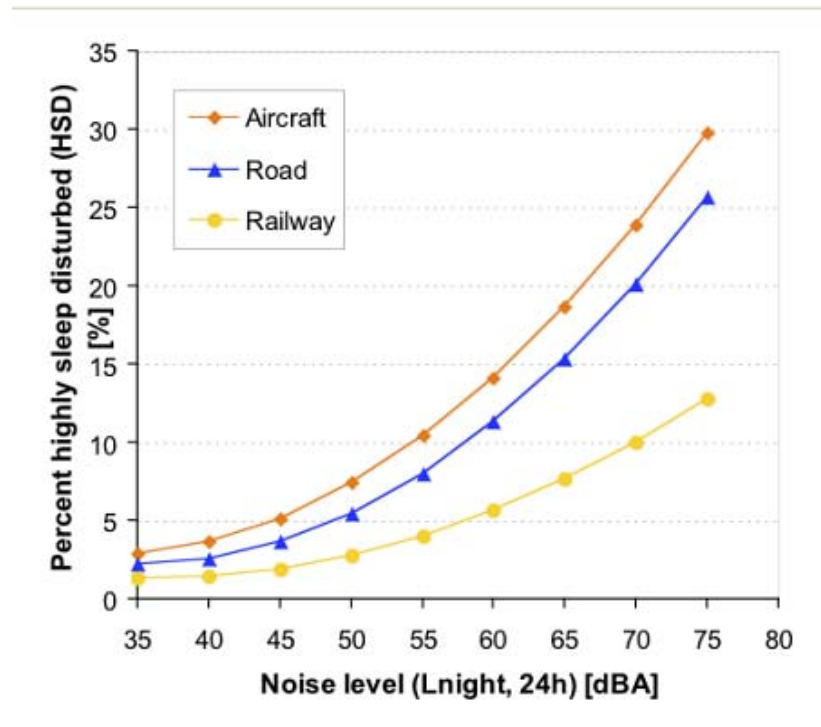
Då den nattliga ljudnivån utomhus ligger på 40-50 dBA kan skadliga effekter observeras hos de exponerade. Många behöver även anpassa sina liv efter ljudsituationen på natten. Känsliga grupper påverkas i högre utsträckning. När nivån överstiger 55 dBA är bullersituationen farlig för folkhälsan. En betydande del av befolkningen upplever svårigheter att sova och skadliga effekter förekommer regelbundet. Bevis finns för att kopplingar finns till hjärt- och kärlsjukdomar (WHO, 2011).

2.4.2 Insomningsperiod

Buller som varar sent på kvällen ger ofta upphov till en förlängd insomningstid. Det visades i en studie att det var dubbelt så vanligt med insomningssvårigheter i ett bostadsområde med mycket trafik, där den ekvivalenta ljudnivån var 72 dBA, än i ett kontrollområde där den var under 50 dBA. Det har visat sig att skillnaden mellan bullertoppar och bakgrunds nivå är viktig vad gäller insomningstid. Förlängda insomningsperioder på 7 – 15 minuter har till exempel observerats då den maximala nattliga ljudnivån var endast 45 dBA men där den ekvivalenta nivån var lägre (Öhrström, 2007B).

2.4.3 Påverkan på sömnstadierna

Efter insomningsperioden kan sömnen delas in i 1-4 sömnstadier samt REM-sömn (rapid eye movement). Dessa upprepas i cykler 3-5 gånger per natt. Trafikbuller påverkar fördelningen av dessa stadier. Vanligast är att de två första stadierna, som är ytligare sömnstadier, förlängs samt en ökad vakenhet under natten. I vissa fall sker en minskning av de djupare sömnstadierna 3-4 samt en minskning av REM-sömnen. Buller under natten leder även till en ökad puls och kroppsrörelser. Det är ännu oklart hur mycket dessa små skillnader i hjärtfrekvens samt kroppsrörelserna påverkar människan, men de indikerar att sömnen har störts (Öhrström, 2007C). En metaanalys gjord av ett flertal undersökningar där olika sömnstörningsmått (uppvaknanden, insomning, störning av sömn) skaltransformerats och lagts ihop till en funktion av genomsnittlig nattlig ljudnivå mot den mest bullerutsatta fasaden visas i figur 3. Resultaten redovisas för flyg – väg och tågtrafik. Ur diagrammet kan ses att vid en nattlig nivå av 60 dB så är 12 % mycket sömnstörda av trafikbuller.



Figur 3 Hur många procent som bli störda av väg, flyg och tåg- buller som en funktion av ökad ljudnivå (Öhrström, 2006).

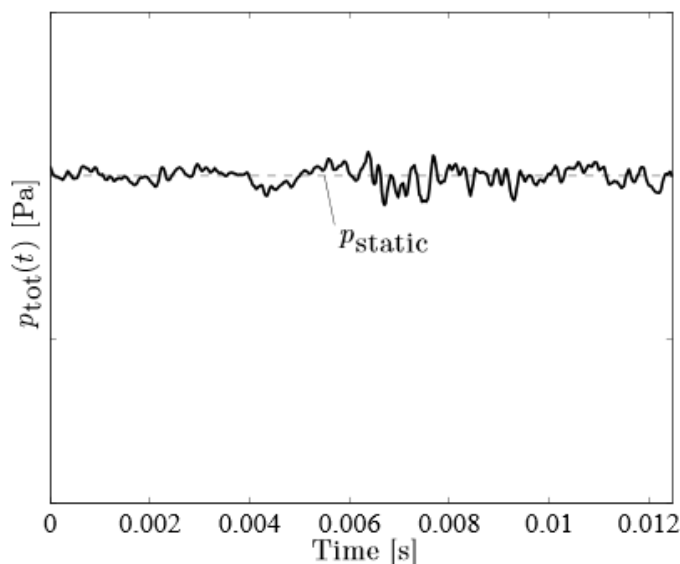
3 Ljudteori

Ljud är små tryckförändringar runt det statiska lufttrycket. I luft kan dessa förändringar till exempel tillkomma av mekaniska rörelser i olika strukturer eller av partiklar som blivit accelererade till exempel vid förbränning. Ljud benämns ofta som $p(t)$ där p är trycket och t är tiden, alternativt bara p . Ljud är som nämnt en snabb förändring av trycket runt det statiska atmosfärstrycket:

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

Trycket mäts i enheten Pascal, Pa [N/m^2]. Det förekommer även naturliga förändringar i det atmosfäriska trycket men dessa är betydligt långsammare än de som ger upphov till ljud. Under tiden ljudtrycket mäts förutsätts atmosfärstrycket vara konstant (Andersson, 2015A).

$$P_{\text{static}} = 101\,305 \text{ kPa}$$



Figur 4. Tryckförändringar runt det statiska trycket (Andersson, 2015A).

På molekylär nivå beror tryckförändringarna på att molekyler sätts i rörelse och krockar med varandra så att en impuls överförs från den första till den andra. Vid högre temperatur rör sig molekylerna snabbare vilket ökar chansen att de krockar med varandra. Detta leder till en högre ljudhastighet. Den hastighet energin från kollisionerna transporteras genom ett medium kallas ljudhastighet eller våghastighet och brukar benämnas med ett c .

Ljudhastigheten är beroende av temperaturen enligt ekvation 2:

$$c = \sqrt{401.37 \cdot T} \propto \sqrt{T}. \quad (2)$$

Ljudhastigheten är alltså proportionell mot roten ur temperaturen T som anges i kelvin (Andersson, 2015A).

Några vanliga värden för ljudhastigheten i luft visas i tabell 1.

Tabell 1. Ljudhastighetens beroende av temperatur i luft (Andersson, 2015A).

T [°C]	0	5	10	15	20	25	30
c [m/s]	331	334	337	340	343	346	349

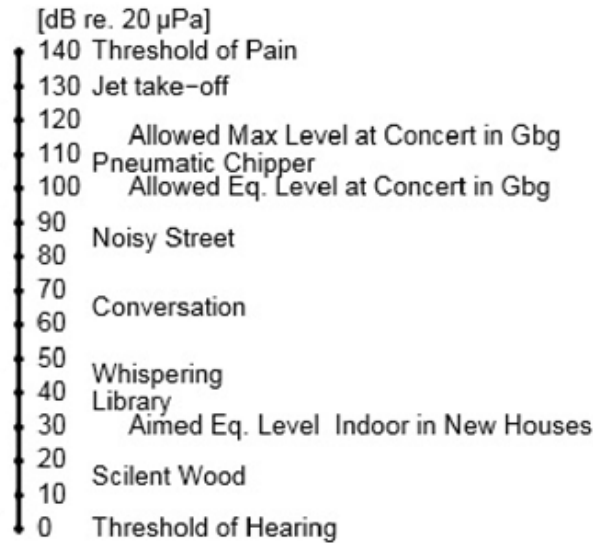
3.1 Ljudnivåer

Det statiska lufttrycket ligger runt 101 *kPa*, och det akustiska trycket är de variationer runt detta tryck en ljudkälla producerar. Det akustiska trycket kan variera väsentligt beroende på ljudkällan. De minsta tryckförändringar en människa kan uppfatta ligger på ungefär $2 \cdot 10^{-5}$ Pa och ett jetplan på ett avstånd av 100 meter producerar ett tryck på 100-120 Pa. Tryckspannet vi kan uppfatta är alltså relativt stort, och dessutom fungerar våra öron inte på ett linjärt vis. En fördubbling av det akustiska ljudtrycket uppfattas inte som en dubbelt så hög ljudnivå. I och med detta så har en logaritmisk skala valts för att beskriva ljudnivåer L_p , där p_{ref} är ett referensvärde som ligger på den undre gränsen för mänsklig hörsel på $2 \cdot 10^{-5}$ Pa och p_{rms} är ett medelvärde över tid av det uppmätta ljudtrycket (se ekvation 3).

$$L_p \hat{=} 10 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right) \quad (3)$$

Ljudnivåer mäts i decibel [dB] och ska alltså egentligen skrivas ut som dB re 20 μ Pa (uppmätt ljudtryck relativt referenstrycket). Eftersom detta är underförstått så skrivs endast dB ut i de flesta sammanhang.

En ökning eller reduktion med en decibel är svår att uppfatta för det mänskliga örat. En förändring med 3 dB är däremot tydligt märkbar. En ökning med 10 dB upplevs som en fördubbling av ljudnivån. (Andersson, 2015A). Några vanliga ljudnivåer visas i figur 5.



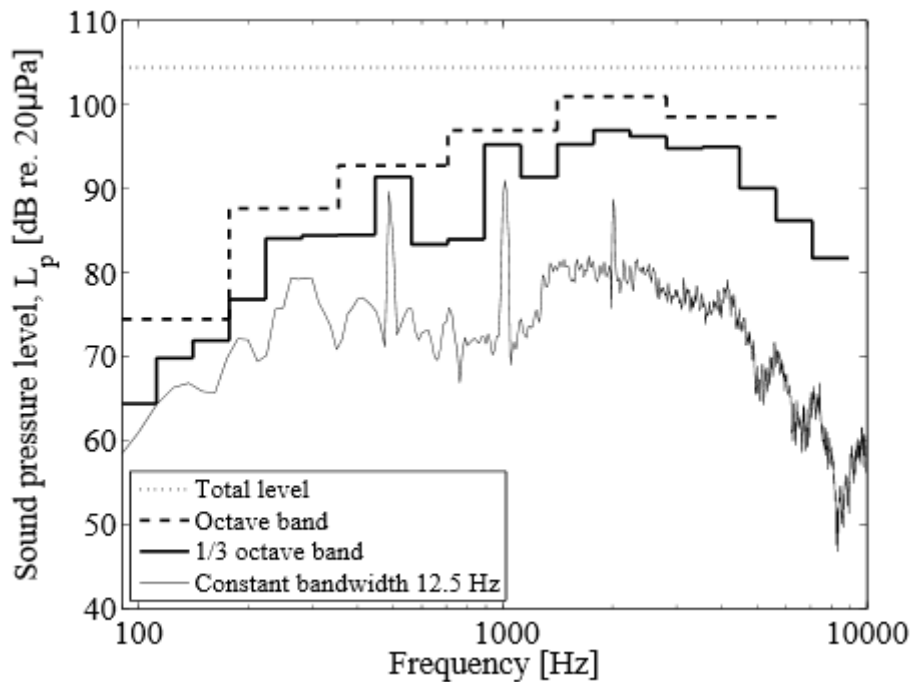
Figur 5. Förklaring av decibelskalan med typiska ljudnivåer (Andersson, 2015A).

Riktvärden och regler gällande ljudnivåer mäts ofta i något som kallas ekvivalent ljudnivå. Det är ett medelvärde av ljudnivån över en längre tid. I Göteborg ligger till exempel den högsta accepterade ljudnivån, för plats där allmänheten får besöka, på en ekvivalent ljudnivå av 100 dB och en maximal nivå av 115 dB. Detta gäller för ljudnivån på till exempel en rockkonsert.

En viktig term inom ljudteori är frekvensen f som är antalet svängningar per sekund med enheten Hz (hertz) vilken räknas fram som där T är tiden för en svängning:

$$f = 1/T. \quad (4)$$

Ljud består generellt av ett stort antal frekvenser med olika amplituder och faser. Den slutliga ljudsignalen är summan av dessa. En harmonisk svängning beskriver endast en frekvens och är alltså en så kallad monofrekvent svängning. I figur 6 visas en ljudsignal som består av frekvenser mellan 0 och 10000 Hz. Det finns olika sätt att beskriva en mångfrekvent ljudsignal. Ett sätt är att summera upp konstanta frekvensintervall. I figur 6 visas till exempel hur det ser ut när korta frekvensintervall på 12,5 Hz summeras. I många sammanhang är detta dock onödigt mycket information och resultaten förenklas då genom att summera ljudnivån för större frekvensband. Ett vanligt sätt är att dela upp i oktavband samt 1/3-oktavband. Med oktavband menas att frekvensspannen blir större med ökande frekvens vilket stämmer bättre överens med hur våra öron fungerar. Till exempel skulle det första bandet kunna vara 125 Hz, andra 250 Hz, tredje 500 Hz och så vidare. 1/3-oktavband betyder precis som det låter att oktavbanden delas upp i tre delar för att få en mer detaljerad beskrivning av ljudet. Eller så kan man helt enkelt summera ihop alla frekvenser till ett totalvärde (Andersson, 2015A).



Figur 6. Olika former av frekvensband för att beskriva ljudnivåer på mångfrekventa ljud (Andersson, 2015A).

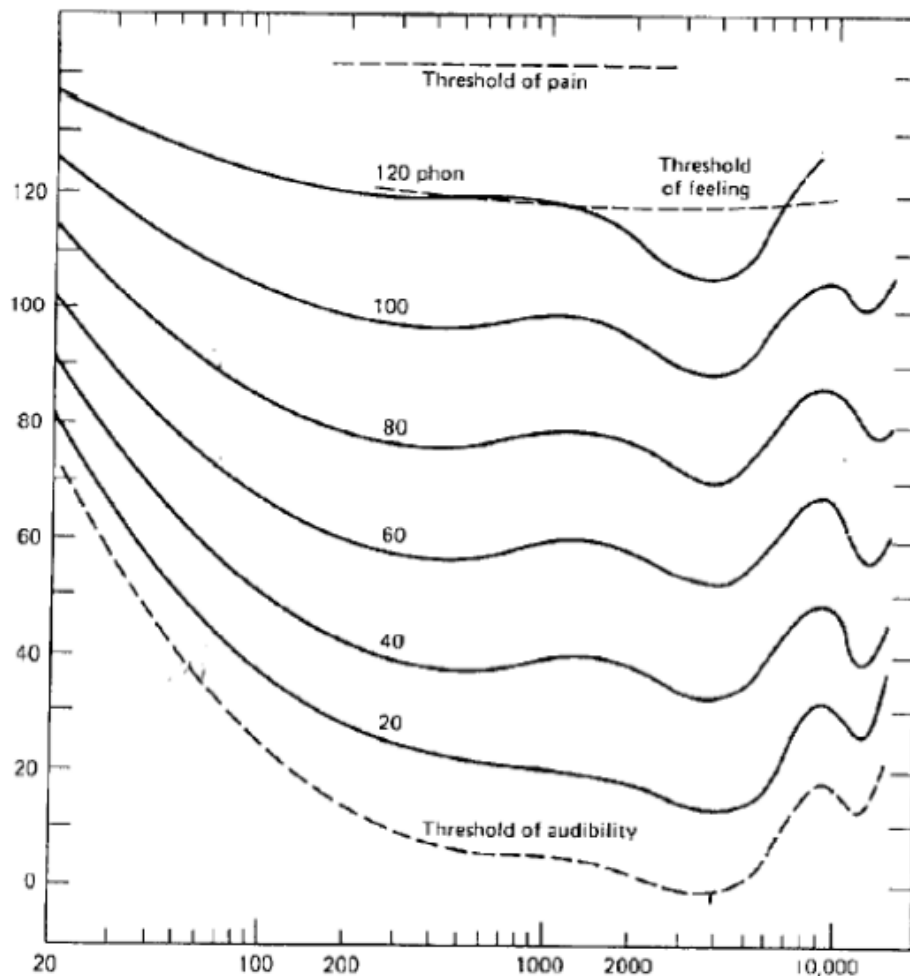
Ljudtrycket varierar hela tiden så att göra ögonblickliga mätningar skulle inte ge någon relevant information. Därför mäts ljudtryck ofta som ett medelvärde L_{pEq} över ett studerat tidsintervall.

