GÖTEBORGS UNIVERSITET
SAHLGRENSKA AKADEMIN

Rapport från Arbets- och miljömedicin nr 121

Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium

Evy Öhrström, docent
Mikael Ögren, tekn.dr
Tomas Jerson, ingenjör
Annbritt Skånberg, fil.lic
Helena Svensson, fil.mag
Anita Gidlöf-Gunnarsson, fil.dr

Februari 2008 (reviderad maj 2009)

Denna rapport utgör delrapport inom forskningsprogrammet TVANE - Effekter av buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik - tågbonus, skillnader och samverkan mellan tåg- och vägtrafik. BV:s Dnr: S07-5094/AL50.

Omslagsbild:

Interiör från ett av de tre sovrummen i ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet.

Rapporten finns att hämta som pdf.fil på www.tvane.se eller kan beställas från nedanstående adress:

Arbets- och miljömedicin
Sahlgrenska akademin vid Göteborgs universitet
Box 414, 405 30 Göteborg
ISBN 978-91-7876-120-3
ISSN 1650-4321

Telefon: 031 – 786 63 00
E-post: amm@amm.gu.se
Hemsida: www.amm.se/AMM-journalen/Rapporter

tvane
train vibration and noise effects

Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium

Delstudie 1c

Evy Öhrström, docent [1)]
Mikael Ögren, tekn.dr [2)]
Tomas Jerson, ingenjör[3)]
Annbritt Skånberg, fil.lic[1)]
Helena Svensson, fil.mag[1)]
Anita Gidlöf-Gunnarsson, fil.dr[1)]

[1)]Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet
Avd för Samhällsmedicin och Folkhälsa
Sektionen för Arbets- och miljömedicin
Box 414, SE- 405 30 Göteborg

[2)]Statens Väg- och Transportforskningsinstitut
Box 8077, SE- 402 78 Göteborg

[3)]WSP Environmental Akustik
Box 130 33, SE- 415 26 Göteborg

Innehållsförteckning

	Sid
SAMMANFATTNING	6
SUMMARY	7
1. INLEDNING OCH BAKGRUND	8
2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	9
3. METOD OCH MATERIAL	9
3.1 Exponeringsljud från vägtrafik och tåg	9
3.2 Försöksmiljö och utformning	13
3.3 Utvärdering av effekter på sömnen	14
3.3.1 Formulär som besvarades före sömnexperimentet	14
3.3.2 Formulär som besvarades under sömnexperimentet	14
3.4 Försökspersoner	14
3.5 Experimentell design	15
3.6 Statistisk bearbetning och redovisning av resultat	15
4. RESULTAT	15
4.1 Bakgrundsdata	
4.2 Insomningstid och svårighet att somna	16
4.2.1 Insomning i relation till ljudnivåer kl. 23-01	16
4.3 Vakenhet och uppvaknanden p.g.a. buller	16
4.3.1 Uppvaknanden vid olika tidpunkt i relation till ljudnivå i 2-timmarsintervall	17
4.4 Sömnkvalitet, trötthet och sinnesstämning	18
4.5 Störning av ljud/buller under natten	19
4.6 Samband mellan sömnkvalitet och störning av buller	20
5. KOMMENTARER	21
6. REFERENSER	22
APPENDIX	
1) Ljudnivåer vid sömnexperiment - Rapport 2008-01-29	26
2) Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön	36
3) Sinnesstämning morgon respektive kväll efter olika exponeringsnätter	37

SAMMANFATTNING

Experimentella undersökningar utfördes i ljudmiljölaboratorium för att studera effekter på sömnen av buller från tåg och vägtrafik. I studien deltog 18 personer i åldern 23 – 35 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 6 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt och sov 5 nätter i följd. Första natten var en tillvänjningsnatt, därefter följde en tyst referensnatt och 3 nätter med exponering för tåg- eller vägtrafikbuller vilka presenterades i randomiserad ordning i de 6 försöksserierna. Tågexponeringen utgjordes av ljud från såväl gods-, som lokal- och fjärrtåg motsvarande trafikeringen nattetid på Västra Stambanan mellan Göteborg och Alingsås (totalt 46 tåg kl 23-07). Två olika vägtrafikexponeringar användes, dels ett vägtrafikljud med samma ekvivalenta ljudnivå som tågexponeringen ($L_{Aeq,23\text{-}07}$ 31 dB), dels ett vägtrafikljud med samma maximala ljudnivå som tågexponeringen (L_{AFmax} 54 dB). Ljudexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Resultaten visar att påverkan på sömnen överlag inte skiljde sig åt mellan nätter med tågbuller och nätter med vägtrafikbuller med samma maximalnivå respektive nätter med vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå som tågbullret. Det förelåg inga signifikanta skillnader i insomningssvårigheter, sömnkvalitet eller angiven störning av ljud/buller mellan de olika exponeringsnätterna. Antalet uppvaknanden var dock något fler under nätter med tågbuller, i medeltal 2,2 uppvaknanden per natt jämfört med under de två nätterna med vägtrafikbuller (1,5 respektive 1,3 uppvaknanden i medeltal). Dessa resultat står delvis i motsättning till den senaste metaanalysen (Miedema & Vos, 2007) av samband mellan subjektivt upplevda sömnstörningar och buller från olika trafikslag vilken visar att tågbuller ger upphov till mindre störningar av sömnen än vägtrafikbuller.

SUMMARY

The present experimental study examines effects on sleep from exposure to railway and road traffic noise. A total of 18 subjects (23 – 35 years of age) with normal hearing participated in the study. The experiment lasted 5 nights and started with one night for habituation, one quiet reference night followed by three nights with either railway noise or two types of road traffic noise. The three exposure nights were presented in a randomized order during the six experimental sessions. The railway noise was synthesized using recordings of freight-, local and long distance trains with the same composition during the night as on the railway line Västra Stambanan between Gothenburg and Alingsås, i.e. 46 trains between 11 pm and 7 am. Two kinds of road traffic noise exposure were used, one exposure with the same equivalent sound level as the railway noise ($L_{Aeq,23\text{-}07}$ 31 dB) and one exposure with the same maximal sound level as railway noise (L_{AFmax} 54 dB). The frequency spectra of the three sound exposures were filtered to correspond to a realistic situation in the home with the bedroom window slightly open. The overall results revealed no differences between nights with railway noise and nights with road traffic noise with the same equivalent sound level or with the same maximum sound levels. There were no significant differences in time for falling asleep, difficulties in falling asleep, sleep quality or annoyance to sound/noise during the night between the different exposure nights. The average number of awakenings per night was, however, somewhat higher for railway noise (2.2 awakenings) as compared with road traffic noise (1.5 and 1.3 awakenings, respectively). The results from the present study contradict, to some extent, the results obtained in the latest meta analysis (Miedema & Vos, 2007) of dose-response relationships between sleep disturbances and different types of traffic noise, which suggest that railway noise leads to less sleep disturbances than road traffic noise.