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

T är det studerade tidsintervallet och $L_p(t)$ är ljudtrycket för ett kortare tidsintervall som ställs in och mäts upp av mätutrustningen (Andersson, 2015A).

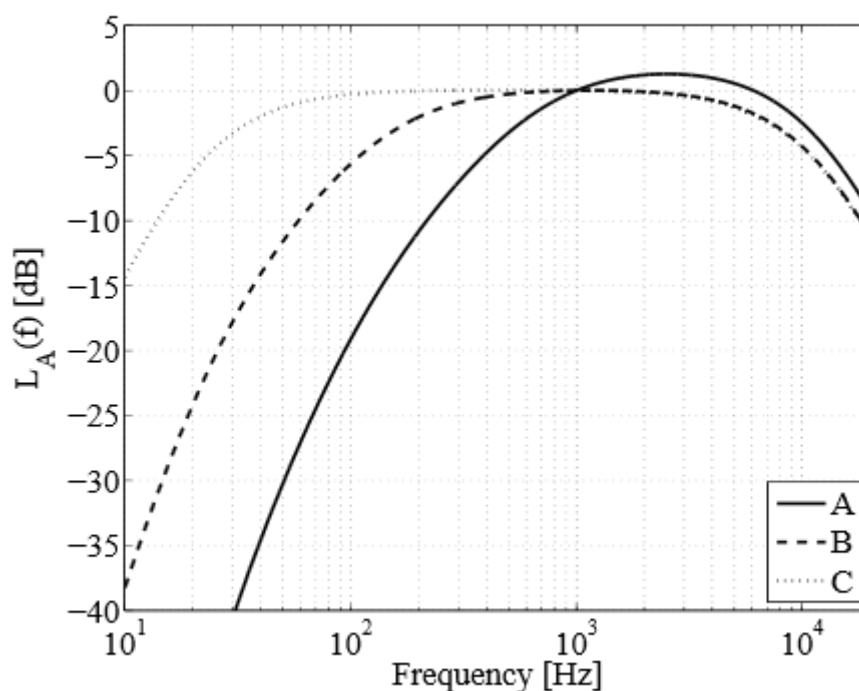
3.2 Vägning av ljudnivå

Människans öron uppfattar inte alla frekvenser lika starkt även om de har samma amplituder. Låga frekvenser uppfattas svagare än mellanfrekvenser (runt 2-5 kHz) där människans öron är som mest känsliga. Figur 7 visar kurvor som uppfattas som lika höga av människor i genomsnitt. Så kallade isofonkurvor.



Figur 7. Isofonkurvor som visar hur starkt människan uppfattar olika frekvenser av olika amplituder (Andersson, 2015A).

Detta faktum beaktas genom A, B- och C-vägning av ljudnivåer. I figur 8 visas hur ljudnivåer för vissa frekvenser reduceras medan andra adderas för att få en nivå som bättre stämmer överens med hur människans öron fungerar. För trafikbuller används ofta A-vägning och ljudnivån betecknas då dB(A) eller dBA. De andra kurvorna visar B- och C-vägning vilka tar större hänsyn till lägre frekvenser. Dessa används inte i den här rapporten.



Figur 8. Kurva för bland annat A-vägning som visar hur olika frekvenser reduceras för att få en ljudnivå som är bättre anpassad till mänskligt hörande (Andersson, 2015A).

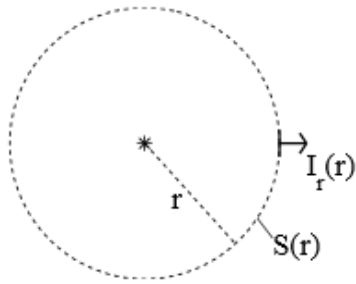
Hur en mätning är utförd beskrivs ofta i namnet. Till exempel betyder $L_{pA,Eq,24h}$ att det är en ekvivalent ljudnivå över 24 timmar, att den är A-vägd och att det är ljudtryck som har mätts.

3.3 Ljudkällor

Två vanliga sorters ljudkällor är punktkällor och linjekällor.

3.3.1 Punktkälla

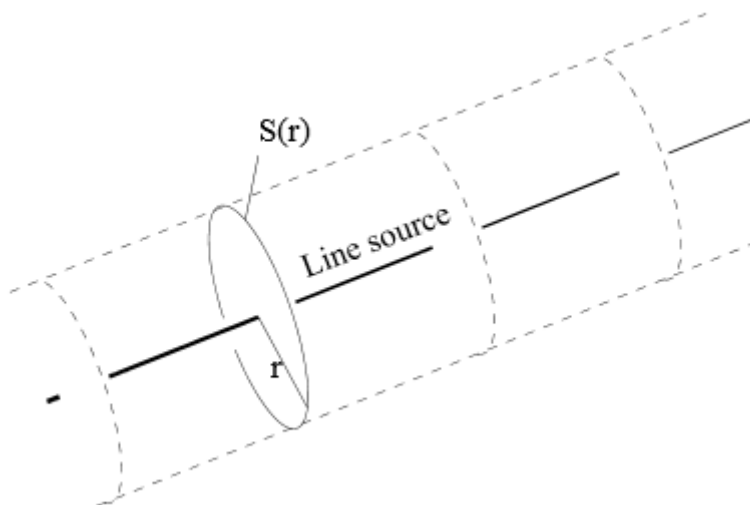
Punktkällor är precis som det låter ljudkällor som utstrålar ljud från en given punkt. Sådana källor existerar inte i verkligheten men på tillräckligt långt avstånd betar sig alla ljudkällor som punktkällor. Punktkällan är rundstrålande vilket betyder att den utstrålar samma ljudstyrka i alla riktningar (se figur 9). Om avståndet r från en punktkälla dubblas så minskar ljudnivån med 6 dB (Andersson, 2008A).



Figur 9. Punktkälla där ljudintensiteten I och den sfäriska ytan S är beroende av radien r (Andersson, 2008A).

3.3.2 Linjekälla

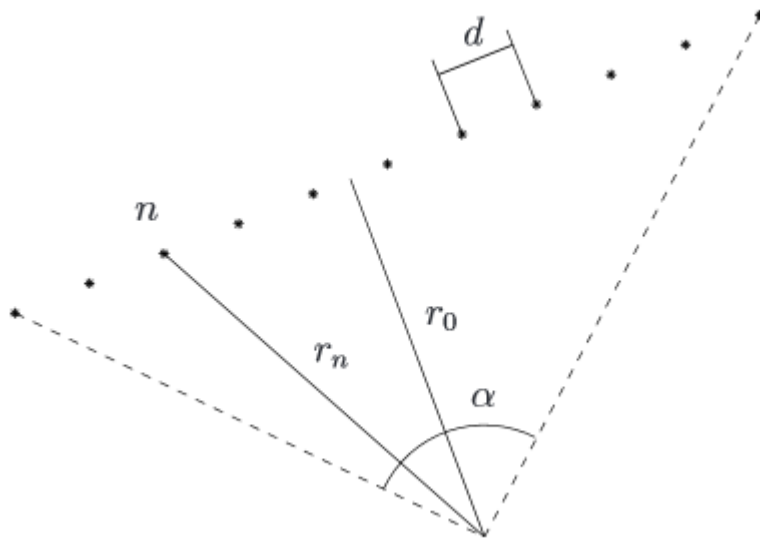
Linjekällan, som är mer relevant i den här rapporten eftersom den avspeglar beteendet hos en bilväg, beter sig på ett annorlunda sätt. Den breder ut sig som en cylindrisk yta från ljudkällan och en avståndsdubbling från ljudkällan betyder i det här fallet en ljudnivåminskning på 3 dB (Andersson, 2008A).



Figur 10. Linjekälla där den cylindriska ytan är beroende av radien r (Andersson, 2008A).

3.3.3 Inkoherent linjekälla

En bilväg är en inkoherent linjekälla. Där ses varje bil som en separat punktkälla som rör sig med ett avstånd d mellan varandra. Avståndet mellan vägen till mottagaren beskrivs som r_0 , r_n är avståndet mellan mottagare och den enskilda bilen n , och α är vinkeln av den synliga delen av vägen. I trafiksammanhang blockeras ofta en stor del av vägen av till exempel byggnader. En bilväg, som är en inkoherent linjekälla, kan ses som en linjekälla med cylindrisk ljudutbredning och alltså blir minskningen i ljudnivå 3 dB vid avståndsdubbling även i detta fall (Andersson, 2008A).

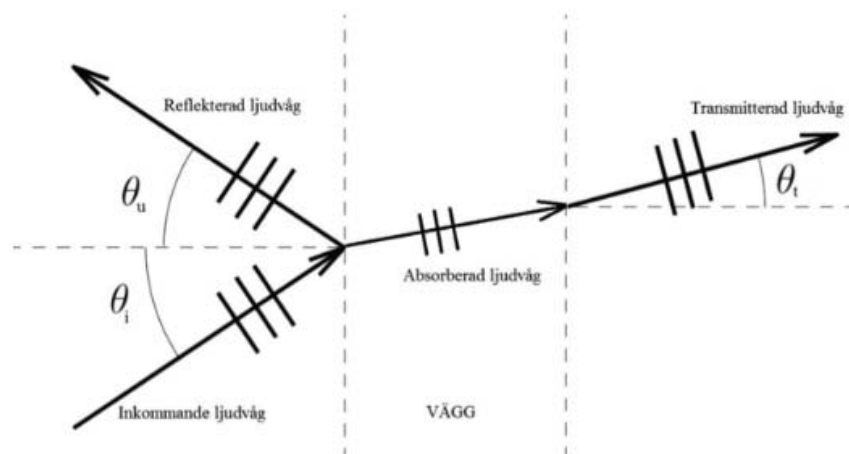


Figur 11 Inkoherent linjekälla där α är total synlig vinkel, r_0 är kortaste sträckan från mottagare till väg, d är avståndet mellan ljudkällorna och r_n är vinkeln mellan ljudkällan n till mottagarpositionen (Andersson, 2008A).

3.4 Ljudutbredning

Faktorer som påverkar ljudutbredningen är dämpning, blockerande objekt (som ger upphov till reflektion, diffraktion, spridning och refraktion), vind, temperatur och reflektion i marken vilka kommer beskrivas i kapitlet. Dämpningen beror på att energi i ljudvågen omvandlas till andra former av energi (framförallt värmeenergi) på grund av fysikaliska processer i vågen. Detta leder till att amplituden minskar med avståndet. Olika ljudkällor är olika avståndsberoende.

När en ljudvåg träffar en yta så reflekteras, transmitteras eller absorberas den. Till vilken grad detta sker beror på materialegenskaperna och infallsvinkel. Vid reflektion är infallsvinkeln lika med utfallsvinkeln $\theta_i = \theta_u$ (Blomkvist, 2014). Den reflekterade vågen ger en ökad ljudnivå vid mätningar intill väggar. Då gränsvärden för ljudnivåer ofta uppges i så kallad "frifältsnivå" (utan reflekterande yta bakom) så ska uppmätta värden intill väggar reduceras.



Figur 12. Hur en ljudvåg reflekteras, absorberas och transmitteras mot en vägg (Blomkvist, 2014).

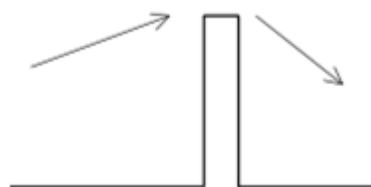
Förhållandet för hur mycket som reflekteras respektive transmitteras beror på skillnaden i akustisk impedans mellan de olika mediumerna. Akustisk impedans beskriver hur stort tryck det krävs för att sätta partiklar i rörelse. Om skillnaden i den akustiska impedansen är liten så transmitteras en stor del av ljudvågen vid övergången mellan mediumerna. Om skillnaden i akustisk impedans är stor så reflekteras det mesta av vågen.

Absorption sker när ljudvågor omvandlas till andra former av energi (framförallt värme) när det passerar genom ett material. Detta sker främst genom friktion mellan luft och material. Absorption beskrivs ofta med en absorptionsfaktor α där W_{in} är den inkommande vågens effekt och W_{loss} är ljudeffekten som absorberas. Absorptionsfaktorn ligger mellan 0 och 1 (Andersson, 2015C).

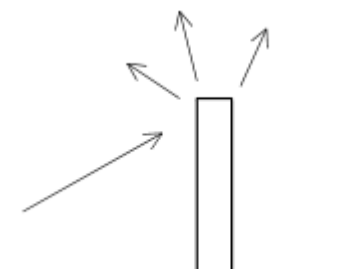
$$\alpha = \frac{W_{loss}}{W_{in}}, \quad (6)$$

(Andersson, 2015C)

För att minska ljudnivån från bilvägar är det vanligt att sätta upp en bullerskärm. Förutom att ljudet blockeras genom reflektion samt absorberas i skärmen så sker några andra fenomen som påverkar en bullerskärms effektivitet. I figur 14 illustreras diffraktion som betyder att ljudvågen böjs vid kanten på ett objekt. På så sätt kan ljud komma ner till i skuggzonen bakom en bullerskärm. Spridning, som visas i figur 13, betyder att ljudet sprids i olika riktningar när det träffar kanten av ett objekt. (Andersson, 2010)



Figur 14. Diffraktion
(Andersson, 2010).



Figur 13. Spridning
(Andersson, 2010).

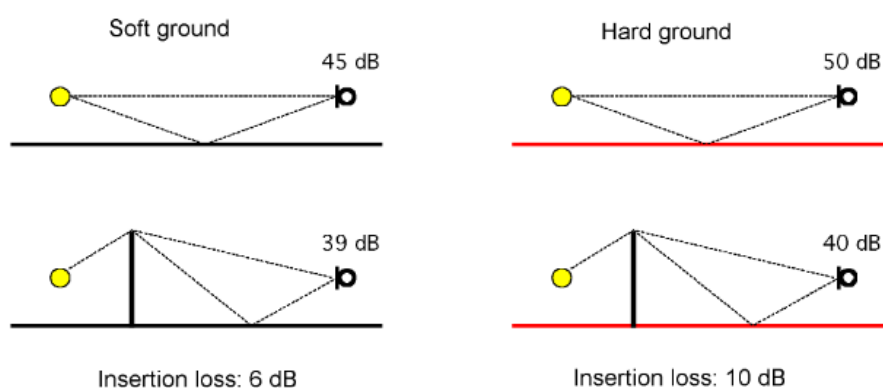
3.4.1 Markeffekten

När ljud reflekteras på marken mellan en ljudkälla och en mottagare kan det uppstå någonting som kallas för markeffekten. I korthet så är det att den direkta vägen som ljudet tar och den reflekterade vägen träffar mottagaren med en fasförskjutning vilket leder till att de delvis tar ut varandra. Positivt tryck från en av ljudvågorna kolliderar med negativt tryck från den andra ljudvågen och det resulterade trycket blir sänkt. Markeffekten blir större då ljudkälla och mottagare är lågt placerade och långt ifrån varandra, samt om marken där ljudet reflekteras är mjuk. En bullerskärms effektivitet

uttrycks ofta i *insertion loss* [D_{IL}] (se figur 14) vilket är ljudnivån utan bullerbarriär minus ljudnivån med bullerbarriär:

$$D_{IL} = L_{P,innan} - L_{P,efter} \quad (7)$$

En bullerskärms *insertion loss* kan bli märkbart reducerad då den minskar markeffekten genom att ljudkällan “lyfts upp” (Andersson, 2015B).

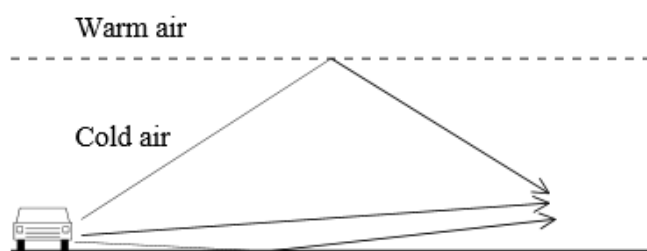


Figur 15. Markeffektens inverkan på en bullerskärm (Andersson, 2015B).

3.5 Meteorologi

3.5.1 Temperatur

Ljud böjer av mot långsammare hastigheter. På så sätt kan vind och temperatur göra att ljud böjs uppåt eller nedåt från en ljudkälla, så kallad refraktion. Ljudhastigheten är beroende av temperaturen enligt ekvation 2. Med sänkt temperatur följer långsammare ljudhastighet. Vanligtvis sjunker temperaturen med ökad höjd över marken och följaktligen böjs ljudet vanligtvis av uppåt. Det finns dock undantag då temperaturen höjs med ökad höjd över marken. Vid sådana omständigheter, som kallas inversion, kan ljudet fastna i en ljudtunnel vilket kan påverka effekterna av en ljudbarriär. Detta illustreras i figur 16 (Andersson, 2015B).



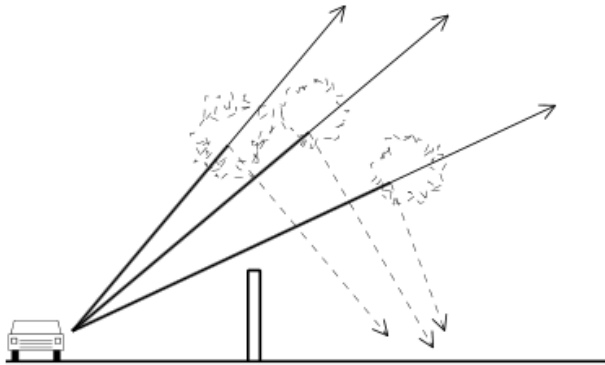
Figur 16. Inversion av ljud. Ljudet fastnar i en "ljudtunnel" under varm luft (Andersson, 2015B).

3.5.2 Vind

Vid blåst så adderas vindhastigheten helt enkelt till ljudhastigheten. Eftersom vindens hastighet ofta ökar med ökad höjd över marken så böjs ljudet av uppåt vid motvind och böjer av nedåt vid medvind. (Andersson, 2015B).

3.5.3 Turbulens

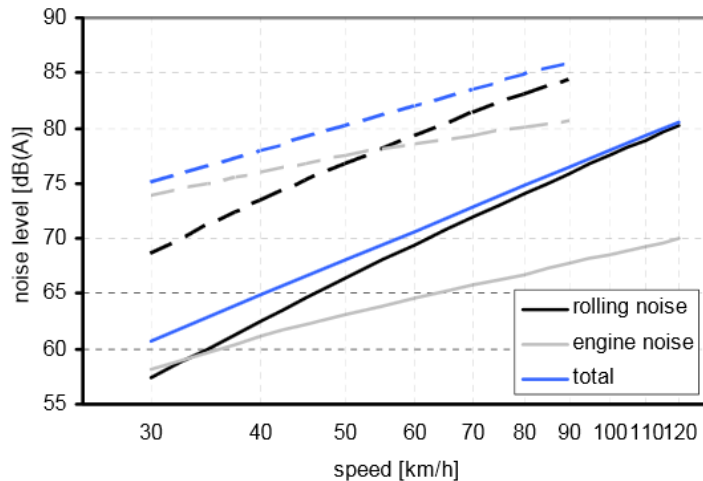
Ett meteorologiskt fenomen som kan påverka effekten av en ljudbarriär är turbulens. Turbulens är slumpmässiga skillnader i temperatur, vindriktning och vindhastighet som alltid finns i atmosfären. Turbulensen kan verka som reflektorer vilka för ner ljud förbi till exempel en bullerskärm (Andersson, 2015B).



Figur 17. Ljud reflekteras på turbulens ner bakom in bullerskärm (Andersson, 2015B).

3.6 Trafikbuller

Fordonsljud uppkommer framförallt från två källor på fordonet. Vid låga hastigheter dominerar ljud från motorn, växellåda, kylsystem och avgasrör etc. Vid högre hastigheter tar dock ljudet som alstras vid däck och vägbana över och blir det dominerande ljudet (IPG, 2005). Figur 18 visar hur ljud från motorn samt ljud från däck och vägbana beror av hastigheten. Tunga fordon illustreras med streckad linje och lätta fordon med en heldragen linje.



Figur 18 Samband mellan hastighet och motorljud och däck/väg-ljud för lätta respektive tunga fordon (IPG, 2005).

Från figur 18 kan ses att ljudet för däck och vägbanor blir det dominerande ljudet vid 35 km/h för lätta fordon och vid 55 km/h för tunga fordon. Vid högre hastigheter blir bidraget från motorn försumbart för lätta fordon. För tunga fordon kan inte motorljudet försummas vid höga hastigheter.

För att minska bullret från fordon måste alltså antingen motorljud eller ljud från däck och vägbanor minskas. För motorväghastigheter är ljudnivån för ett tungt fordon i snitt 8 dB högre än för ett lätt fordon. Det betyder att vid en högre andel tunga fordon än 15 % så blir ljudet från tunga fordon dominerande. Detta är ofta fallet på natten (IPG, 2005).

Att sänka hastigheten är ett effektivt sätt att reducera trafikbuller. Genom att sänka hastigheten från 120 km/h till 100 km/h kan -2 dB reduceras från ljudnivån för lätta fordon enligt beräkningar utförda efter holländsk standard. För tunga fordon är den beräknade minskningen försumbar (IPG, 2005).

Ljudnivån för trafik med mycket inbromsningar och accelerationer ger 5–10 dBA högre ljudnivåer än trafik som flyter på, på grund av ökat motorljud. Framförallt vid korsningar med trafikljus är detta ett faktum, men även vid trafikstockning på motorvägar. Observationer utförda på motorvägar i Nederländerna visar att ljudnivåerna kan variera med 0–5 dB beroende på hastighetsvariationer hos fordonen. Genom att leda trafiken till att köra med en jämn hastighet med modern trafik kontroll kan alltså ljudemissionerna från en väg minskas (IPG, 2005).

4 Bullerregler

4.1 Bakgrund till bullerreglering

Regler för buller vid byggnation av bostäder har utvecklats genom åren. Vad gäller Göteborg så föreslogs det år 1973 av dåvarande kommunfullmäktige att en utredning i syfte att minska trafikbullret skulle äga rum. Utredningen avrapporterade att Göteborg skulle anta de gränsvärden i form av ekvivalenta ljudnivåer som tagits fram i en statlig bullerutredning som pågått parallellt. År 1978 bestämde kommunfullmäktige att så skulle bli fallet och sedan dess har det alltså funnits gränsvärden för trafikbuller i Göteborg. Det statliga förslaget innehöll även ett antal avstegsfall som kunde bli aktuella om gränsvärdena inte ansågs rimliga att uppnå (Göteborg stad, 2006).

Regler gällande trafikbuller har dock diskuterats sedan 1974, till exempel i Naturvårdsverks *Buller från vägtrafik – allmänna råd* samt i SOU 1993:65 *Handlingsplan mot buller*. På nationell nivå antogs riktvärden först 1997 i form av proposition 1996/97:53, *Infrastrukturinriktning för framtida transporter*. Dessa riktvärden ska vara till vägledning vid fysisk planering av byggprojekt eller vid behandling av enskilda tillståndsärenden enligt plan och bygglagen. Riktvärdena är aktuella vid nybyggnation av bostäder och infrastruktur eller vid omfattande ombyggnad av det sistnämnda. Istället för att vara huggna i sten så ses riktvärdena som långsiktiga mål att sträva efter. De är alltså inte inskrivna i någon författning (Göteborg stad, 2006).

År 1999 antog riksdagen 15 delmål gällande miljön. Ett av dem innefattade att antalet människor som bodde i bostäder där bullernivåerna översteg gränsvärdena skulle ha minskat med 5 % till år 2010 jämfört med år 1998. Det ingick i miljö kvalitetsmålet *God bebyggd miljö*. Målet visade sig, enligt Boverkets bedömning 2012, svårt att uppnå trots att målsättningen ursprungligen var lågt satt. Under en period från 1997 till 2004 har det diskuterats hur de nationella riktvärdena skall tillämpas. Mycket bostäder har byggts under denna tid och bullerproblem har uppstått i och med lokaliseringen av dessa (Göteborg stad, 2006).

4.2 Gamla regler

De riktvärden som gällde för bostadsbyggande med trafikbuller fram till 1 juni 2015 kom från regeringens proposition 1996/97:53. Dessa riktvärden blev boverkets rekommendation och bör inte överskridas vid nybyggnation av bostäder eller vid nybyggnation eller väsentlig ombyggnad av infrastruktur.

- 30 dB(A) ekvivalentnivå inomhus,
- 45 dB(A) maximalnivå inomhus nattetid,
- 55 dB(A) ekvivalentnivå utomhus (vid fasad),
- 70 dB(A) maximalnivå vid uteplats i anslutning till bostad.

Vid åtgärder gällande trafikinfrastruktur bör hänsyn tas till vad som är ekonomiskt och tekniskt möjligt. I de fall då utomhusnivån inte är möjlig att reducera till riktvärdena bör målet vara att inomhusvärden inte överskrids (Regeringskansliet, 2015B).

4.2.1 Avsteg:

Om det inte anses möjligt att hålla sig till riktvärdena och det finns goda skäl till att bygga ändå så kan vissa avsteg göras. Avstegen går ut på att det ska finnas en ljuddämpad sida som komplement till sidan där riktvärdena överskrids. Ljudnivåerna på den ljuddämpade sidan kan variera en aning beroende på hur mycket riktvärdet överskrids på den bullriga sidan samt beroende på hur goda skäl det finns för att bygga på platsen.

Om ljudnivån är 55–60 dBA:

Det bör vara möjligt att uppföra nya bostäder där den dygnsekvivalenta ljudnivån ligger mellan 55-60 dBA om det finns tillgång till en tyst sida med högst 45 dBA vid fasad, eller åtminstone en ljuddämpad sida med 45 - 50 dBA vid fasad. Minst hälften av bostadsrummen samt uteplats bör vara vända mot den tysta eller ljuddämpade sidan.

Om ljudnivån är 60–65 dBA:

Om den dygnsekvivalenta ljudnivån vid fasad överstiger 60 dB bör det endast i vissa fall vara möjligt att uppföra nya bostäder. Kraven på tyst sida är samma som i fallet 55 - 60 dBA. Man bör alltid sträva efter att ljudnivån på den tysta sidan hålls under 50 dBA vid fasad. Om det inte är möjligt för samtliga våningsplan så kan en nivå på upp till 55 dBA vid fasad accepteras. Detta blir ofta fallet för lägenheter i de övre planen. För flertalet lägenheter samt för uteplats och gårdsytor bör dock 50 dB uppfyllas.

Om ljudnivån är över 65 dBA:

Då ljudnivån vid den bullriga sidan överstiger 65 dBA vid fasad så kan det för vissa synnerliga fall vara möjligt att uppföra nya bostäder. Byggnader i sådana speciellt bullriga miljöer bör vara orienterade och utformade på ett sådant sätt att det vänder sig mot den tysta sidan. Strävan med ljudnivåerna på den tysta sidan samt avstegen för gällande en del av våningsplanen är samma som för fallet 60 - 65 dBA. (Regeringskansliet, 2015B).

Enligt boverkets rekommendation kan det finnas fog för vidare avsteg i storstädernas centrala delar, där hänsyn bör tas till ökad förtätning och kollektivtrafik (Regeringskansliet, 2015B).

4.2.2 Göteborgs tolkning av bullerreglerna

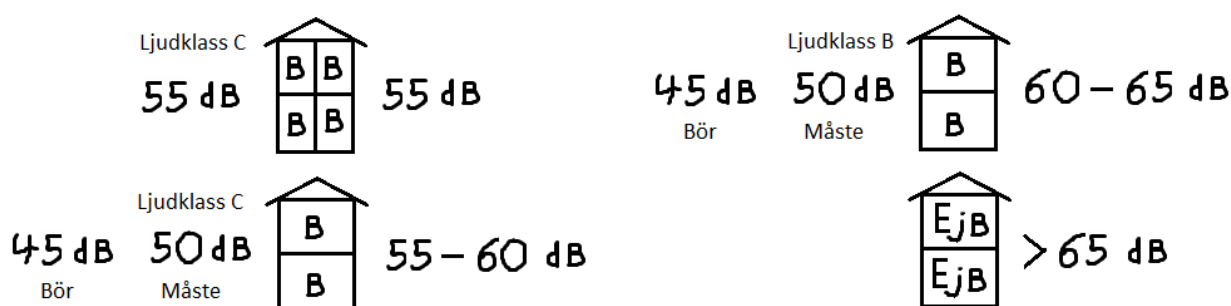
Boverkets rekommendationer bygger på vad som står i plan- och bygglagen samt i miljöbalken. Eftersom reglerna egentligen endast är rekommendationer och eftersom

det finns tolkningsmån inom regelverken så har Göteborg tagit fram en egen tolkning och förtydligande för vad som gäller.

- Riktvärdena för inomhusbuller bör alltid uppnås.
- Ekvivalenta ljudtrycksnivån vid fasad bör aldrig överstiga 65 dBA.
- När ekvivalent ljudtrycksnivå vid fasad överstiger 55 dBA bör lägenheten vara genomgående med tyst (45dBA) eller i alla fall ljuddämpad (50dBA) sida. Möjlighet att ordna sovplats för samtliga boende mot den tysta eller ljuddämpade sidan ska finnas.
- Då ljudnivån vid fasad överstiger 60 dBA ska dessutom ljuddämpning enligt ljudklass B tillämpas.
- Ljudnivån på eventuell uteplats bör inte överstiga ljudnivån på den bullerskyddade sidan.

När avsteg från riktlinjerna avser göras skall avstegen beskrivas och motiveras på tydligt sätt. Människor som avser flytta in i lägenheter med avsteg från riktvärdena skall tydligt informeras om vilka avsteg som gjorts och vilka ljudnivåer som förekommer både inomhus och vid fasader. Det är fastighetsägarens ansvar att bistå med denna information (Göteborgs stad, 2006). I Göteborg tillämpning står även att: *”Avsteg från de fastställda riktvärdena för buller från trafik bör kunna göras för komplettering av befintlig bebyggelse i centrala delar av städer eller tätorter med bebyggelse av stadskaraktär, t.ex. ordnad kvartersstruktur och tätare bebyggelse vid knutpunkter längs kollektivtrafikstråken.”*(s.12)

I figur 19 kan en översiktlig bild för Göteborgs bullerregler ses. För de genomgående lägenheterna skall det finnas möjlighet att ordna sovplats åt de boende på den bullerskyddade sidan. Ljudklasserna B och C är ljudklasser från Svensk Standard, där ljudinsläppet utifrån och in i lägenheten definieras enligt en 4-klassig skala (A, B, C eller D). Ljudklass A har mycket hög ljuddämpning, ljudklass B har hög ljuddämpning, ljudklass C överensstämmer i de flesta fall med nuvarande praxis för ljudisolering men ibland enligt äldre normkrav. Ljudklass D har låg ljuddämpande förmåga (Swedish standards institute, 2001).



Figur 19. Göteborgs bullerregler med olika ljudklasser från Svensk Standard.

I undantagsfall kan enstaka lägenheter som inte klarar kraven ändå accepteras om det är nödvändigt för att kunna skapa en bra totallösning som skulle vara svår att åstadkomma på annat vis. Avstegen måste tydligt redovisas och motiveras. Som riktlinje i Göteborg avses med enstaka lägenheter fem procent av lägenheterna i ett planområde samt fem procent i respektive byggnad.

4.3 Nya regler

Den första juni 2015 infördes en ny förordning gällande för tillämpning enligt plan- och bygglagen och för tillståndsprövningar enligt miljöbalken. Förordningen är beslutad av regeringen och ska underlätta byggandet av små lägenheter i bullerutsatta områden genom att i förenklad version minska bullerkraven.

Det har med de gällande bullerreglerna varit svårt att bygga små lägenheter i storstadsområdena eftersom bullret längs stadsgator ofta är så högt att en tyst eller dämpad sida behöver skapas för att få bygga. En liten lägenhet är av uppenbara skäl svår att bygga genomgående, varför byggandet av små lägenheter blivit eftersatt. Den nya förordningen innehåller riktvärden för byggande med hänsyn till buller från väg-, spår- och flygtrafik. Förutom detta har regeringen gett ut en lagrådsremiss angående förändringar i miljöbalken som ska öka rättssäkerheten för industrier och flygplatser med flera i samband med närbeläget bostadsbyggande. Båda regelförändringarna har som syfte att göra reglerna för bostadsbyggande med hänsyn till buller enklare, tydligare och mer samordnade än vad de varit tidigare.

Den nya förordningen gäller alla detaljplaner påbörjade från och med den 2 januari 2015. Regeländringen berör endast utomhusnivåer, vilket gör att det för inomhusnivåer gäller samma regler som tidigare.