1. INLEDNING OCH BAKGRUND

Buller från såväl tåg som vägtrafik och flyg ger upphov till störning och besvärsreaktioner av olika slag (se t.ex. översikt Öhrström, 2004). De vanligaste effekterna, utöver allmän störning, är samtalsstörning, sömnstörningar och effekter på vila och avkoppling. Buller kan leda till negativa effekter på prestation och inlärning genom att koncentrationsförmåga och möjligheten att uppfatta tal försämras. Framför allt påverkar buller läsning, uppmärksamhet, problemlösningsförmåga och minnesförmåga. Trafikbuller av olika slag ger även upphov till psykologiska och fysiologiska stress-relaterade symptom och påverkar därigenom det allmänna välbefinnandet. Allt fler undersökningar under senare år tyder på att risken för hjärt-kärlsjukdom ökar vid höga bullernivåer orsakade av flyg- och vägtrafik (Babisch, 2006).

Buller från tåg har tilldelats en bonus på 5 dB för "bostaden i övrigt" (befintlig miljö) medan $L_{Aeq,24h}$ 55 dB gäller "vid fasad" i de riktvärden riksdagen antog 1997 för samtliga trafikslag. Detta har sin grund i att den alldeles övervägande majoriteten av internationella och svenska studier visar att tågbuller är mindre störande än vägtrafikbuller vid samma ljudnivå (se litteraturstudie Öhrström & Skånberg, 2006). Vid en ljudnivå på L_{den} 60 dB (motsvarar $L_{Aeq,24h}$ 57 dB) varierar andelen störda (ganska och mycket störda) för de olika trafikslagen enligt dos-respons samband baserade på data från ett stort antal internationella undersökningar (Miedema & Oudshoorn, 2001). Flygbuller stör mest (38 % störda), följt av vägtrafikbuller (26 % störda) och tågbuller (15 % störda). Spridningen kring dos-responskurvorna är dock stor, vilket kan förklaras av skillnader i faktorer knutna till individen och till exponeringssituationen. Bullerexponeringsdosen beskrivs t.ex. oftast som nivån vid den mest exponerade sidan av bostaden utan hänsyn till hur bostadens rum är disponerade, om det finns tillgång till en tyst sida, eller huruvida fönstren har god ljudisolering eller inte. När det gäller flygbuller har en rad studier utförda från 1993 till 2005 (Schreckenberg & Meis, 2007) visat avsevärt högre andel störda än dos-responskurvan i EU:s position paper från 2002 som är baserad på metaanalyser av studier utförda t.o.m. 1992 (Miedema & Oudshoorn, 2001).

Tågbullers påverkan på sömnen har studerats i mindre omfattning men EU:s position paper (2004) om sömnstörningar som är baserad på metaanalyser av ett stort antal studier, redovisar mindre sömnstörningar av tågbuller än av vägtrafik och flyg vid samma ljudnivå. Under senare år har tillkommit några undersökningar som visar delvis motstridiga resultat och att "tågbonusen" inte alltid verkar vara befogad. En större studie av Moehler *et al.* (2000) bland 1600 personer exponerade för tågbuller eller vägtrafikbuller visade att sömnkvaliteten, mätt med frågeformulär, påverkades mindre av tågbuller än av vägtrafikbuller vid samma ljudnivå. I en delpopulation om 400 personer inom samma studie mättes också sömnen med aktimetri (kroppsrörelser). Resultaten visade, till skillnad från sömnkvalitet utvärderat med frågeformulär, inget samband med bullernivå och inga skillnader mellan de två bullerkällorna. I en nyligen genomförd större socio-akustisk undersökning (1953 deltagande personer) av effekter av buller från väg- och tågtrafik i Lerums kommun (Öhrström *et al.*, 2005; 2007) framkom att omfattningen av sömnstörningar av buller (svårt att somna, väcks, sämre sömnkvalitet) var lika vid samma ljudnivå i L_{night} från tåg- respektive vägtrafik medan andelen som uppgav att de hindrades av att ha sovrumsfönster öppna nattetid var högre för vägtrafikbuller än för tågbuller. I laboratoriestudier av sömn (Griefahn *et al.*, 2006) påvisades större fysiologiska effekter på sömnen av tågbuller än av buller från vägtrafik och flyg medan inga skillnader mellan de olika trafikslagen förelåg för subjektiv sömnkvalitet.

En sammantagen bedömning (Öhrström & Skånberg, 2006) är att det mesta talar för att det finns skäl för en tågbonus när det gäller allmän störning och sömnstörningar, men inte för samtalsstörningar. I takt med den ökning av tågtrafiken som nu sker genom att nya järnvägslinjer byggs ut och godstrafiken utökas är det nödvändigt att nya studier genomförs. Det är väsentligt att belysa effekter

på störning, men även sömnstörningar och samtalsstörning behöver studeras för att ge säkrare underlag för att bedöma hälsoeffekter av tågbuller och om det ur miljömedicinsk synpunkt är rimligt med en bonus för tågtrafik.

2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med de experimentella undersökningarna var att studera subjektivt upplevda effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg samt att belysa om det finns en grund för att tillämpa högre riktvärden för buller för spårburen trafik än för vägtrafik.

Följande frågeställningar formulerades:

1. Hur påverkas insomning, uppvaknande och sömnkvalitet samt trötthet och sinnesstämning påföljande dag av exponering för buller från tåg- respektive vägtrafik med samma ekvivalenta ljudnivå nattetid kl. 23-07.

2. Hur påverkas insomning, uppvaknande och sömnkvalitet samt trötthet och sinnesstämning påföljande dag av exponering för buller från tåg- respektive vägtrafik med samma maximala ljudnivå nattetid kl. 23-07.

3. Hur störande för sömnen upplevs buller från tåg- respektive vägtrafik med samma ekvivalenta ljudnivå nattetid kl. 23-07.

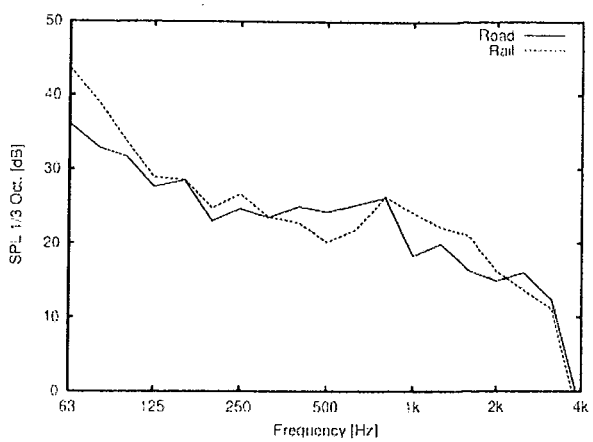
4. Hur störande för sömnen upplevs buller från tåg- respektive vägtrafik med samma maximala ljudnivå nattetid kl. 23-07.

3. METOD OCH MATERIAL

Den experimentella sömnstudien genomfördes i det nyuppförda ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. I studien deltog 18 personer som sov 5 nätter i en följd. Efter en tillvänjningsnatt följde en tyst referensnatt och därefter (randomiserad presentation under de 6 försöksserierna) en natt med tågbuller, en natt med vägtrafikbuller med samma L_{Aeq}-nivå samt en natt med vägtrafikbuller med samma L_{AFmax}-nivå som tågbullret. Effekter på sömnen utvärderades med hjälp av frågeformulär morgon och kväll. Studien genomfördes under våren 2007.

3.1 Exponeringsljud från tåg- och vägtrafik

Ljudinspelningar av tåg- och vägtrafik gjordes utomhus. Alla ljud har i ljudmiljölaboratoriets sovrum återgetts i mono och är baserade på ljud uppmätta kloss an fasad på den direkt exponerade sidan av bostaden. Ljuden har sedan filtrerats för att få samma spektrala karaktär som gäller inomhus. Filtrets mål har varit att efterlikna effekten av ett fönster som är lite öppet, och är baserat på skillnaden i spektrum inne och ute vid samma plats som inspelningarna av tågpassagerna. Samtliga ljudexponeringar motsvarar en situation med sovrumsfönstret lite på glänt (för detaljbeskrivningar av exponeringsljuden, se även Appendix 1: Ljudnivåer vid sömnexperiment).



Figur 1. Spektra över den ekvivalenta ljudtrycksnivåns frekvensfördelning (8 h) för tåg- respektive vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå.

Figur 1 visar att störst bidrag till den A-vägda ljudnivån fås mellan tersbanden 500-800 Hz för vägtrafiken och 800-2000 Hz för tågtrafiken. Vid stängt fönster kan tågbuller normalt reduceras upp till 5 dB mer än vägtrafikbuller på grund av den mer högfrekventa karaktären, men eftersom fasadreduktionsfiltret motsvarar ett fönster öppet på glänt är skillnaden i detta fall bara ca 0,5 dB.

Exponeringsljudens sammansättning och ljudnivå valdes dels för att möjliggöra jämförelser med tidigare experimentella sömnstudier med vägtrafikbuller med mellan 4 och 128 fordonspassager under natten och L_{Amax}-nivåer mellan 45 och 60 dB (Öhrström *et al.*, 1990; Öhrström, 1995), och dels för att möjliggöra jämförelser med undersökningarna i Lerum (Öhrström, 2004; Öhrström *et al.*, 2007). Proportionerna mellan de olika tågtyperna i tågljudet motsvarar tågtrafiken på Västra Stambanan (Lerum).

Under tillvänjningsnatten användes samma ljudexponering (men minskad med 5 dB) som under natt med vägtrafik med samma ekvivalenta ljudnivå som tågtrafiken och under den tysta referensnatten utgjordes exponeringen av ett svagt bakgrundsljud (se tabell 1 som visar ljudnivåer och antal bullerhändelser för de 5 nätterna under ett sömnexperiment). Ljudexponeringarna startades kl. 22.00 och pågick fram till kl. 08.00. I den fortsätta redovisningen av resultat redovisas ljudexponering enbart för sömnperioden, dvs. tiden från det att försökspersonerna släckte lampan tills de steg upp på morgonen (kl. 23.00 till 07.00). Benämningarna som anges inom parentes (**Tåg, VägLAeq, Vägmax**) används fortsättningsvis för de olika exponeringsnätterna.

Tabell 1. Ljudnivåer och antal bullerhändelser under olika exponeringsnätter.

	$L_{Aeq,23\text{-}07}$	$L_{Aeq,23\text{-}07}$ [1)]	Antal händelser 8h (kl. 23-07)	Antal händelser 10h (kl. 22-08)
Tågtrafik (**Tåg**)	31	54	46	69
Vägtrafik (**VägLAeq**)	31	50	369	714
Vägtrafik (**Vägmax**)	29	54	28	35
Tillvänjningsnatt	26	45	369	714
Tyst referensnatt (**Referens**)	25	26	-	-

[1)] *avser högsta ljudnivån för en eller flera bullerhändelser under 8h.*

Tabell 2. Fördelning för ekvivalent ljudnivå i intervall om två timmar under olika exponeringsnätter.

	L_{Aeq} 23-01	L_{Aeq} 01-03	L_{Aeq} 03-05	L_{Aeq} 05-07
Tågtrafik (**Tåg**)	32,0	30,3	30,5	31,3
Vägtrafik (**VägLAeq**)	33,4	28,7	26,6	33,0
Vägtrafik (**Vägmax**)	28,8	28,8	28,8	28,8

Tabell 2 och 3 visar de olika ljudexponeringarnas fördelning över 2-timmarsintervall under natten. Fördelningen över natten för såväl L_{Aeq}- som L_{AFmax}-nivåer är helt jämn under natt Vägmax och relativt lika fördelad under natt Tåg. Under natt VägLAeq är den ekvivalenta ljudnivån 4-6 dB lägre mellan kl 01-05 jämfört med i början och i slutet av natten.

Tabell 3. Fördelning för maximal ljudnivå i intervall om två timmar under olika exponeringsnätter.