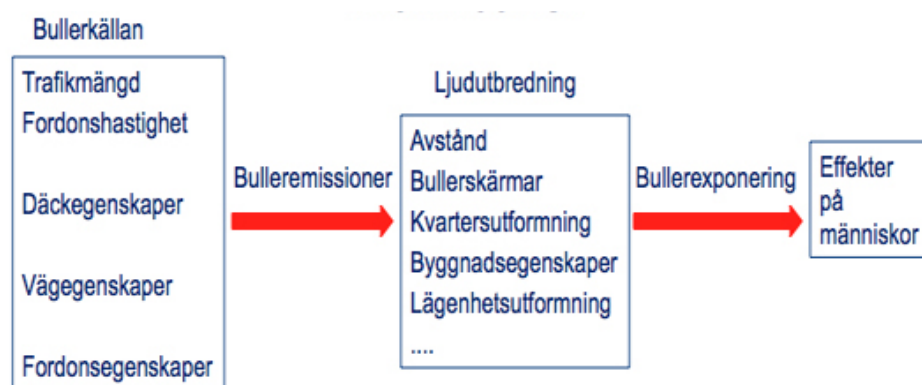
- Buller från spårtrafik och vägar bör inte överskrida en ekvivalent ljudnivå på 55 dBA vid en bostads fasad. Vid en uteplats bör ej den ekvivalenta ljudnivån överskrida 50 dBA och maxnivån 70 dBA.
- För bostäder upp till 35 kvm bör bullernivån vid fasad ej överstiga 60 dBA. För uteplats gäller samma regler som ovan.
- Om bullret vid fasad överstiger riktvärdena bör en skyddad sida upprättas där den ekvivalenta ljudnivån uppgår till maximalt 55 dBA och den maximala ljudnivån under nattetid (22:00 till 06:00) uppgår till som högst 70 dBA. Minst hälften av bostadsrummen måste vara vända mot den skyddade sidan. För uteplats gäller samma regler som ovan.
- För buller från flygplatser gäller att medelljudnivån för flygtrafik inte bör överstiga 55 dBA och maximalnivån 70 dBA. Om maximalnivån överskrids bör det inte ske mer än tre gånger under nattetid (22:00-06:00) och mer än sexton gånger under resten av dygnet (06:00-22:00). Bromma flygplats är dock undantaget från reglerna, och här gäller inga restriktioner för maximal ljudnivå under tiden 06:00-22:00.

(Regeringskansliet, 2015A).

5 Bullerdämpande åtgärder

Det finns flera sätt att påverka hur mycket trafikbuller det är i ett bostadsområde. Antingen går man direkt på bullerkällan, alltså bilar, väg och trafikmängd, eller så försöker man minska ljudutbredningen från trafiken. Genom teknisk utveckling av tystare bilar, däck och vägar kan ljudnivån från trafiken minskas, och genom stads- och trafikplanering är det möjligt att påverka var och i vilken utsträckning det ska bullra. Dessa är dock långsamma åtgärder och tendensen är att de slås ut av en total ökad trafikmängd så att trafikbullret istället ökar över tid. Att helt enkelt flytta på biltrafiken för att minska bullret är på de flesta platser svårt eftersom vi lever i ett bilsamhälle och någonstans måste bilarna ta sig fram (Höstmad, 2012).

Det finns därför ett behov av att hindra det trafikbuller som redan har skapats från att nå mottagaren. Detta kan ske genom dämpande åtgärder som till exempel vegetation, reflekterande åtgärder som bullerskärmar, formen på kvarter och byggnader samt hur lägenheterna är planerade. Kopplingen mellan bullerkälla, ljudutbredning, exponering och de faktorer som påverkar dem illustreras i figur 20.



Figur 20. Faktorer som kan förbättras för att minska vägbuller och dess effekt på människan (Höstmad, 2012).

5.1 Bullerskärm

En vanlig metod för att dämpa buller från väg- och spårtrafik är att sätta upp en bullerskärm. En bullerskärm är en långsträckt konstruktion vars syfte är att minska bullernivån på ena sidan jämfört med den andra. Detta gör den genom att reflektera bort ljud, eller i vissa fall även absorbera ljud. En bullerskärm kan se ut på flera olika vis och vara gjord av många olika material sammansatta i olika kombinationer. Exempel på material är trä, glas och betong. Viktigt för bullerskärmen är att den har tillräcklig höjd och utbredning så att siktlinjen mot vägen elimineras. Den ska även vara tät i konstruktionen, tät mot marken samt vara tung i konstruktionen så att ljudet stoppas ordentligt (Sollentuna, Bullerskärmar). Att minska bullernivån genom att bygga bullerskärmar är en vanlig åtgärd längs järnväg, större trafikleder och landsväg med närliggande bebyggelse.

Vid mindre stadsgator kan användningen av bullerskärmar vara desto svårare av naturliga orsaker. Med många avtagsvägar måste skärmen brytas ofta vilket förstör en

stor del av skärmens effekt eftersom en sammanhängande skärm är viktig för dess bullerdämpande förmåga (Sandström, 2012). I centrala staden vill man heller inte förstöra människors möjlighet att korsa vägen genom att ha för långt mellan övergångsställena. Om flervåningshus dessutom ligger nära vägen som de ofta gör i städer får bullerskärmar heller inte särskilt stor effekt på mer än första våningen. (se avsnitt 6.5.1). Frisikten från vägen mot husen blir svår att hindra om man inte bygger bullerskärmen extremt hög, vilket inte är realistiskt att göra. Allmänt gäller att bullerskärmar har som störst effekt nära marken bakom skärmen, ju högre upp man kommer, ju mindre effekt har skärmens bullerdämpande förmåga. Så trots att fasaden befinner sig en bit från bullerskärmen är dess dämpande förmåga för andra våningen eller högre låg. Sikten och estetiken längs stadsgatorna brukar heller inte vilja förstöras med en blockerande skärm. Genomskinliga bullerskärmar är dock en ganska vanlig syn i halvcentrala delar av städer som kan bibehålla sikten över gatan.



Figur 21. Exempel på genomskinlig bullerskärm i centrala Kungälv.

5.2 Tyst asfalt

En stor del av bullret från vägar alstras när fordonens hjul rullar på underlaget och skapar vibrationer och luft rörelser som skapar ljud. Detta ljud dominerar när hastigheten på vägen är 40-50 km/h eller mer (Stockholms stad, 2015). Det har därför länge talats om tyst asfalt som en möjlig lösning för att minska bullerproblematiken från vägar.

Tyst asfalt är en asfalt med ett porösare ytskikt med mindre stenar än vanlig asfalt. Under ytskiktet har asfalten stenar av grövre karaktär och mycket håligheter i mellan. Porös asfalt består av ca 20 % hålrum i jämförelse mot till exempel asfalt av SMA-typ, en deformationstålig asfaltstyp med grovkornigt stenmaterial, som består av 3-6% hålrum. Detta gör att porös asfalt utöver de akustiska egenskaperna även dränerar bort vatten, som var asfaltstypens ursprungliga syfte när den togs fram (IPG, 2005).

Tyst asfalt bör för bästa dämpningsförmåga vara 100 mm djup, till skillnad från vanlig asfalt som brukar ha en tjocklek på 30-40 mm (Dahlquist, 2009). En del av

Ljudalstringen mellan däck och väg sker genom att luften pressas samman framför däckets när däckets rullar framåt. Då skapas ett ökat tryck i luften som gör att luften snabbt skjuts iväg. Eftersom däckets runda form och den platta vägen bildar en V-form så blir det ljudreflektioner som kan liknas vid ett horn. (därav kallat horneffekten). Detta är inte optimalt då man vill minimera buller. I tyst asfalt finns håligheter som absorberar en del av luften som trycks framför däckets, vilket får ljudalstringen att bli mindre (Allt om vetenskap, 2006).

Försök med tyst asfalt har visat att ljudalstringen på väg med tyst asfalt har kunnat minska ljudnivån med upp till ca 9 dBA, beroende på trafikhastigheten på vägen (Helmersson, 2015). Denna ljudminskning upplevs av en människa som ungefär en halvering av ljudnivån vilket kan motsvaras vid att minska hastigheten på en väg från 100 till 50 km/h (Blomkvist, 2014).

Det finns även ett antal problem med den tyst asfalt. Håligheterna sätts efterhand igen av partiklar från vägbanan, däck och sand etc. Ju mer igensatta håligheterna blir desto sämre fungerar den tysta asfaltens bullerdämpande förmåga. Detta gör att man då och då måste spola och dammsuga vägen för att den bullerdämpande effekten inte ska reduceras alltför mycket eller helt försvinna. Minst en gång per år behöver detta utföras (Larsson, 2010). Den tysta asfalten är också mindre slitstark än vanlig asfalt vilket resulterar i att den behöver bytas ut dubbelt så ofta jämfört med vanlig asfalt. Det är dock framförallt det översta slitlagret i den tysta asfalten som då behöver bytas. Denna typ av asfalt är extra känslig mot dubbdäck vilka både sliter mer på underlaget och skapar mer partiklar som sätter sig i håligheterna. Allt detta i kombination med att asfalten i dagsläget är tre gånger så dyr att lägga gör att tyst asfalt ofta inte anses vara ekonomiskt försvarbar (Svensson, 2010).

I Göteborg har tyst asfalt provats vid ett antal tillfällen, men resultaten har inte fallit så väl ut. Senast man försökte var 2006 då man lade tyst asfalt på en del av Högsboleden. Initialt minskade bullret rejält men redan efter ett par år hade asfalten slitits och satts igen så mycket att den bullerdämpande förmågan var närmast obefintlig (Kallin, 2009). Även om tyst asfalt inte nått så stora framgångar i Sverige har det fungerat bättre nere i Europa. Till exempel består två tredjedelar av alla vägar i Nederländerna av tyst asfalt (Blomkvist, 2014). Här har man dock två fördelar jämfört med i Sverige. Dels används inte dubbdäck, vilket gör att den tysta asfalten får en längre livslängd. Dels har landet en betydligt högre befolkningstäthet vilket gör att den ökade kostnaden för den tysta asfalten blir mer försvarbar.

I Göteborg infördes 2010 dubbdäcksförbud på de två centrala gatorna Odinsgatan och Friggagatan. Enligt Åke Sandin på Trafikverket kan ett utökat dubbdäcksförbud bana väg för att lägga tyst i Göteborg till ett mer försvarbart pris då slitaget på dessa dubbfria gator minskar (Svensson, 2010).

I tabell 2 och 3 visas beräknade resultat från en Nederländsk undersökning av olika typer av tyst asfalt för lätta och tunga fordon vid olika hastigheter. Positiva värden representerar en minskning av ljudnivån. De olika asfalterna som testats är porös asfalt (PA) med ett och två lager, en tunn typ av tyst asfalt som även den kan anses som porös, samt en 3e generationens asfalt kring vilken forskning pågår (IPG, 2005).

Tabell 2. Ljudreduktion för olika typer av tyst asfalt samt vid olika hastigheter för lätta fordon.

Typ	50 km/h	80 km/h	110 km/h
1-lager PA [dBA]	-0.2	2.0	3.5
2-lager PA [dBA]	3.7	4.9	5.7
Tunt lager [dBA]	4*	5*	7*
3e generationen [dBA]	6*	7*	9*

*Baserade på genomsnitt och extrapoleringar

Tabell 3. Ljudreduktion för olika typer av tyst asfalt samt vid olika hastigheter för tunga fordon.

Typ	50 km/h	85 km/h
1-lager PA [dBA]	2*	4.3
2-lager PA [dBA]	4.6	6.5
Tunt lager [dBA]	5*	6*
3e generationen [dBA]	7*	9*

* Baserade på genomsnitt och extrapoleringar

5.3 Gröna lösningar

5.3.1 Vegetation

Vegetation minskar ljudnivån på två sätt. Antingen direkt genom reflektion, refraction och spridning eller genom absorption i växtens delar. Dessutom kan den akustiskt mjuka marken under växtlighet bidra till en minskad ljudnivå. Löven på träd kan genom reflektioner öka transportsträckan mellan ljudkälla och mottagare och på så vis minska ljudnivån. Detta påverkar framförallt ljudnivån på högre våningar. Denna effekt fungerar som bäst när det är tätt liggande och höga hus då ljudet reflekteras åtskilliga gånger mellan fasaderna. Reduktionen är dock liten och överstiger inte mer än 2 dBA (Forssén, 2013).

5.3.2 Gröna fasader

Gröna väggar tillför grönska till en tät stad och de gör klimatet kallare och fuktigare vilket kan vara gynnsamt på varma sommardagar. Det är lättare med gröna tak än med gröna väggar eftersom gravitationen drar ner vattnet och torkar ut jorden. Även för relativt låga väggar (några meter) så drar vattnet ner i profilen och det behöver tillföras vatten. Ett annat problem med gröna väggar i Sverige är hur växterna ska kunna överleva kalla vintrar trots att de sitter i ett tunt jordlager. Tidig vår kan också vara ett problem då det är plusgrader på dagen och minusgrader på natten. Det behövs

sensorer som känner av temperaturen i jorden och tömmer den på vatten när temperaturen närmar sig fryspunkten. Tobias Emilsson tror inte att gröna väggar kommer att bli lika vanligt som gröna tak utan att de kommer att sättas upp i mindre projekt i centrala lägen där de ger en wow-effekt (Tobias Emilsson, 2000). Det finns två huvudtyper av gröna fasader; extensiv och intensiv. Med extensiv grön fasad menas att vegetationen är planterad på marken och växer av sig själv upp på väggen längs klätterställningar. För intensiva gröna fasader är vegetationen planterad i fickor innehållande jord (Breuning, 2014).



Figur 22. Exempel på en extensiv grön vägg till vänster och en intensiv grön vägg till höger (Breuning, 2014).

Väggens ljudabsorberande förmåga är beroende av vilken typ av jord som används och jordens fuktighet. En jord med låg densitet ger visar en liknande frekvensberoende ljudabsorptionskoefficient som ett lager av glasull med samma tjocklek. Arean på växtens löv påverkar även ljudabsorptionsförmågan. Växter med stor lövarea kan påtagligt öka ljudabsorptionen för hårda jordar över ett brett frekvensspektra (Forssén, 2013).

Vegetation på husfasader minskar ljudnivån på tre olika sätt. Genom *absorption* – ljudvågor absorberas av växten och övergår till värmeenergi, *diffusion* – ljudet reflekteras på växten och ökar avståndet mellan ljudkälla och mottagare samt genom *transmission* – som uppkommer då ljudvågor passerar genom växtkassetterna. Gröna fasader är speciellt effektiva om det är kort avstånd mellan huskropparna och den positiva verkan är större för våningsplan på hög höjd eftersom det där har förekommit fler reflektioner mellan fasaderna. Vegetation absorberar ljud speciellt mycket i mellan och höga frekvenser. Låga frekvenser absorberas inte lika väl (Forssén, 2013).

Exempel tvåfilig väg HOSANNA-projektet

Som exempel på hur växtkassetter kan reducera ljudnivåer på gator i urbana miljöer beräknades i Hossana-projektet ljudnivån för en tvåfilig väg med 95 % lätta fordon och 5 % tunga med en hastighet på 50 km/h. Fasaderna på sidorna av vägen var 19 meter höga och gjorda av ett akustiskt hårt material. Sedan beräknades ljudnivån med gröna kassetter bestående av jord och växter uppsatta på väggarna. Ljudnivån reducerades med 2-3 dBA på en höjd 1.5-4 meter över marken då det var kassetter på hela fasaderna. Om endast övre halvan beklädes reducerades ljudnivån med 1 dB(A) och om endast undre halvan bekläddes reducerades den med 1 dBA (Jens Forsen, 2013).

5.4 Minska ljudnivån på innergårdar

5.4.1 Gröna fasader

Genom att sätta gröna fasader på innergården till lägenhetshus reduceras ljudnivån framförallt för låga positioner och för höga frekvenser. Ljudnivån reduceras i genomsnitt 4 dB(A) för en innergård med växtlighet placerad över hela innergårdens fasad och med samma trafiksituation som i föregående exempel. Ingångar till innergårdar är en stor källa till ljudföroreningar. En 3 meter hög öppning som vetter mot en högt trafikerad gata kan ge en ökning av ljudnivån med 15 dBA jämfört med ett fall med stängd fasad. En 19 meter hög öppning kan på motsvarande sätt ge en ökning på 18 dBA. Vegetation längs hela öppningen till innergården kan reducera ljudnivån med 4 dBA. Effekten är som störst nära ingången och för höga frekvenser (Jens Forsen, 2013).

5.4.2 Gröna tak

Gröna tak kan minska läckaget av ljud in till innergårdar. Utan vegetation kan i vissa fall lutande tak vara värre ur bullersynpunkt än platta tak. Med vegetation med ett 10 cm tjockt underlag på taket runt en innergård kan ljudnivån på en innergård minskas med 2 dBA för platta tak och 8 dBA för lutande tak (Jens Forsen, 2013).

5.4.3 Låghöjdsbarriärer

Låghöjdsbarriärer placerade på kanten på hustak minskar ljudnivån på innergården genom absorption i kanterna där diffraktionen sker. Om en låghöjdsbarriär på 0.6m placeras endast längs takkanten ut mot vägen eller mot innergården reduceras ljudnivån med ett snitt av 1 dBA. Om ljudbarriärer placeras längs båda kanterna kan ljudnivån på innergården med 3 dBA. En barriär av samma slag fast utan vegetation är meningslös ur bullersammanhang (Jens Forsen, 2013).

5.4.4 Innergårdar

Reglerna säger att det är möjligt att bygga bostäder då ljudnivån vid fasaden överskrider gränsvärdet 55 dBA om det finns tillgång till en tyst, ljuddämpad eller skyddad sida på ena sidan av huset. Göteborgs miljöförvaltning har dock i en större undersökning mätt ljudnivåer på 600 olika innergårdar i Göteborg, och funnit att ljudnivån för att få klassas som tyst fasad (< 45 dBA) överskrids i fler än 60 % av fallen (Höstmad, 2012). Man har funnit att det mesta av ljudet på innergårdarna kommer från trafik från ett relativt stort område omkring husen och att ljudet når innergårdarna genom reflektion mellan husväggar samt transport över taken. Se figur 23.