	L_{AFmax} 23-01	L_{AFmax} 01-03	L_{AFmax} 03-05	L_{AFmax} 05-07
Tågtrafik (**Tåg**)	53,9	53,9	53,9	53,9
Vägtrafik (**VägLAeq**)	49,8	48,4	41,7	49,9
Vägtrafik (**Vägmax**)	54,1	54,1	54,1	54,1

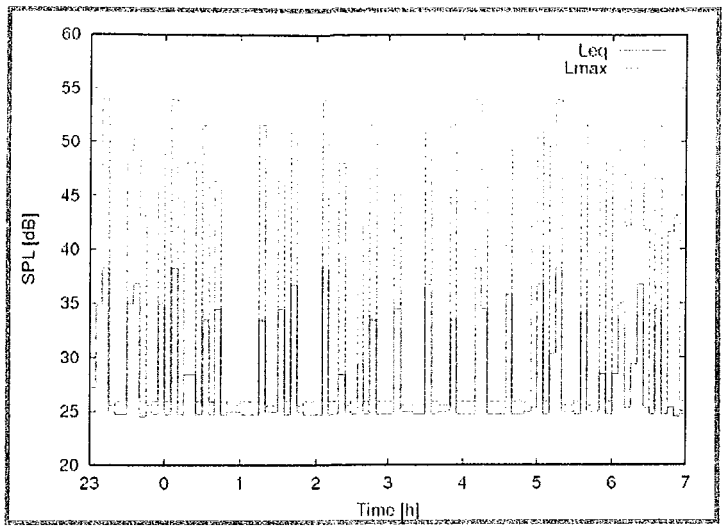
Tabell 4 visar i detalj L_{AFmax}-nivåer och fördelning av tågpassager under natten med tågexponering. Som framgår av tabell 4 hade fem av tågen en maximal ljudnivå på ca 54 dB (röd markering) och elva tåg hade en maximal ljudnivå på ca 50-51 dB (orange markering). Övriga tågpassager hade ljudnivåer mellan L_{Amax} 45 och 50 dB (20 st) respektive under 45 dB (10 st).

Tabell 4. Maximal ljudnivå och tidpunkt för alla händelser för tågtrafik (Tåg).

Kl. 23-01		**Kl. 01-03**		**Kl. 03-05**		**Kl. 05-07**	
Tid	L_{AFmax}	**Tid**	L_{AFmax}	**Tid**	L_{AFmax}	**Tid**	L_{AFmax}
23:04	46.0	01:18	51.5	03:09	46.4	05:03	50.9
23:05	41.8	01:30	46.4	03:30	50.9	05:10	49.6
23:06	46.4	01:42	50.9	03:54	51.5	05:14	41.8
23:14	53.9	02:08	53.9	04:11	53.9	05:18	53.9
23:32	49.2	02:21	48.0	04:17	46.4	05:36	51.5
23:38	41.6	02:38	49.6	04:35	49.2	05:37	43.1
23:39	50.9	02:46	51.5	04:39	48.0	05:51	48.0
23:42	43.1			04:57	42.1	06:02	48.0
23:57	49.2					06:05	49.2
00:09	53.9					06:10	42.1
00:18	48.0					06:17	49.6
00:24	48.0					06:24	50.9
00:32	51.5					06:29	41.8
00:43	46.4					06:36	46.0
						06:37	51.5
						06:49	41.6
						06:53	43.1

$L_{Aeq,23\text{-}07}$: 31 dB (25-38 dB)
L_{AFmax}: 54 dB (26-54 dB)

25 godståg (L_{AFmax}: 46,9-53,9 dB)
13 snabbtåg (L_{AFmax}: 41,6-49,6 dB)
8 pendeltåg (L_{AFmax}: 41,8-43,1 dB)



Figur 2. Ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå i 5-min intervaller för tågtrafik (Tåg), kl. 23-07.

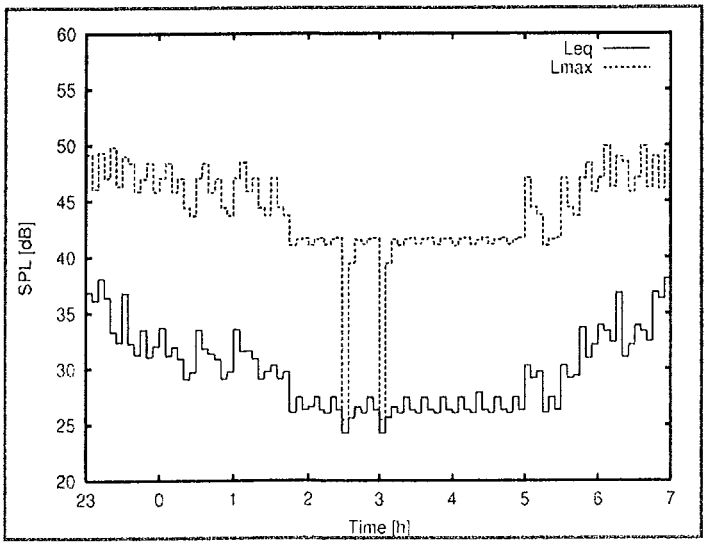
Figurerna 2-4 ger en mer detaljerad redovisning av ljudexponeringen under de tre exponeringsnätterna Tåg, VägLAeq samt Vägmax med fördelning i 5-minuters intervaller under natten samt antal buller-händelser, $L_{Aeq,23\text{-}07h}$ och L_{AFmax}.

Tågbullerexponeringens fördelning över 5-minutersintervall (figur 2) visar att L_{Aeq}-nivån (heldragna linjer) som lägst är 25 dB och som högst 38 dB medan L_{AFmax}-nivån (streckade linjer) för 5-minutersintervall varierar mellan 26 och 54 dB.

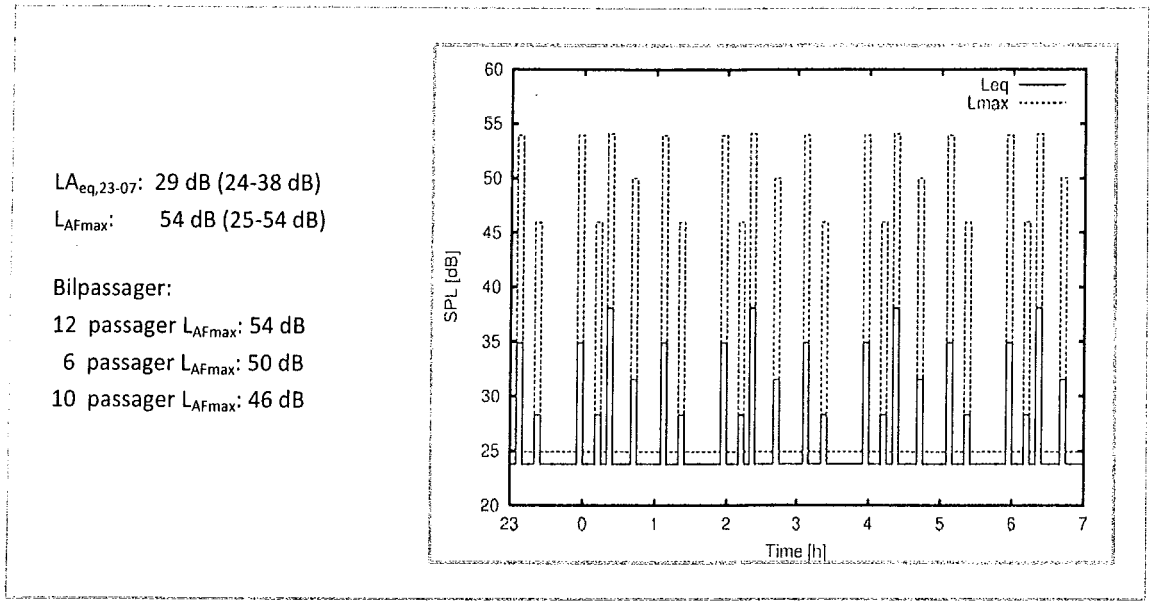
Exponeringsljudet med VägLAeq och dess fördelning över 5-minutersintervaller (figur 3) visar att L_{Aeq}-nivån (heldragna linjer) som lägst är 26 dB och som högst 38 dB medan L_{AFmax}-nivån (streckade linjer) för 5-minutersintervall varierar mellan 42 och 50 dB.

$L_{Aeq,23\text{-}07}$: 31 dB (26-38 dB)
L_{AFmax}: 50 dB (42-50 dB)

Ca 369 bilpassager



Figur 3. Ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå i 5-min intervaller för vägtrafik (VägLAeq), kl 23 – 07.

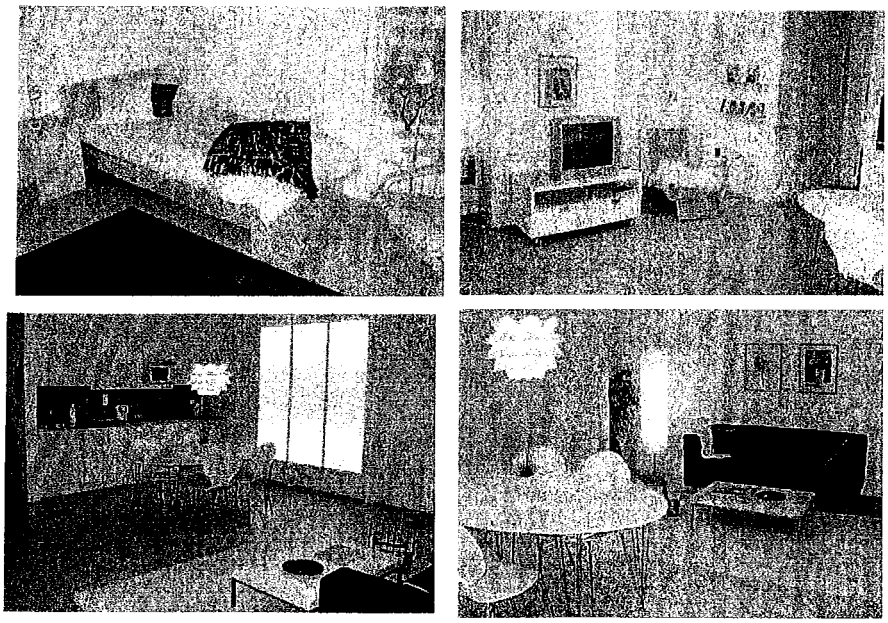


Figur 4. Ekvivalent och maximal ljudtrycksnivå i 5-min intervaller för vägtrafik (Vägmax), kl 23 – 07.

Exponeringsljudet med Vägmax och dess fördelning över 5-minutersintervaller (figur 4) visar att L_{Aeq}-nivån som lägst är 24 dB (heldragna linjer) och som högst 38 dB medan L_{AFmax}-nivån för 5-minutersintervall varierar mellan 25 och 54 dB (streckade linjer).

3.2 Försöksmiljö och utformning

Sömnstudien utfördes i det nya ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. Miljön i laboratoriet är utformad som en lägenhet och kan ändras på ett flexibelt sätt beroende på typ av studie som skall genomföras (se foton i figur 5 nedan).



Figur 5. Utformning av miljön i sovrum (vänster överst) och vardagsrum/kök (höger överst samt nederst) under sömnstudierna.

I ett nedre plan finns en separat ingång med hall, hygienutrymmen med dusch, ett större allrum som är möblerat som vardagsrum med TV och som även innehåller kök med möjlighet till matlagning. I ett övre plan finns ett större exponeringsrum samt tre separata rum där försökspersoner kan vistas och/eller sova under längre eller kortare perioder beroende på försöksupplägget.

Under de perioder som sömnstudien pågick hade försökspersonerna egen nyckel till "försökslägenheten" och kunde komma och gå som de ville på dagen, de måste dock anlända senast kl. 21 på kvällen. Under försöksperioden tilläts ingen alkoholkonsumtion och ingen sömn dagtid. Under en försöksperiod i sömnlaboratoriet deltog tre personer åt gången. Temperaturen i sovrummen anpassades efter försökspersonernas önskemål till ca 20 grader.

3.3 Utvärdering av effekter på sömnen

Utvärdering av sömnen i ljudmiljölaboratoriet gjordes med olika frågeformulär. Försökspersonerna besvarade även formulär om bullerkänslighet och om ljudmiljö och sömn i den egna hemmiljön.