Figur 24. På bilderna visas fyra exempel på lösningar med avtagande bullerdämpningsförmåga. Bättre, bra, sämre, sämst (Höstmad, 2012).

Det har även konstaterats att en smal öppning från innergården till en otrafikerad sidogata ger stor bullerpåverkan. Upp mot 10 dB extra ljudtryck kan tillkomma då det finns en smal öppning. Då ljudabsorberande ytor på fasader har undersökts har det visat sig att det för en sluten innergård är bättre med ljuddämpande ytor på fasaden mot den bullriga sidan än på fasaderna i innergården. En högre ljudtrycksnivå dämpas mot en absorberande yta med ett högre antal decibel i absoluta tal än vad en lägre ljudtrycksnivå dämpas. Att bygga högre hus kring innergården ger också lägre ljudtrycksnivå eftersom ljudnivån avtar med ökad sträcka, samt att ljudet förlorar i styrka när det reflekteras mot ytor. Högre hus innebär fler reflektioner (Höstmad, 2012).

Mot allt detta måste förstas visuella och praktiska synvinklar ställas. Ljus, utsikt och tillgänglighet är viktiga aspekter för nybyggnationer och avvägningar får därför göras. Att bo i en djup grotta är det optimala ur bullersynpunkt, men inte vad gäller livskvalitet.

6 Mätningar och beräkning av ljudnivåer

6.1 Bakgrund till mätområden

6.1.1 Miljonprogramsområden

Under 50- och 60-talet rådde bostadsbrist i Sverige vilket 1965 ledde till en överenskommelse i Sveriges riksdag att i under en tioårsperiod bygga 100 000 nya hus och lägenheter per år. Målet var att dels råda bot på bostadsbristen, dels höja bostadsstandarden och avskaffa den rådande trångboddheten. Staten höll inte själv i byggandet, utan erbjöd förmånliga lån till kommuner och företag som ville bygga. Enligt SCB byggdes det under perioden 1 006 000 nya bostäder, varav cirka en tredjedel var bestod av småhus, lägre flerbostadshus och höghus. Med hänsyn till att många äldre hus också revs blev nettotillskottet inte riktigt lika stort. I folkmun kallades detta miljonprogrammet (Jörnmark, 2015).

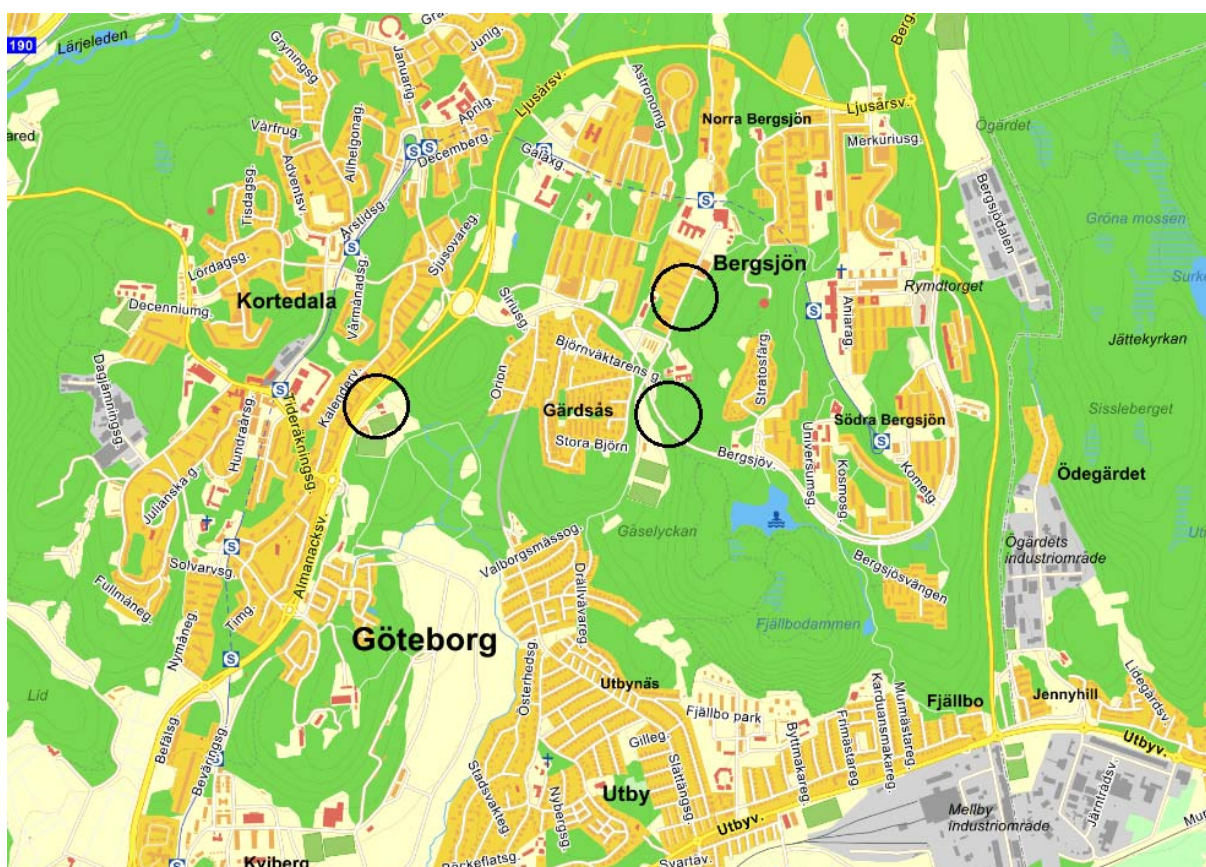
Det tidigare idealet om rutnätsstaden hade vid den här tiden övergivits för en mer decentraliserad bebyggelse där nya områden planerades utanför stadskärnan. Med den engelska förbilden *Community center* skapades många grannskapsenheter runt om i städernas förorter. Tanken var att dessa skulle fungera som självständiga små städer med det mesta av kommunal och kommersiell service vid ett torg i centrum. Till sina arbeten skulle man dock få pendla in till huvudorten. Stor utbyggnad av kollektivtrafiken skedde i samband med miljonprogrammet (Roos, 2004).

En viktig grundtanke var att skilja bil- och gångtrafik åt, vilket beskrevs i SCAFT-planen. Därför byggdes större trafikleder utanför områdena och mindre vägar ledde in till stora parkeringar och parkeringshus. Det skapades så bilfria områden med gång- och cykelvägar samt gångbroar och tunnlar under bilvägarna. De högsta husen anlades närmast centrum och närmast de stora trafiklederna som bullerskärm. Lägre flerbostadshus anlades utanför höghusen och ytters anlades rad- och kedjehus. Tyvärr fick områdena oftast torftiga utemiljöer som i kombination med de stora och i många fall ögon mindre behagfulla höghusen gav områdena dåligt rykte (Roos, 2004).

I Göteborg finns idag en önskan om att öka miljonprogramsområdenas attraktivitet för att minska segregationen och öka områdenas trygghet och invånarnas levnadsvillkor. Tillkommer gör även behovet av att minska bostadsbristen genom att bygga fler bostäder (Stadsbyggnadskontoret, 2009). Ett steg för att uppnå dessa mål och samtidigt skapa en mer sammanhängande stadsmiljö är att bygga samman förortsområdena i nordöstra Göteborg. Som ett första steg i den här processen har nu stadsbyggnadskontoret i Göteborg börjat arbeta för att Bergsjön och Kortedala skall byggas ihop med Kviberg och Utby (Ader, 2015).

Det kommer då krävas att mycket av nybyggnationen sker i närheten av trafikleder vilket ställer krav på bullernivåer och bulleråtgärder. Nuvarande bullernivåer kommer behöva mätas och kartläggas och framtida bullernivåer beräknas. Vi har därför i detta examensarbete valt att mäta bullernivåerna vid ett par vägar och trafikleder i områdena omkring Bergsjön och Kortedala där nybyggnation kan komma att bli aktuell. De vägar vi har valt att mäta buller på är infartslederna Almanacksvägen och

Bergsjövägen samt Kvadrantgatan som är en mindre väg inne i ett bostadsområde. Positionerna där vi mätt buller på kan ses på kartan nedan (figur 25).



Figur 25. Karta över bergsjöområdet med positioner för bullermätning. Fotografier från positionerna kan ses i bilaga 2.

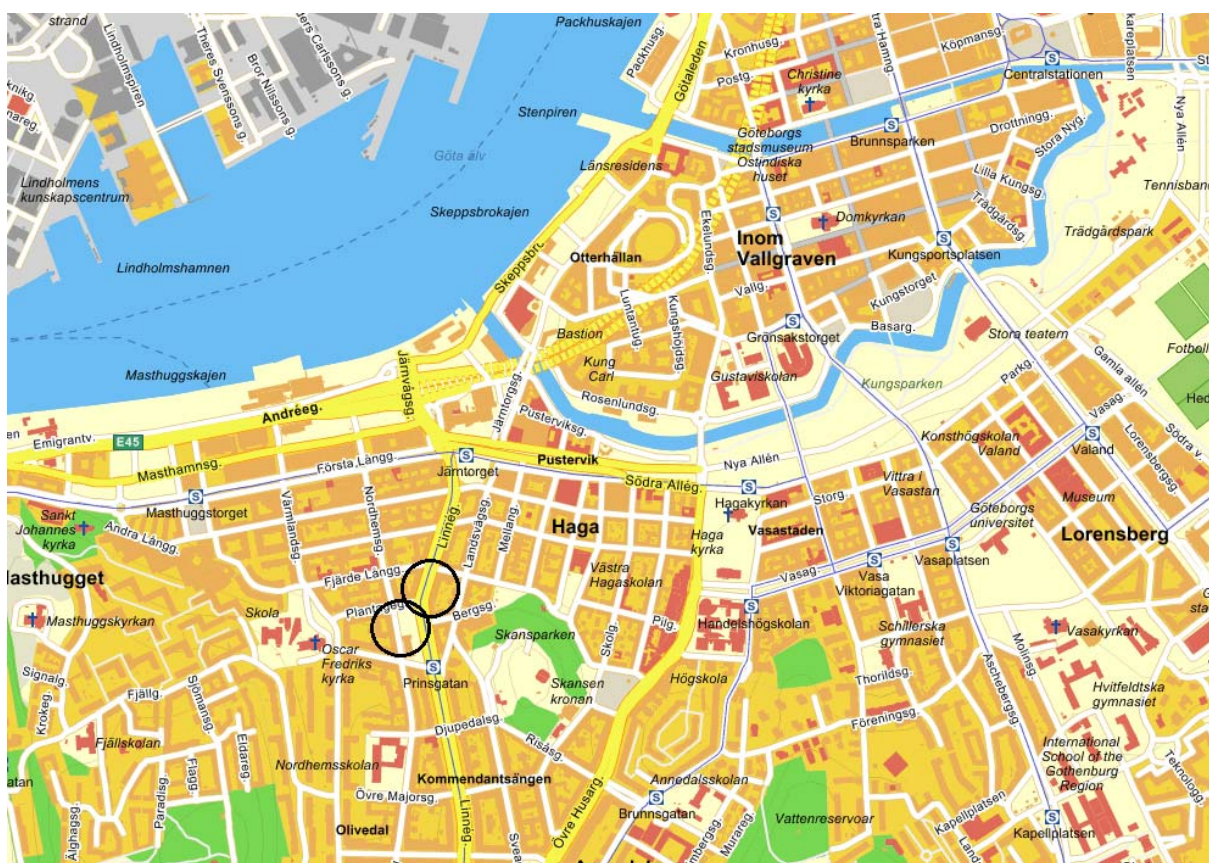
6.1.2 Innerstaden

Centrala Göteborg är med sin stora kommers och sina många företag ett viktigt nav i Västsverige. Det finns ett stort utbud av handel, många arbetsplatser och bostäder samt stora universitet och högskolor. Det stora inslaget av bostäder i centrum bidrar till att staden känns som en levande stad med blandad stadsmiljö. Stora delar av centrala Göteborg omfattas av riksintressen för kulturmiljövård och de stora kulturhistoriska värdena ses som en tillgång för miljön och bidrar till en tilltalande stadsbild. Majoriteten av Göteborgs byggnadsminnen finns i centrum (Stadsbyggnadskontoret, 2009).

Göteborgs centrum kännetecknas av rutnätsbebyggelse med många äldre flervåningshus samt innergårdar. Högtrafikerade gator med spårvagnar och bussar skapar mycket buller, vilket i kombination med husens direkta närhet till vägarna kan skapa bullerproblematik. Det har sagts att om man skulle följa dagens bullerregler så skulle halva innerstaden behöva rivas (Andersson, 2014).

Göteborgs centrumområden är i stort sett redan bebyggda. Men behovet av förtätning kommer att kräva att husen blir högre och högre i takt med att staden växer. Centrumområdenas popularitet för bostäder och företagsetableringar kommer också att bidra (Stadsbyggnadskontoret, 2009). Äldre hus kan rivas varpå nya, högre kan byggas. Bullerreglerna säger att en fasad får ha högre bullernivå om ena sidan av lägenheten har en lägre ljudnivå. Därför lämpar det sig väl med inbyggda innergårdar så att lägenheterna får en tyst sida (se avsnitt 5.4.4).

I denna rapport har det valts att mäta bullernivåer på Linnégatan, en vältrafikerad gata med mycket kollektivtrafik. Bullernivåerna på Linnégatan kommer att få representera ljudnivåerna längs de större gatorna i de centralaste delarna av Göteborg. Bullernivån mäts även på den intilliggande gatan Nordhemsgatan som är en mindre och lugnare parallellgata. Nordhemsgatan kommer att få representera andra liknande gator i centrala Göteborg som ligger i närheten av de större gatorna. Positionerna där vi mätte syns på figur 26.

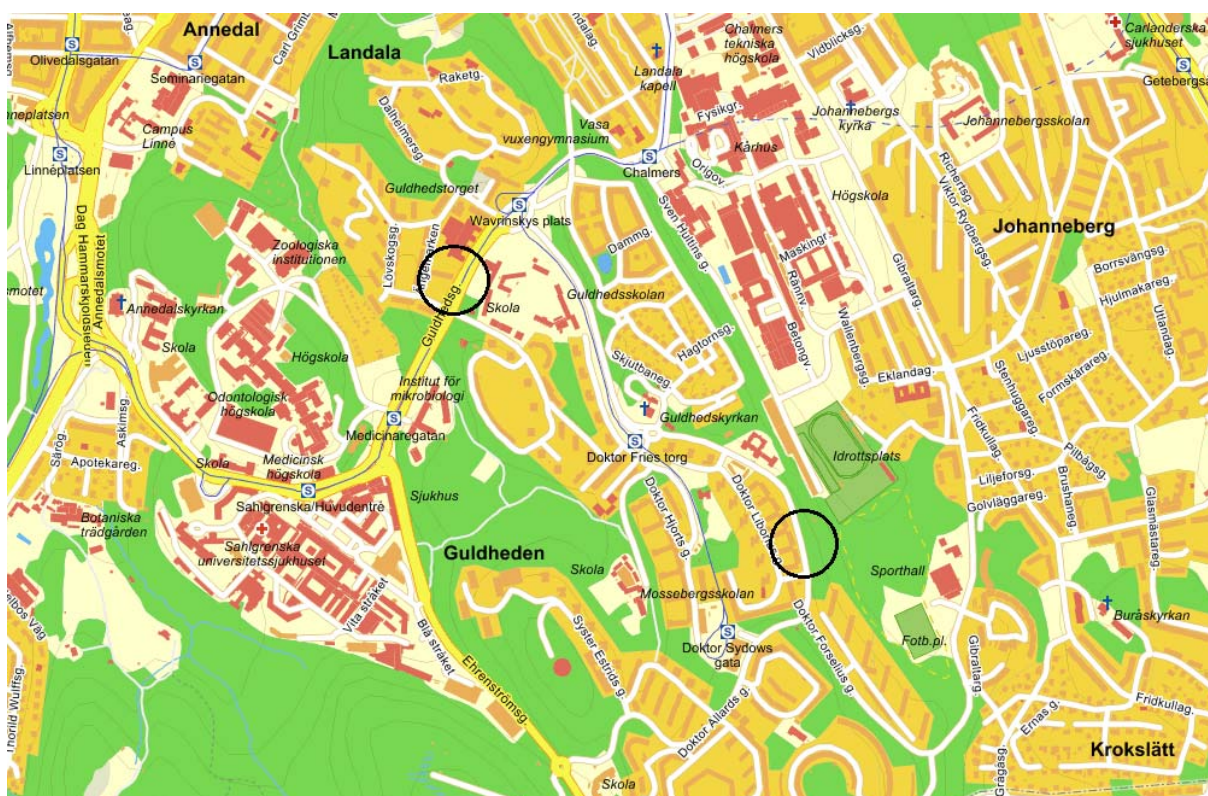


Figur 26. Karta över innerstaden med positioner för bullermätning. Fotografier från positionerna kan ses i bilaga 2.