3.3.1 Formulär som besvarades före sömnexperimentet

I samband med utförandet av ett hörseltest besvarades olika frågeformulär innehållande allmänna frågor om hemmiljön och ett formulär med frågor om bullerkänslighet. *De allmänna frågorna* behandlade: ålder, kön, bostad (boende i lägenhet/radhus/villa) samt upplevelse av hemmiljön ur bullersynpunkt (tyst – mycket bullrig). Även personrelaterade frågor om känslighet för damm/luftföroreningar och buller/ljud (inte alls känslig – mycket känslig), upplevelse av olika olägenhetskällor i hemmiljön samt frågor om sömn och sovvanor hemma ingick.

3.3.2 Formulär som besvarades under sömnexperimentet

Varje morgon inom 15 minuter efter uppvaknandet besvarade försökspersonerna ett formulär med frågor om svårigheter att somna, insomningstid, uppvaknanden, sömnkvalitet, kroppsrörelser, antal uppvaknanden och orsaker till detta samt hur de kände sig på morgonen med avseende på trötthet. Här ingick även en fråga om hur man bedömde nattens sömn jämfört med hur man brukar sova hemma, frågor om störningar av ljud/buller under natten samt en öppen fråga där försökspersonerna kunde ange eventuella synpunkter på nattens sömn. Ett frågeformulär om sinnesstämning vad gäller grad av aktivitet, extroversion, avspändhet, välbefinnande samt social orientering besvarades varje morgon.

Varje kväll inom 15 minuter före sänggående, besvarade försökspersonerna ett formulär med frågor avseende trötthet under dagen samt trötthet på kvällen. Här ingick även frågor om hur man känt sig under dagen med avseende på grad av trötthet, huvudvärk, koncentration, irritation, stress samt avspändhet. Dessutom besvarades frågeformuläret om sinnesstämning.

3.4 Försökspersoner

Studien omfattade 18 personer, 10 kvinnor och 8 män. Dessa var studerande i åldern 23-35 år med en genomsnittsålder av 26,8 år (sd = ± 4,3). Försökspersonerna valdes ut genom en första intresseanmälan uppsatt på olika högskoleinstitutioner och därefter utifrån ett hörseltest med audiometer. Uppfattning av toner mellan 125 och 8000 Hz vid högst 20 dBHL hörnivå sattes som kriterium för godkänd hörsel och krav för deltagande i sömnexperimentet. Ekonomisk ersättning för medverkan i studien betalades ut till försökspersonerna efter fullgjort deltagande.

Tabell 5. Experimentell design för sömnstudien.

Försöks-serie nr	Försöks-person nr	Natt 1 Tillvänjning	Natt 2 Tyst referens	Natt 3	Natt 4	Natt 5
1	Fp 1-3			Tåg	Vägmax	VägLAeq
2	Fp 4-6			Vägmax	VägLAeq	Tåg
3	Fp 7-9			VägLAeq	Tåg	Vägmax
4	Fp 10-12			Tåg	VägLAeq	Vägmax
5	Fp 13-15			Vägmax	Tåg	VägLAeq
6	Fp 16-18			VägLAeq	Vägmax	Tåg

3.5 Experimentell design

Experimentet omfattade 6 försöksserier där 3 personer deltog samtidigt (se tabell 5). Första natten är en tillvänjningsnatt då försökspersonen exponeras för vägtrafikbuller (VägLAeq minus 5 dB). Efter detta följer en tyst referensnatt (med svagt bakgrundsbrus 25 dB). Natt 3, 4 och 5 är exponeringsnätter med randomiserad presentation av de tre olika typerna av bullerexponering (Tåg, VägLAeq och Vägmax) under de 6 försöksserierna.

3.6 Statistisk bearbetning och redovisning av resultat

Data har analyserats med SPSS för Windows version 15.0.1. Variansanalys (upprepad mätning) och Wilcoxon Signed Ranks Test användes för att testa skillnader i effekter mellan nätter med olika bullerexponering. Samband mellan olika effekter, t.ex. upplevd sömnkvalitet och upplevd störning av ljud/buller under natten testades med Pearsons produktmomentkorrelationskoefficient (r). För statistiskt säkerställd signifikans valdes $p<0,05$. Tendens till skillnad anges då $p\geq0,05$ men $p<0,10$.

4 RESULTAT

4.1 Bakgrundsdata

Nästan alla försökspersoner (17 personer) bodde i lägenhet. En majoritet (67 %) bedömde sin hemmiljö som tyst eller ganska tyst, 28 % ansåg att hemmiljön var ganska bullrig och bara en person svarade att hemmiljön var mycket bullrig. De flesta märkte buller från vägtrafiken i sin hemmiljö men endast ett fåtal (4 personer) märkte eller stördes av tåg hemma. Flertalet av försökspersonerna (61 %) bedömde sig som "inte alls" eller "inte särskilt känslig" för buller/ljud medan 39 % karaktäriserade sig själva som "ganska känslig" för buller/ljud på den 4-gradiga bullerkänslighetsskalan. Alla försökspersoner sov ganska eller mycket bra i sin hemmiljö och endast 2 personer bedömde att det tog mer än 30 minuter att somna. Under sommarhalvåret brukade hälften av försökspersonerna sova med fönstret öppet (se även Appendix 2).

4.2 Insomningstid och svårighet att somna

Inga effektmått avseende insomningssvårighet eller insomningstid skilde sig signifikant åt mellan de olika exponeringsnätterna. Den genomsnittliga insomningstiden i minuter som försökspersonerna angav för de olika exponeringsnätterna var 20,1 (sd 18,7) för referensnatten, 20,6 (sd 13,5) för Tåg, 19,4 (sd 19,1) för VägLAeq och 21,6 (sd 19,4) minuter för Vägmax.

Tabell 6 . Insomningstid och svårighet att somna för olika exponeringsnätter.

	Referens	Tåg	VägLAeq	Vägmax
Svårt att somna (%)				
Inte alls	33,3	27,8	50,0	44,4
Inte särskilt	44,4	50,0	27,8	22,2
Ganska och mycket	22,3	22,3	22,3	33,3
Insomningstid (%)				
< 15 minuter	55,6	33,3	61,1	44,4
15-30 minuter	16,7	50,0	16,7	33,3
30-60 minuter och > 60 minuter	27,8	16,7	22,3	22,3

Av tabell 6 framgår att 22 % hade ganska eller mycket svårt att somna under alla nätter med undantag för Vägmax då 33 % hade insomningssvårigheter. En majoritet (över 70 %) uppskattade att de somnat inom 30 minuter under de olika exponeringsnätterna.