6.1.3 Halvcentrala områden

Den tredje typstadsdelen som har valts att undersökas är Guldheden. Denna stadsdel är relativt tätbebyggd, men har en glesare struktur och mindre fordon än innerstaden. Guldheden får för denna undersökning representera ganska stora delar av Göteborg med liknande förutsättningar för buller och bebyggelse. Exempel på dessa områden kan vara Högsbo, Majorna, Krokslätt och andra halvcentrala delar av staden. I dessa områden är bebyggelsen mer varierad än i centrum, men huvuddelen av bostäderna är fortfarande flervåningshus i olika formationer. Trafiken i dessa områden är mindre än i centrum, men ofta ändå påtaglig. Större gator som leder in i områden som dessa kan vara relativt vältrafikerade, men de grenar ofta av i mindre och mindre gator ju längre in i området man kommer.

När det kommer till att förtäta staden är denna typ av områden de mest aktuella. Det finns potential att bygga tätare, högre och att göra områdena mer innerstadlika i takt med att staden växer. För att undersöka hur väl detta kan genomföras då de gamla bullerreglerna följs har ljudnivån mätts vid en relativt normaltrafikerad gata inne i Guldheden. Gatan som mäts vid heter Doktor Allards gata. Ljudnivån har dessutom uppmätts vid en större förbifartsgata, Guldhedsgatan, som har mer trafik och en hel del kollektivtrafik. Gatorna visas i figur 27.



Figur 27. Karta över Guldheden med positioner för bullermätning. Fotografier från positionerna kan ses i bilaga 2.

6.2 Metod

Mätningarna utfördes enligt Nordtest Method. Inledningsvis kalibrerades mätinstrumentet med hjälp av en akustisk kalibrator som avgav ett ljud på 94 dBA. Mikrofonen, som var kopplad till mätinstrumentet Investigator, stacks in i kalibratoren och instrumentet kalibrerades till ett korrekt värde. Denna kalibrering av instrumentet utfördes innan varje mätning.

Enligt standarden ska hänsyn tas till hur mikrofonen placeras. Om mikrofonen placeras intill en hård platt yta, till exempel av trä eller betong, så ska det uppmätta värdet reduceras med 6 dB. Om den placeras så att det finns ett fritt avstånd bakom mikrofonen till ljudreflekterande ytor som är minst dubbelt så långt som avståndet mellan mikrofonen och den dominerande delen av ljudkällan så kallas mätningen för frifältsmätning. Vid sådana mätningar behövs ingen reduktion av den uppmätta ljudnivån. För ljudmätningar utomhus ska mikrofonen placeras på en höjd över marken mellan 1.5- 2 meter.

Fordonens hastighet togs för respektive gata genom tidtagning mellan två punkter på bestämt avstånd. Mätningarna tog plats i tre olika sorters stadsdelstyper; ett miljonprogramsområde (Bergsjön), ett halvcentralt område (Guldheden), samt i ett centralt läge (Linné). Information om mätningarna vid de olika mätplatserna för respektive stadsdelstyp finns bifogat i bilaga 3.

6.3 Konvertering av mätvärden

De uppmätta ljudnivåerna korrigeras enligt Nordtest method. Detta görs med hjälp av trafikflöden som finns registrerade på Trafikkontorets hemsida (se bilaga 1). Korrigeringen av mätvärden utfördes i Excel.

Först beräknas en ljudnivå som gäller 10 meter ifrån ljudkällan, $L_{AE}(10m)$, som är beroende av de hastigheter som uppmäts på plats. Ekvationerna finns givna i Nordtest method och är olika för lätta respektive tunga fordon:

$$\begin{aligned} & \mathbf{L_{AE}(10m)_{tung}} \\ & 80.5 + 30 \log v_{50}; 50v_{90} \text{ km/h} \\ & 80.5; 30v_{50} \text{ km/h} \end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} & \mathbf{L_{AE}(10m)_{lätta}} \\ & 73.5 + 25 \log v_{50}; v_{40} \text{ km/h} \\ & 71.1; 30v_{40} \text{ km/h} \end{aligned} \tag{9}$$

Värdena vid 10 meter korrigeras med en avståndsfaktor ΔL_{AV} och ger istället ett värde som stämmer bättre överens med avstånden vid mätningarna:

$$L_{AE}(10m) - \Delta L_{AV} = L_{AE} \tag{10}$$

$$\Delta L_{AV} = -\log[r/10] \tag{11}$$

Där r är avståndet från mitten av vägen till mikrofonen.

Sedan beräknas en ekvivalent ljudnivå över en timma, $L_{Aeq,1h}$, som är beroende av trafikflödet på gatan. Trafikmängder tas från trafikkontorets hemsida där statistik över årliga snittvärden per dygn finns lagrade. De räknas om till snittvärden per timma, $N_{tung,1h}$ samt $N_{lätt,1h}$.

$$L_{Aeq,1h} = 10 \log(1/t_{1h}) [N_{tung,1h} * 10^{L_{AEtunga}/10} + N_{lätt,1h} * 10^{L_{AElätt}/10}] \quad (12)$$

På samma sätt beräknas sedan ett medelvärde över 20 minuter, $L_{Aeq,20min}$, som är beroende av de trafikmängder som uppmättes på plats under mättiden. $N_{tung,20min}$ samt $N_{lätt,20min}$.

$$L_{Aeq,20min} = 10 \log(1/t_{mätning}) [N_{tung,20min} * 10^{L_{AEtunga}/10} + N_{lätt,20min} * 10^{L_{AElätt}/10}] \quad (13)$$

Korrigeringen av ljudnivån sker sedan genom att det beräknade värdet för 20 minuter subtraheras från det beräknade värdet för en timma. Denna korrektionsfaktor läggs sedan till det uppmätta värdet enligt:

$$L_{Aeq,korrigerat} = L_{Aeq,20min,uppmätt} + (L_{Aeq,1h,beräknad} - L_{Aeq,20min,beräknad}) \quad (14)$$

6.4 Beräkningar av ljudnivåer

Beräkningarna utfördes enligt den Nordiska beräkningsmodellen och utgick ifrån MATLAB-filer som *Carsten Hoever*, på akustikavdelningen på Chalmers skapade 2010-02-02. Beräkningarna går ut på att ekvivalent ljudnivå för en timma, för ett avstånd av 10 meter från ljudkällan, beräknas enligt:

$$L_{Aeq,10m,1h} = 10 \log(1/t_{1h}) [N_{tung,1h} * 10^{L_{AEtunga}/10} + N_{lätt,1h} * 10^{L_{AElätt}/10}] \quad (15)$$

Där trafikmängderna N_{tung} och $N_{lätt}$ är Trafikverkets årliga genomsnitt per dag. Ljudnivån beror också på gatans skyltade hastighet. Denna ljudnivå korrigeras sedan avståndskorrektionsfaktorn ΔL_{AV}

$$L_{Aeq,1h} = L_{Aeq,10m,1h} + \Delta L_{AV} \quad (16)$$

6.4.1 Beräkningar med bullerskärm

Vid högt trafikerade vägar kan det vara en bra idé att sätta upp en bullerskärm för att minska ljudnivåerna längs intilliggande husfasader. För vägar som går runt miljonprogramsområden samt de vägar som länkar ihop dessa områden med resten av staden verkar detta som en rimlig lösning.

Beräkningar med bullerskärm utförs på samma sätt som i 3.4 men här läggs ytterligare korrektionsfaktorer för skärmen samt markens egenskaper till $L_{Aeq,1h}$.

$$L_{Aeq,1h} = L_{Aeq,10m} + \Delta L_{AV} + \Delta L_M + \Delta L_{MS} \quad (17)$$

ΔL_M – markkorrektionsfaktor och ΔL_{MS} – skärm och markkorrektionsfaktor.

ΔL_M tar hänsyn till markeffekten och ΔL_{MS} tar hänsyn till skärmens påverkan på markeffekten (se avsnitt 3.4.1).

Vi har även valt att göra beräkningarna för som lägst tvåplanshus, som har tillräcklig höjd för att kunna dämpa bullret från bakomliggande byggnader.

För respektive väg undersöktes effekten av fyra olika höjder på bullerskärmen samt påverkan av mjuk respektive hård mark. De olika höjderna är 2, 2.5, 3 och 3.5 meter. Beräkningarna utförs där mottagaren antas stå på samma avstånd som bullermätningarna utfördes, samt vid ett avstånd av 20 meter från vägkant. Höjder för vilka ljudnivåer beräknas är 1.5 m (samma som vid ljudmätningarna) samt 4.5m för att se hur skärmen påverkar högre belägna våningsplan. Bullerskärmen är belägen 1,5 meter från vägkant.

6.5 Resultat av mätningar samt beräkningar

Uppmätta värden, korrigerade värden enligt Trafikverkets årliga trafikmängder, samt beräknade värden för motsvarande avstånd enligt Nordiska beräkningsmodellen, för respektive gator. Avstånden under namnen på gatorna är från vägmitt till mottagare.

Miljonprogramsområde	Almanacksvägen 16,7 meter	Bergsjövägen 17,5 meter	Kvadrantgatan 8,5 meter
Uppmätt värde [dB(A)]	67.3	62.8	54.6
Korrigerat värde [dB(A)]	65.6	64.9	-
Beräknat värde [dB(A)]	66.9	63.3	-

Halvcentralt område	Guldhedsgatan 13 meter	Doktor Allards gata 10 meter
Uppmätt värde [dB(A)]	67.3	65
Korrigerat värde [dB(A)]	65.8	55.3
Beräknat värde [dB(A)]	65.3	58.7

Centrum	Linnégatan 15 meter	Nordhemsgatan 10 meter
Uppmätt värde [dB(A)]	67.3	61.3
Korrigerat värde [dB(A)]	58.6	58.4
Beräknat värde [dB(A)]	63.6	58.2

6.5.1 Resultat bullerskärm

Ljudnivåer beräknade för Almanacksvägen och Bergsjövägen med bullerskärmar med en höjd mellan 2 – 3.5 meter.

Position 1 – 1.5 meter över mark

Position 2 – 4.5 meter över mark

Ljudnivåerna i tabell 4 och 5 är beräknade 20 meter från väggkant.

Tabell 4. Ljudnivåer för Almanacksvägen vid position 1 och 2 för olika höjder på bullerskärmen, samt för akustisk hård och mjuk mark.

Höjd skärm[m]	Pos.1(hård) dBA	Pos.2(hård) dBA	Pos.1(mjuk) dBA	Pos.2(mjuk) dBA
Ingen skärm	64.8	64.7	64.8	64.7
2	56,8	64.7	47.4	64.7
2.5	54,6	64.3	46.6	64.3
3	52.9	63.3	45.9	63.3
3.5	51.4	60.8	44.8	60.8

Tabell 5 Ljudnivåer för Bergsjövägen vid position 1 och 2 för olika höjder på bullerskärmen, samt för akustisk hård och mjuk mark.

Höjd skärm[m]	Pos.1(hård) dBA	Pos.2(hård) dBA	Pos.1(mjuk) dBA	Pos.2(mjuk) dBA
Ingen skärm	62.1	62	62.1	62
2	53.7	62	45.1	62
2.5	51.2	62	44.2	62
3	49.4	62	43.4	62
3.5	47.5	60.5	41.8	60.5

6.5.2 Resultat av hastighetssänkning/avståndsändring

Beräknade värden enligt Nordiska beräkningsmodellen för olika intressanta hastigheter och avstånd från vägkant till fasad. Resultaten gäller för en höjd på 1.5m över marken.

Hastighet [km/h]	Almanacksvägen 20m [dBA]	Almanacksvägen 40m [dBA]	Bergsjövägen 20m [dBA]	Bergsjövägen 30m [dBA]
70	64.7	62.3	62	60.5
60	63	60.5	60.3	58.7
50	61	58.5	58.2	56.6

Hastighet [km/h]	Guldhedsgatan 20m [dBA]
50	62.2
40	60.5

7 Analys

Här jämförs beräknade och uppmätta ljudnivåer, med och utan akustiska åtgärder, mot gamla och nya gränsvärden för buller. Slutsatser dras sedan huruvida de nya sänkta kraven är nödvändiga för att förtäta Göteborgs olika stadsdelar. Det kan inledningsvis sägas att det enligt de nya reglerna skulle vara möjligt att bygga genomgående lägenheter med tillgång till en ljuddämpad sida enligt avsnitt 2.4.4 i alla undersökta områden, då det inte finns någon övre gräns för ljudnivåer mot den bullerutsatta sidans fasad i de nya reglerna.

7.1 Förutsättningar för nybyggnation

De ljudnivåer vid fasad som jämförs med i kap 7 är:

Gamla gränsvärden:

- < 55 dBA, byggnation möjlig.
- 55-60 dBA, byggnation möjlig för genomgående lägenheter då en tyst sida eller ljuddämpad kan åstadkommas (45-50 dBA).
- 60-65 dBA, byggnation i undantagsfall möjlig för genomgående lägenheter då en tyst sida eller ljuddämpad kan åstadkommas (45-50 dBA).

Nya gränsvärden:

- < 55 dBA, byggnation möjlig.
- < 60 dBA, byggnation möjlig för lägenheter med en area under 35 m² utan tillgång till tyst sida.
- >55 dBA, byggnation möjlig för genomgående lägenheter med tillgång till ljudskyddad sida (<55 dBA).

7.2 Utan åtgärder miljonprogramsområden

Eftersom gatorna i området Bergsjön inte kan räknas som undantagsfall enligt Göteborgs tolkning av boverkets riktlinjer (se avsnitt 4.4.2) så resulterar ljudnivåer på över 60 dBA att byggnation ej är tillåten enligt de gamla reglerna.

7.2.1 Almanacksvägen

Det uppmätta och korrigerade värdet för bullernivån längs den större infartsleden Almanacksvägen är 66,8 dBA cirka 10 meter från väggkant. Rimligt avstånd att bygga bostäder vore vid cirka 20m från väggkant, vilket skulle ge en bullernivå på ca 63,8 dBA enligt teorin om avståndsfördubbling för linjekällor (se avsnitt 3.3.2). Det beräknade värdet för 20 meter enligt den nordiska beräkningsmodellen är 64,7dBA. Dessa nivåer ligger över de gamla gränsvärdena för buller.

7.2.2 Bergsjövägen

Vid Bergsjövägen, en halvstor infartsled, ligger den korrigerade bullernivån på 64,9 dBA ca 14 meter från vägkant. Då en sluttande bergvägg var närvarande några meter bakom mätplatsen kan det antas att denna nivå bör sänkas med någon decibel vilket skulle ge ett värde på ca 63,9 dBA. Detta stämmer väl överens med det beräknade värdet för samma avstånd enligt Nordiska beräkningsmodellen som ligger på 63,3 dBA. Byggnation 20 meter från vägkant skulle enligt beräkningar ge ett buller på 62,1 dBA. Nivåerna ligger således över de tidigare gränsvärdena för buller.

7.2.3 Kvadrantgatan

Vid kvadrantgatan som är en mindre väg inom området har bullernivån mätts till 54,6 dBA vid ett avstånd om 5 meter från vägkant. Inga trafikmängder finns tillgängliga för gatan på Trafikverkets hemsida så ingen konvertering av ljudnivån har genomförts. Bedömningen från besöket på plats är dock att det är en gata med lite trafik och mängden bilar borde inte bli nämnvärt mycket högre under dygnets mest trafikerade timmar. Ifall nivåerna skulle visa sig vara högre är det möjligt att bygga husen längre än 5 meter från vägen och på så vis få ner nivåerna. Då den uppmätta ljudnivån ligger under 55 dBA så är det möjligt att bygga flerbostadshus utan tillgång till tyst sida enligt både nya och gamla regler.

7.2.4 Slutsats

Det är inte troligt att byggnation längs större- eller halvstora infartsleder till förortsområden kan räknas som undantagsfall enligt Göteborgs tolkning av boverkets riktlinjer (se avsnitt 4.4.2), vilket gör att nybyggnation längs Almanacksvägen och Bergsjövägen ej kan ske utan särskilda bullerdämpande åtgärder enligt de gamla reglerna. För gator inne i Bergsjön är buller inte ett problem vid nybyggnation av bostäder då Kvadrantgatan, som upplevdes som en av de mer trafikerade gatorna inom området, låg under rekommenderade gränsvärden. Att sammankoppla Bergsjön med omkringliggande områden är alltså inte möjligt enligt de gamla reglerna utan bullerdämpande åtgärder eftersom nybyggnation vid infartsvägarna skulle vara nödvändigt för detta.

7.3 Med åtgärder i miljonprogramsområden

7.3.1 Almanacksvägen

Sänkt hastighet/ökat avstånd

En effektiv metod för att minska bullret från en väg är att sänka hastigheten. Om hastigheten på Almanacksvägen sänks från 70 till 60 km/h sänks vägbullret på 20 meters avstånd från vägen med cirka 1,7 dBA enligt beräkningar enligt den Nordiska beräkningsmodellen. Detta skulle ge en bullernivå på 63,0 dBA. Detta värde är också över riktvärdet för byggnation. Vid en ytterligare sänkning ned till 50 km/h minskar bullernivån till en nivå av 61 dBA som också ligger över det tidigare gränsvärdet på 60 dBA. Att endast ha en hastighet på 50 km/h vid denna 4-filiga väg anser vi heller inte vara rimligt. Genom endast hastighetssänkning är det alltså inte möjligt att nå under 60 dBA och få bygga enligt de gamla reglerna.