4.2.1 Insomning i relation till ljudnivåer kl. 23-01

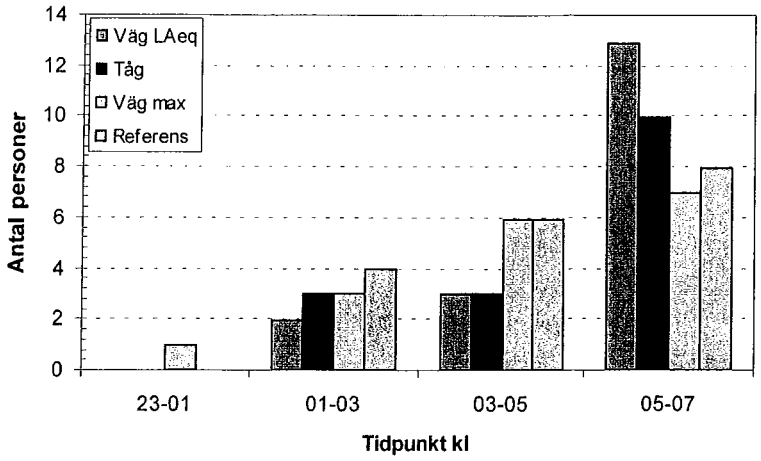
Ljudnivån under den tidiga delen av natten är avgörande för insomning. En högre andel (61 %) angav kortare insomningstid än 15 minuter under exponeringsnatten med VägLAeq. Denna exponeringsnatt hade lägst maximal ljudnivå ($L_{AFmax,23\text{-}01}$ =49,8 dB) under den första 2-timmars-perioden av natten (se tabell 3) och ingen fordonspassage överskred L_{AFmax} 50 dB under den första timmen (se figur 3).

4.3 Vakenhet och uppvaknanden på grund av buller

Ett litet fåtal (2-3 personer) angav att de inte vaknade någon gång under någon av nätterna. Det genomsnittliga antalet uppvaknanden under natten varierade mellan 1,3 (VägLAeq) och 2,2 (Tåg) under de olika exponeringsnätterna (tabell 7). Test med variansanalys visade att antalet uppvaknanden under natt Tåg var signifikant fler än under natt VägLAeq (medelvärdesdifferens = 0,889, $p<0,05$) samt än under natt med Vägmax (medelvärdesdifferens = 0,722, $p<0,05$). Det förelåg en tendens till fler uppvaknanden under natt Tåg jämfört med under referensnatten (medelvärdesdifferens = 0,611, $p=0,06$).

Tabell 7. Uppvaknanden under olika exponeringsnätter.

	Referens	Tåg	Väg LAeq	Vägmax
Antal uppvaknande under natten medelvärde (*sd*)	1,6 *(1,09)*	2,2 *(1,52)*	1,3 *(0,84)*	1,5 *(1,25)*
Andel som inte vaknade någon gång under natten (%)	11	11	11	17
Andel som minns under vilken tidsperiod de vaknat (%)	72	56	78	72



Figur 6. Antal personer som angett att de vaknade under olika tidsperioder på natten uppdelat efter typ av bullerexponeringsnatt.

4.3.1 Uppvaknanden vid olika tidpunkt i relation till ljudnivå i 2-timmarsintervall

En majoritet (56-72 %) angav att de kom ihåg när de vaknade på natten (tabell 7 och figur 6). Antalet personer som vaknade ökade under den senare delen av natten oavsett typ av exponering, t.ex. vaknade 13 personer av vägtrafikbuller (VägLAeq) kl. 05-07 jämfört med 3 personer kl. 03-05. Detta är förväntat eftersom andelen djupsömn är högre under den första hälften av sömnperioden för att därefter successivt minska.

Under den tysta referensnatten förekom inga uppvaknanden kl. 23-01 medan närmare hälften av försökspersonerna angav att de vaknat kl. 05-07. En likartad fördelning av uppvaknanden finns för natt Vägmax. Under denna exponeringsnatt är den ekvivalenta ljudnivån (och maximalnivån) lika under de fyra 2-timmarsperioderna (se tabell 2 och 3). Såväl Tåg som VägLAeq har högre ljudnivåer under den sista (och första) 2-timmars-perioden, vilket förklarar den större ökningen av antalet personer som vaknat under perioden kl. 05-07 under dessa nätter.

4.4 Sömnkvalitet, trötthet och sinnesstämning

Upplevd sömnkvalitet har ett starkt samband med såväl svårighet att somna som uppvaknanden under natten och även med hur utvilad man känner sig på morgonen. Sömnkvalitet och upplevd trötthet på morgon, dag och kväll efter respektive exponeringsnatt mättes med flera olika frågor (5-gradig verbal kategoriskala respektive numerisk skala 0-10). Hur orolig sömnen varit mättes med en numerisk skala 0-10. Resultaten för sömnkvalitet och trötthet visas i tabell 8.

Tabell 8. Sömnkvalitet och trötthet efter olika exponeringsnätter.

	Referens	Tåg	VägLAeq	Vägmax
Sömnkvalitet (%)				
Mycket dåligt/ dåligt/inte särskilt bra	19	22	6	17
Ganska bra	44	50	59	61
Mycket bra	39	28	35	22
Sömnkvalitet (medelvärde, *sd*) (0 = mycket dåligt, 10 = mycket bra)	7,6 *(1,54)*	6,9 *(2,14)*	7,4 *(1,62)*	7,2 *(1,83)*
Kroppsrörelser (medelvärde, *sd*) (0 = låg nästan helt stilla, 10 = låg och vred mig hela natten)	3,3 *(1,81)*	3,6 *(2,28)*	3,1*(1,71)*	3,6 *(1,69)*
Trött – pigg morgon (%)				
Mycket trött, trött eller ganska trött	44	56	50	50
Ganska pigg och utvilad	56	39	44	33
Mycket pigg och utvilad	0	6	6	17
Trött - pigg (medelvärde, *sd*) (0 = mycket trött, 10 = pigg och utvilad)				
Morgon efter	6,1 *(1,68)*	5,4 *(2,48)*	5,9 *(2,19)*	5,9 *(2,24)*
Dag efter	6,8 *(1,90)*	6,1 *(2,53)*	5,4 *(2,48)*	5,8 *(2,67)*
Kväll efter	4,4 *(2,09)*	3,6 *(1,72)*	4,0 *(2,33)*	3,9 *(1,94)*