Bostadsbyggande på ett avstånd av 20 meter från Almanacksvägen låter sig alltså inte göras med hänsyn till de gamla bullerkraven utan att kunna motivera särskilt undantag enligt 4.4.2. Detta är inte omöjligt, men vi finner det föga troligt att så skulle kunna skett i närtid med de gamla reglerna. För att kunna bygga krävs alltså ett ökat avstånd mellan väg och husfasad. Resultat redovisade i 6.5.2 visar att ljudnivån på ett avstånd av 40 meter från väggkant samt en hastighetssänkning till 60 km/h skulle ge en ljudnivå på 60.5 dBA. På ett avstånd strax över 40m skulle alltså genomgående lägenheter med ljuddämpad sida få byggas enligt gamla regler samt icke genomgående mindre lägenheter enligt nya regler.

Tyst asfalt

Med tyst asfalt skulle Ljudnivån kunna sänkas med ca 5-7 dBA vilket skulle ge en bullernivå vid tänkt fasad 20 meter från vägen på 57,7 -59,7 dBA. Det skulle då vara möjligt att bygga genomgående bostäder med tyst sida enligt de gamla reglerna samt mindre lägenheter utan tyst sida enligt de nya reglerna. Tyst asfalt har dock visat sig fungera dåligt under svenska förhållanden då många kör med dubbdäck under vinterhalvåret. Det är dyrt att bygga, dyrt att underhålla och måste bytas dubbelt så ofta som vanlig asfalt (se avsnitt 2.5.2). Vår bedömning är därför att tyst asfalt alltså inte är en ekonomiskt försvarbar lösning för Almanacksvägen.

Bullerskärm

Byggnation av bullerskärm är en vanlig åtgärd för att minska bullerproblem längs vägar i Sverige. Bullerskärmarns effekt är som störst på marken bakom skärmen, och avtar med höjden. (se avsnitt 2.5.1). Resultaten för de olika höjderna på bullerskärmar visar att effekten av bullerskärmen i princip endast hjälper för första våningsplanet (se avsnitt 6.5.1). En skärm på 2.5 m skulle tillåta byggnation av enplanshus 20 meter från vägen enligt gamla regler då ljudnivån hamnar på 54.6 dBA. Att bygga enplanshus vid sidan av en väg av denna storlek kan betraktas som onödigt då huset inte stoppar bullret från att komma längre in i området. Med en 3.5m hög skärm blir ljudnivån 4,5m över marken 60,5 dBA och närmar sig alltså gränsvärdet på 60dBA. I detta fall skulle tvåplanshus med ljuddämpad sida enligt gamla gränsvärden få byggas. Enligt nya gränsvärden skulle även mindre lägenheter (<35m²) få byggas utan ljuddämpad sida. En skärm över 2,5m är dock ovanligt och skulle sänka det visuella intrycket av området. Att använda bullerskärm som bullerdämpande åtgärd kan därför inte ses som en möjlig lösning för Almanacksvägen. Det skall dock sägas att en 2.5m hög bullerskärm dämpar bullret 20m från väggkant på 1.5 meters höjd över mark med drygt 10 dBA, en upplevd halvering av ljudnivån. Skärmen gör det alltså behagligare för människor som vistas på marken.

7.3.2 Bergsjövägen

Sänkt hastighet

Om hastigheten på Bergsjövägen sänks från 70 till 60 km/h hamnar ljudnivån 20m från väggkant på 60.3 dBA (se avsnitt 6.5.2). Det är alltså möjligt att bygga flerbostadshus med ljuddämpad sida enligt gamla regler samt icke genomgående mindre lägenheter enligt nya regler strax över 20m från väggkant vid denna hastighet. En ytterligare hastighetssänkning från 60 till 50 km/h leder inte till mer fördelaktiga

Ljudnivåer enligt tidigare regelverk. En sänkning till 60 km/h kan anses vara en rimlig åtgärd som skulle tillåta byggnation av bostäder.

Tyst asfalt

Genom att lägga tyst asfalt på Bergsjövägen skulle ljudnivån kunna reduceras till en ljudnivå på 55-57 dBA vilket i bästa fall tillåter fri byggnation enligt gamla regler (<55 dBA), eller i varje fall byggnation av genomgående lägenheter med ljuddämpad sida enligt gamla regler samt av lägenheter under 35 kvm enligt nya regler då ljudnivån är mellan 55-60 dBA. Enligt samma resonemang som för Almanacksvägen anser vi ej att tyst asfalt är en ekonomisk försvarbar lösning.

Bullerskärm

Som resultaten visar i avsnitt 6.5.1 så fungerar bullerskärmen för bottenvåningen. Genom samma resonemang som för Almanacksvägen i avsnitt 7.3.1 så är inte bullerskärm en möjlig lösning för byggnation av flerbostadshus längs Bergsjövägen med hänsyn till bullerkraven.

7.3.3 Slutsats miljonprogramsområden

Förtätning och sammanbyggnad av förorter som Bergsjön och Kortedala kan enligt de gamla reglerna ske om kommun och trafikverket är villiga att sänka hastigheten på vägarna till 60 km/h. Denna hastighetsbegränsning kan anses rimlig för vägar av dessa slag. Fartkameror är ett gott alternativ för att få hastighetsbegränsningen att efterlevas (Nilsson, 2008). Fartkameror hjälper även till att maximalnivån på 70 dBA under nattetid inte överskrids. Längs de allra största infartslederna, som Almanacksvägen, krävs dock även att husen placeras drygt 40 meter från vägen. Detta skulle leda till ljudnivåer under 60dBA vilket betyder att genomgående lägenheter med en ljuddämpad sida (45-50 dBA) kan byggas enligt gamla regler, samt icke genomgående lägenheter med en boarea under 35m² enligt nya reglerna. För att få husen till ett avstånd av 40 meter från vägen kan man leda in mindre avtagsvägar från de större vägarna och sedan bygga längs dessa. Att utöka kollektivtrafiken i området skulle också vara en bra åtgärd för att minska trafikmängden och hålla ned vägbullret.

7.4 Utan åtgärder halvcentralt område

7.4.1 Guldhedsgatan

Den uppmätta och korrigerade ljudnivån för Guldhedsgatan ligger på 65.8 dBA på ett avstånd av 13m från mitten av vägen. Enligt teorin för avståndsdubbling för linjekällor (se avsnitt 2.2.3) skulle ljudnivån ligga på cirka 62.8 dBA 26m från vägens mitt. Det motsvarar 18 m från väggkant. För byggnation med fasad 20m från väggkant beräknas ljudnivån enligt Nordiska beräkningsmodellen till 62.2 dBA. Dessa värden är för höga för att få bygga bostäder utan att få särskilt undantag enligt tidigare regler. Att undantag kan ges för Guldhedsgatan är möjligt då det i Göteborgs tolkning står att Boverkets rekommendation följs som lyder: *”Avsteg från de fastställda riktvärdena för buller från trafik bör kunna göras för komplettering av befintlig bebyggelse i centrala delar av städer eller tätorter med bebyggelse av stadskaraktär, t.ex. ordnad kvartersstruktur och tätare bebyggelse vid knutpunkter längs kollektivtrafikstråken”* (se avsnitt 2.4.3). Guldhedsgatan är belägen relativt centralt i Göteborg samt har närhet till god kollektivförbindelse i form av Linnéplatsen och Wavrinskys plats.

Behovet av byggnation i området skulle således av kommunen få ställas mot bullrets hälsoeffekter hos de boende. Om undantag inte skulle kunna fås skulle det krävas bullerdämpande åtgärder.

7.4.2 Doktor Allards Gata

Doktor Allards gata är en mindre väg inne i området Guldheden. Den korrigerade uppmätta bullernivån blev här 55,3 dBA på ett avstånd av 8m från väggkant. Vid denna nivå kan byggnation ske obehindrat enligt gamla regler. Bullerdämpande åtgärder för att få bygga bostäder längs denna väg krävs alltså ej.

7.5 Med åtgärder halvcentralt område

7.5.1 Guldhedsgatan

Sänkt hastighet

Den skyltade hastigheten för Guldhedsgatan är 50 km/h. Den beräknade bullernivån enligt den Nordiska beräkningsmodellen för ett avstånd av 20m från väggkant ligger på 62.2 dBA (se avsnitt 6.5.2). En hastighetssänkning med 10 km/h skulle ge en ljudnivå på 60.5 dBA. Men då denna väg är en viktig genomfartsled i Göteborg med närhet till sjukhus med ambulansutryckningar ser vi inte en hastighetssänkning som lämplig. Byggnation genom enbart sänkt hastighet är alltså inte möjlig.

Tyst asfalt

Tyst asfalt skulle vid hastigheter runt 40-50 km/h kunna ge en dämpning runt 3-4 dBA (se avsnitt 2.5.2). Detta skulle ge en ljudnivå 20m från Guldhedsgatan på ungefär 58.2 - 59.2 dBA vilket skulle tillåta byggnation av genomgående lägenheter med tillgång till ljuddämpad sida enligt gamla regler samt icke genomgående lägenheter med en boarea under 35m² enligt nya regler. Denna åtgärd ser vi liksom för tidigare vägar ej ekonomiskt försvarbar i och med slitage från dubbdäck under vinterhalvåret.

Bullerskärm

Bullerskärm längs vägen skulle liksom för Almanacksvägen i avsnitt 7.3.1 skapa en behagligare ljudnivå för bottenvåningar och gående längs vägen men för plan 2 och högre skulle effekten dock bli liten och inte underlätta Bostadsbyggande enligt bullerkraven nämnvärt. Åtgärden är därför inte tillräcklig för att få bygga bostäder längs vägen. En genomskinlig, inte alltför hög, bullerskärm skulle dock kunna skapa en behagligare utemiljö för passerande fotgängare och cyklister samt för boende som vistas i närhet av vägen. Att skärmen är genomskinlig är viktigt vid en så pass central väg för att skapa känslan av ett sammanhängande område och för att bilister, gående och cyklister skall kunna se varandra vid övergångsställen.

7.5.2 Slutsats halvcentralt område

Byggnation längs Guldhedsgatan kan ej ske med hänsyn till de gamla bullerkraven. Möjligheten som finns är att kunna motivera att särskilt undantag bör gälla.

Guldhedsgatan har god tillgång till kollektivtrafik, samt ligger beläget relativt centralt vilket båda är förmildrande omständigheter. Det är upp till kommunen att besluta om utökad byggnation längs vägen skall få ske. I så fall blir det möjligt att bygga genomgående lägenheter med en ljuddämpad sida enligt tidigare bullerregler. Eftersom det inte är möjligt att få nivån under 60 dBA så kan ej lägenheter under 35m² byggas enligt de nya reglerna. Längre in i området Guldheden kan byggnation av nya bostäder ske utan svårigheter. Om ljudnivåerna skulle öka runt om i Guldheden i och med att fler människor flyttar in kan utbyggnad av kollektivtrafik runt Wavrinskys plats samt inne i området vara bra för att hålla nere trafikmängden.

7.6 Utan åtgärder centrumområdet

7.6.1 Linnégatan

För Linnégatan, en stor och central gata som får representera stadens centrum, blev den uppmätta korrigerade bullernivån 58,6 dBA på ett avstånd av 5 meter från vägkant. Det är även på detta avstånd nya bostäder får antas ligga på grund av bristen på utrymme i centrala staden. Vid denna bullernivå får genomgående lägenheter med ljuddämpad sida byggas enligt gamla regler samt icke genomgående lägenheter med en boarea under 35m² enligt nya regler. Genom att bygga i kvartersstruktur, med liknande höjd som befintliga byggnader, bör en ljuddämpad sida vara enkel att uppnå.

Bullernivån 58,6 dBA som uppmättes kan dock antas vara aningen för låg då risken finns att somliga bilister saktat ner när de såg bullermätningen. Ett beräknat närmevärde för denna väg skulle enligt nordiska beräkningsmodellen ha blivit omkring 63 dBA. Så mycket borde inte dessa hastighetssänkningar ha påverkat resultatet, men det indikerar på att de kan vara en felkälla till ljudnivån. I enlighet med Nordtest method mäts heller inte ljudnivån från spårvagnar då metoden endast tar hänsyn till vanlig trafik. På en motsvarande gata i en annan stad skulle eventuellt fler bussar passerat istället för spårvagnar vilket skulle leda till ökad ljudnivå. Buller från spårvagnar är påtagligt, vilket gör detta till en felkälla för resultatet på Linnégatan. Ett något högre värde, vilket kan tyckas rimligt skulle göra att bullernivån längs vägen skulle ligga mellan 60-65 dBA. Vid denna ljudnivå kan byggnation ske om man kan motivera att särskilt undantag från bullerkraven bör gälla. Byggnation vid en stor och central gata som denna med god tillgång till kollektivtrafik bör enkelt kunna motiveras som ett exempel då undantag från de tidigare bullerkraven får tillämpas. Dock blir det inte längre möjligt att bygga små lägenheter enligt de nya reglerna.

7.6.2 Nordhemsgatan

Den andra gatan som undersökts är en mindre parallellgata till Linnégatan vid namn Nordhemsgatan. Vid denna gata blev den korrigerade uppmätta ljudnivån 58,4 dBA, ett rimligt värde med tanke på närheten till Linnégatan och visst ljudspill därifrån. Vid denna bullernivå får genomgående lägenheter med ljuddämpad sida byggas enligt gamla regler samt icke genomgående lägenheter med en boarea under 35m² byggas enligt nya regler. En ljuddämpad sida genom skapandet av slutet kvarter borde enkelt kunna åstadkommas. Mellan Nordhemsgatan och Linnégatan ligger just nu en parkeringsplats på vilken bostäder skulle kunna byggas. I ett sådant scenario skulle

Ljudnivån på Nordhemsgatan kunna antas minska i och med att ljud från Linnégatan blockeras av huskroppen.

7.7 Med åtgärder centrumområde

Byggnation av genomgående lägenheter med en ljuddämpad sida bör kunna ske även utan akustiska åtgärder vid dessa gator. Icke genomgående lägenheter är dock bara möjligt att bygga enligt de nya reglerna. För att sådana lägenheter ska kunna byggas enligt de gamla reglerna måste ljudnivån vid fasad ner till 55 dBA.

Sänkt hastighet

Hastigheten på gatorna är satt till 50 km/h, men medianhastigheten ligger på cirka 25 km/h. (se bilaga 1). Fordonen håller alltså redan en låg hastighet vilket gör att en sänkning med 20 km/h inte skulle få särskilt stor effekt mer än att minska de snabbaste fordonens hastighet och därav deras bulleralstring. Ur trafiksäkerhetssynpunkt skulle hastigheten kunna sänkas, men relevansen att sänka den för bullernivåns skull tordes vara begränsad.

Tyst asfalt

På dessa gator skulle effekten av tyst asfalt vara begränsad då ljudalstringen från fordon vid så låga hastigheter som 25 km/h till mindre del är kommen ur däckens kontakt med vägbanan, och mer från ljud producerat i motorerna. Dubbdäcksförbud på Linnégatan skulle dock kunna införas liksom man gjort på Odinsgatan och Friggagatan i Göteborg. Utan dubbdäck skulle asfaltens livslängd bli längre, och kostnaden för den mer försvarbar.

Bullerskärm

Byggnation av bullerskärm längs dessa gator är inte aktuellt då det är ont om plats längs gatorna och då människor vill kunna passera gatorna på många platser. Bullerskärmar är också för skrymmande för denna täta stadstyp där fordon vill kunna parkera längs gatorna på olika platser. Många avbrott i skärmen minskar också dess effekt.

7.7.1 Slutsats Centrum

Byggnation av genomgående bostäder med tyst sida bör kunna ske längs Linnégatan och Nordhemsgatan även utan bullerdämpande åtgärder enligt tidigare regler. Byggnation av icke genomgående lägenheter är dock endast genomförbart enligt de nya reglerna då ljudnivån ej går att få under 55 dBA med akustiska åtgärder. Sänkt hastighet från 50 km/h ner till 40 eller 30 km/h skulle kunna ske utan problem då de flesta fordon ändå håller låg hastighet på dessa gator. Endast de snabbaste fordonen skulle få sakta in vilket skulle medföra en något dämpad bullernivå.

8 Slutsats

En generalisering av situationen i miljonprogramsområdet Bergsjön visar att förtätning och sammanbyggnad av områden som detta kan ske enligt de gamla bullerreglerna om hastigheter på vägarna sänks till 60 km/h och avståndet mellan hus och de största 4-filiga infartsvägarna ligger över 40 meter. Mindre avtagsvägar kan ledas ut från dessa där bostäder byggs för att få en acceptabel ljudnivå. Att bygga icke genomgående mindre lägenheter (under 35m²) är dock endast möjligt om man går efter de nya reglerna. Även om det önskas att bygga närmare de stora 4-filiga infartsvägarna, till exempel på ett avstånd av 20 meter, måste de nya reglerna användas. I miljonprogramsområden kan det därmed sägas att de nya reglerna ändrar förutsättningarna för byggnation.

Generalisering av Guldheden till att gälla andra halvcentrala områden i städerna ger slutsatsen att byggnation inne i områdena är möjlig utan svårigheter med hänsyn till de gamla riktvärdena för buller. Där behövs således inte de nya reglerna. Vid större infartsleder eller förbifartsleder kan dock inte byggnation ske utan att kunna motivera att undantag från riktvärdena bör gälla med hänsyn till de gamla reglerna. I dessa områden är det upp till kommunen att bestämma om byggnation av bostäder är tillräckligt viktigt för att undantag från bullerreglerna ska gälla. Om tillåtelse ges kan då genomgående lägenheter med ljuddämpad sida byggas. Byggnation av icke genomgående lägenheter är här varken tillåten enligt nya eller gamla regler då ljudnivån ligger över 60 dBA. I de halvcentrala delarna är de nya reglerna inte nödvändiga för att byggnation i det stora hela skall kunna ske, förutom vid de största vägarna där de nya reglerna kan vara nödvändiga.

I centrumområden kan byggnation längs de större vägarna ske även med gamla regler om hastigheten på vägen är tillräckligt låg och om särskilt undantag från bullerkraven kan motiveras, vilket det i städers centrala delar kan enligt Boverkets riktlinjer. Längs centrala storgator behöver inte hastigheten vara särskilt hög eftersom förbipasserande ändå hellre ska köra en annan rutt än rakt igenom innerstaden. Vid sidogator är bullernivån låg nog för att bostäder skall få byggas även med de gamla reglerna, så tillvida innergård med ljuddämpad sida kan åstadkommas, vilket också oftast är möjligt. En effekt av de nya gränsvärdena här är att det blir möjligt att bygga icke genomgående lägenheter då ljudnivåerna ligger under 60 dBA.

Göteborgs kommuns plan på att förtäta staden inifrån och ut är möjlig även utan de nya bullerreglerna. Skillnaden blir att icke genomgående lägenheter inte kan placeras vid de större gatorna i centrala stan eller intill de större infartsvägarna till miljonprogramsområdena. Detta är möjligt enligt de nya reglerna. Fördelarna med att kunna bygga fler små lägenheter i bullerutsatta lägen måste ställas mot nackdelarna med att aldrig kunna gå till en tyst del av lägenheten. Att inte kunna ha möjlighet till öppet fönster under natten anses av många som störande, och höga ljudnivåer försämrar sömn, är stressande och kan öka risken för hjärt- och kärlsjukdomar. Risken för dessa sjukdomar ökar framförallt vid en ljudnivå över 60 dBA (se avsnitt 2.2) vilket är aktuellt om byggnation till och runtomkring miljonprogramsområden samt vid de stora gatorna i halvcentrala områden sker utan akustiska åtgärder, alltså enligt de nya reglerna.

9 Referenser

Ader, C. (2015): Stadsdelar i Göteborg byggs ihop. *Building supply*, 2015-02-05.
http://www.building-supply.se/article/view/148217/stadsdelar_i_goteborg_byggs_ihop?ref=newsletter#.VOSo6E1TGzk

Andersson, P., Kropp, W. (2008A) Lecture 2-3. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture0203.pdf

Andersson, P., Kropp, W. (2008B) Lecture 10-11. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture1011.pdf

Andersson, P., Kropp, W. (2010) Lecture 4. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture04.pdf

Andersson, P., Kropp, W. (2015A) Lecture 1. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture01.pdf

Andersson, P., Kropp, W. (2015B) Lecture 5. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture05.pdf

Andersson, P., Kropp, W. (2015C) Lecture 15. Introduction to sound and vibration.
http://www.ta.chalmers.se/downloads/students/cpg_isv/lecture15.pdf

Andersson, P, et al. (2014): *Stadens ljud –Kan vi bygga stad med dagens bullerregler?*. Förslag till kandidatarbete, Göteborg.
<http://www.chalmers.se/sv/institutioner/cee/utbildning/kandidatarbete/Teknik-akustik/Sidor/Stadens-ljud-%E2%80%93kan-vi-bygga-stad-med-dagens-bullerregler.aspx>

Allt om Vetenskap (2006): *Hur fungerar tyst asfalt?*, Allt om vetenskaps förlags AB, 2006-11-21.
<http://www.alltomvetenskap.se/nyheter/hur-fungerar-tyst-asfalt>

Bengtsson (2014): Buller ger ohälsa. Naturvårdsverket
<http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Buller/>

Blomkvist, S. et al. (2014) *Akustiska åtgärder vid förtätning av staden*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/199667/199667.pdf>

Boverket (2012) *Vision för Sverige 2025*.
<http://sverige2025.boverket.se/en-urbaniserad-varld.html>

Breuning, J. (2014) Green Walls. *Green Roof Technology*.

http://www.greenrooftechnology.com/green_walls. (2014-02-18).

Business region Göteborg. (2005) Tillväxt i Göteborgsregionen. *Business region Göteborg*.

http://goteborg.se/wps/wcm/connect/36aa978045f439479a71da93cac393f3/Tillv%C3%A4xt+i+G%C3%B6teborgsregionen_underlag+BRG.pdf?MOD=AJPERE&CACHEID=36aa978045f439479a71da93cac393f3. (2014-02-07).

Dahlquist, H. (2009): Tyst asfalt fungerar dåligt. *Ny Teknik*, 2009-05-25.

<http://www.nyteknik.se/nyheter/bygg/article262033.ece>

Emilsson, T (2000) SLU-forskare. Gröna väggar har en wow-effekt. *Nyteknik*

<http://www.nyteknik.se/nyheter/bygg/byggartiklar/article3582820.ece>

Evy Öhrström (2006): -Dos respons samband. *Ljudlandskap*.

http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=specialister&kapitel=kapitel_5&rubrik=rubrik5_4

Evy Öhrström (2007A): Hälsoeffekter. *Ljudlandskap*.

http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=specialister&kapitel=kapitel_5&rubrik=rubrik2 (Evy Öhrström, 2007)

Evy Öhrström (2007B): Insomningsperioden. *Ljudlandskap*.

http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=specialister&kapitel=kapitel_5&rubrik=rubrik5_1

Evy Öhrström (2007C): -Sömnperioden. *Ljudlandskap*.

http://www.ljudlandskap.acoustics.nu/ljudbok.php?del=specialister&kapitel=kapitel_5&rubrik=rubrik5_2

Evy Öhrström (2005D) Tyst sida i bostaden ger bättre hälsa. *Husbyggaren*. Vol.1

http://www.bygging.se/husbyggaren/artiklar/2005_1_06.pdf

Forssén, J. et al (2013) *Novel solutions for quieter and greener cities*.

http://www.hosanna.bartvandraa.com/includes/upload/DELIVERABLES/HSN_NA_SUMMARY_BROCHURE_JANUARY_2013.pdf

Gritsko, N. (2012) *Trafikbuller och hälsa*.

<http://www.regionorebrolan.se/sv/uso/patientinformation/kliniker-och-enheter/arbets--och-miljomedicinska-kliniken/nyhetsarkiv/nyheter/trafikbuller-och-halsa/>

Göteborg stad, (2006): *Kommunal tillämpning av riktvärden för trafikbuller*, Göteborg, 2006, 10-13 16-19 sid.

<http://www2.trafikkontoret.goteborg.se/resourcelibrary/RiktvardenForTrafikbuller.pdf>

Helmersson, D. (2015): Tyst asfalt, *Nationalencyklopedin*.

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/tyst-asfalt>

- Höstmad, P. (2012) Bygga bort buller. *Yimby*.
http://www.yimby.se/2012/11/bygga-bortbuller_1341.html.
- IPG (2005) *Inventory study of basic knowledge on tyre/road noise*.
<http://www.infrageluid.nl/leaflets/Inventory%20Study.pdf>
- Jörnmark, J. (2015): Miljonprogrammet, *Nationalencyklopedin*.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/miljonprogrammet>
- Kallin, J. (2009): Tyst asfalt hjälper inte. *Göteborgs-Posten*, 2009-09-22.
<http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.105758-tyst-asfalt-br-hjalper-inte?m=print>
- Larsson, K. (2010): Satsning på tyst asfalt bromsas trots miljövinst. *Expressen*, 2010-10-13.
<http://www.expressen.se/nyheter/dokument/satsning-pa-tyst-asfalt-bromsas-trots-miljovinst/>
- Nilsson, K (2008): Fartkameror räddar liv. *DN*.
<http://www.dn.se/sthlm/fartkameror-raddar-liv/>
- P4 Göteborg, (2015): Kortedala och bergsjön ska byggas ihop med Utby. *P4 Göteborg*, 2015-02-05.
<http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=104&artikel=6085842>
- Rabe, M. (2010): Tyst asfalt ingen succé. *Teknikens Värld*, 2010-09-11.
<http://teknikensvarld.se/tyst-asfalt-ingen-succe-126152/>
- Regeringskansliet (2015A): *nya bullerregler gör det enklare att bygga fler lägenheter*.
<http://www.regeringen.se/artiklar/2015/04/nya-bullerregler-gor-det-enklare-att-bygga-fler-lagenheter/>
- Regeringskansliet (2015B) *Samordnade bullerregler för att underlätta bostadsbyggandet*.
<http://www.regeringen.se/rattsdokument/statens-offentliga-utredningar/2013/08/sou-201357/>
- Roos, B, et al. (2004): *Hej bostad – om bostadsbyggande i Storstockholm 1961-1975*. Länsstyrelsen i Stockholms län, 7, 13, 19 sid.
<http://www.lansstyrelsen.se/stockholm/SiteCollectionDocuments/Sv/publikationer/2004/hej-bostad.pdf>
- Sandström, V. (2012): *Bullertunnel*. {Examensarbete}. KTH, publikation nr.141, Stockholm, Sverige, 15-17 sid.
https://www.kth.se/polopoly_fs/1.339952!/Menu/general/column-content/attachment/Bullertunneln%20Vidar%20Sandstr%C3%B6m%20141.pdf

Sollentuna kommun, trafik- och fastighetskontoret: *Bullerskärmar*, Sollentuna, Sverige, 1-4 sid.
<http://www.sollentuna.se/globalassets/trafik--stadsplanering/trafik-och-resande/trafikens-miljopaverkan/bullerbidrag/7---faktablad-bullerskarmar.pdf>

SOU (2013): Samordnade bullerregler för att underlätta bostadsbyggandet Stockholm.
<http://www.regeringen.se/contentassets/14db0439e9ca456da419024bd9687178/samordnade-bullerregler-for-att-underlatta-bostadsbyggandet---delbetankande-av-bullersamordningsutredningen-sou-201357>

Stadsbyggnadskontoret Göteborg (2009): *Översiktsplan för göteborg*, Stadsbyggnadskontoret, Göteborg, 38, 39, 84, 89, 108, 112 sid.
(<http://goteborg.se/wps/wcm/connect/d1f790ad-263d-4a42-ad8f-8777f65a094c/Del1.pdf?MOD=AJPERES>)

Stockholms stad, (2015): *Buller från trafiken*, Stockholm, Sverige.
<http://www.stockholm.se/TrafikStadsplanering/Trafik-och-resor-/Trafik-och-miljo/Trafikbuller/?kontakt>

Svensson, B. (2010): Dubbfritt banar väg för tyst asfalt. *Göteborgs-Posten*, 2010-09-11.
<http://www.gp.se/nyheter/goteborg/1.466276-dubbfritt-banar-vag-for-tyst-asfalt>

Swedish standards institute, (2001): *Byggaukustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader*, Svensk Standard, 2001-06-21.
http://www.sis.se/Templates/SIS/Pages/ProductStandardView.aspx?id=29&epslanguage=sv&pid=STD-30393&icslvl1=SIS_COMMON_91&icslvl2=SIS_COMMON_91.120&icslvl3=SIS_COMMON_91.120.20

Tideström(2012): Oönskat ljud negativt för hälsan. Medicinsk vetenskap.
<http://ki.se/forskning/oonskat-ljud-negativt-for-halsan>

WHO (2011): Burden of disease from environmental noise.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf
Bonn, 106 sid

Åkerlöf, L, et al. (2009): *Praktisk användning av SS 25268*, WSP, 2009-04-21.
http://arbetsliv.de/Region_9/PDF/kontaktstag_20130404/SS_25268_med_bilaga_090421.pdf

Bilaga 1

Trafikmängder från trafikverket

Almanacksvägen

Delsträcka

Tideräkningsgatan - Januarigatan

AR	AMVD - trafik				MAXTIM-Trafik EM				HASTIGHET		
	Bilar/dygn			%	Bilar/timme			Skyltad	Median	85-per-centil	
	Totalt	Tung	Mot C		Från C	Summa					
2012	10400		400	400	560	960					
2008	11000		480	480	640	1120					
2004	10900	450	4	400	520	920	70	75	87		
2000	10200		390	390	530	920					
1996	9800		370	370	520	890					
1994	10000	320	3	410	500	910	70	72	83		
1990	11900		460	460	730	1190					
1986	12500		410	410	710	1120					
1983	11000										
1979	13500										
1975	12800										

Bergsjövägen

Delsträcka

Gärdsåsgatan - Atmosfärgatan

2012	4400	330	8	220	200	420	70	74	85
2008	4200					400			
2004	4300					400			
2000	3700	330	9	160	180	340	70	64	75
1996	3500					320			
1990	4500					450			
1986	5800					570			

Guldhedsgatan

Delsträcka

Wavriskys Plats – Doktor Saléns gata

AR	AMVD - trafik			MAXTIM-Trafik EM			HASTIGHET		
	Bilar/dygn			Bilar/timme			Skyltad	Median	85-per-centil
	Totalt	Tung	%	Mot C	Från C	Summa			
2013	14100			680	520	1200			
2012	16000			890	620	1510			
2011	7300				600				
2010	16600			950	630	1580			
2009	7900				650				
2008	8000				650				
2007	8900				700				
2006	20800			1220	990	2210			

Doktor Allards Gata

Delsträcka

Doktor Fries Torg – Doktor Forselius Gata

AR	AMVD - trafik			MAXTIM-Trafik EM			HASTIGHET		
	Bilar/dygn			Bilar/timme			Skyltad	Median	85-per-centil
	Totalt	Tung	%	Mot C	Från C	Summa			
2013	2300								
2012	3400	170	5	160	160	320	50	32	38
2010	2700					320			
2006	3200					320			
2005	3200	120	4	160	170	330	50	27	37
2002	3600					350			
2000	4000					370			
1996	3900					380			
1991	4100	110	3	190	200	390	50	49	58

Linnégatan

Delsträcka

Plantagegatan - Prinsgatan

AR	AMVD - trafik			MAXTIM-Trafik EM			HASTIGHET		
	Bilar/dygn			Bilar/timme			Skyltad	Median	85-per-centil
	Totalt	Tung	%	Mot C	Från C	Summa			
2013	9600	590	6	360	360	720	50	24	33
2010	11700			500	480	980			
2005	10800			440	420	860			
2002	10000			410	420	830			
2000	12700	810	6	400	540	940	50	28	37
1999	12900	670	5	470	520	990	50	27	39

Nordhemsgatan

Delsträcka

Plantagegatan - Prinsgatan

AR	AMVD - trafik			MAXTIM-Trafik EM			HASTIGHET		
	Bilar/dygn			Bilar/timme			Skyltad	Median	85-per-centil
	Totalt	Tung	%	Mot C	Från C	Summa			
2013	1200	75	6	60	80	140	50	24	31
2010	2100					220			
2008	2500					240			
2005	2400					250			
2002	1800	60	3	90	80	170	50	26	36

Bilaga 2

Fotografier från de olika mätplatserna.



Figur 28. Bergsjövägen.



Figur 29. Bergsjövägen.



Figur 30. *Almanacksvägen.*



Figur 31. *Kvadrantgatan.*



Figur 32. Linnégatan



Figur 33. Nordhemsgatan.



Figur 34. Guldhedsgatan.



Figur 35. Doktor Allards gata.

Bilaga 3

Information för de olika mätplatserna.

Miljonprojekt	Almanacksvägen	Bergsjövägen	Kvadrantgatan
Placering	Frifält	Frifält	Mot hård fasad
Höjd [m]	1,5	1,90	1,5
Avstånd [m]	16,7	17,5	8,5
Datum	8 april	26 februari	26 februari
Temperatur c°	11.5	5	5,1
Starttid	11:00	14:00	15:50

Halvcentralt område	Guldhedsgatan	Doktor Allards Gata
Placering	Frifält	Frifält
Höjd [m]	1.55	1.55
Avstånd [m]	13	10
Datum	11 mars	11 mars
Temperatur c°	6	6
Starttid	13:00	14:00

Centrum	Linnégatan	Nordhemsgatan
Placering	Mot hård fasad	Frifält
Höjd [m]	1.5	1.55
Avstånd [m]	15	10
Datum	8 april	28 april
Temperatur c°	5	11
Starttid	09:10	10:00