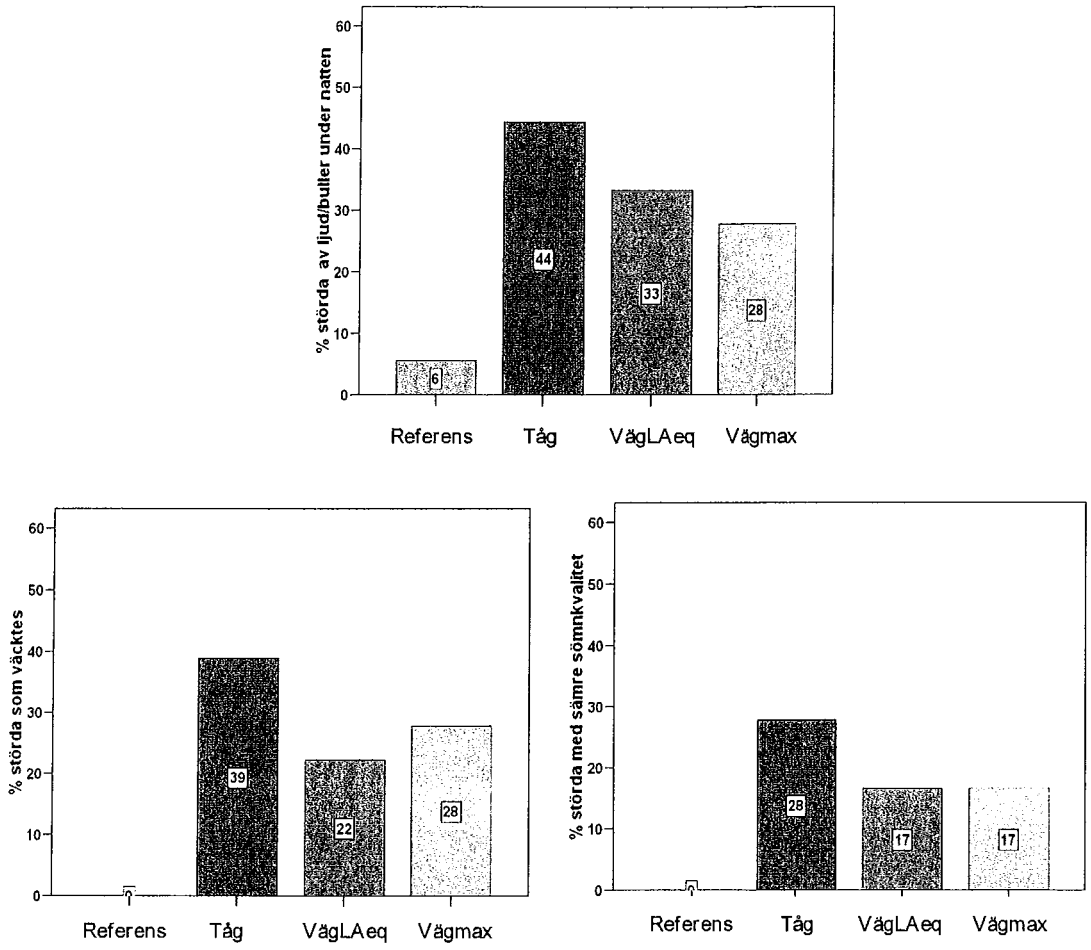
Andelen försökspersoner som sov mycket bra var högst efter referensnatten följt av VägLAeq (39 respektive 35 %). Detta var även fallet för sömnkvalitet mätt med numerisk skala (medelvärde 7,6 respektive 7,4) samt hur mycket man rört sig under sömnen (medelvärde 3,3 respektive 3,1). Minskningen i sömnkvalitet jämfört med referensnatten (skala 0-10) var 11 % för tåg, 5 % för Vägmax och 3 % för VägLAeq.

Trötthet under morgon, dag samt kväll efter de olika exponeringsnätterna var något mindre efter den tysta referensnatten (medelvärde 6,1, 6,8 respektive 4,4) jämfört med efter övriga nätter. Ökningen i trötthet jämfört med efter den tysta referensnatten var störst under dagen och kvällen efter respektive exponeringsnatt (ca 10-20 % ökning i trötthet). Skillnaderna var inte signifikanta (variansanalys) men det förelåg en tendens till högre trötthet under dagen efter natt med VägLAeq jämfört med efter referensnatten (medelvärde 5,4 respektive 6,8, p=0,07).

För sinnesstämning (aktivitet, extroversion, avspändhet, välbefinnande och social orientering) morgon efter respektive kväll efter de olika nätterna framkom inga olikheter mellan olika exponeringsnätter (se Appendix 3).

4.5 Störning av ljud/buller under natten

Försökspersonerna fick även svara på frågor om de stördes på något sätt av ljud/buller under natten (störning, svårt somna, väcktes respektive sämre sömnkvalitet) med en 5-gradig verbal kategoriskala ("stördes inte alls" till "stördes oerhört mycket"). Resultaten redovisas i figur 7 a-c samt i tabell 9.
En något högre andel angav att de stördes ganska eller mycket av tågbuller (44 %) jämfört med av VägLAeq och Vägmax (33 respektive 28 %). Samma förhållande gällde för väcktes och sämre sömnkvalitet.



Figur 7. Andel (%) som stördes av ljud/buller under referensnatt och under olika exponeringsnätter; stördes av ljud/buller (a), väcktes av buller ljud/buller (b) och fick sämre sömnkvalitet av ljud/buller (c).

Andelen som angav att de hade ganska eller mycket svårt att somna p.g.a. ljud/buller var lika under de tre exponeringsnätterna (28 %). En person uppgav störning och svårt att somna p.g.a. ljud under den tysta referensnatten (tabell 9).

Tabell 9. Störning av ljud/buller under de olika nätterna.

	Referens	Tåg	VägLAeq	Vägmax
Stördes av ljud/buller under natten (%)				
Inte alls	78	33	33	44
Inte särskilt mycket	17	22	33	28
Ganska mycket eller mycket	6	44	33	28
Svårt att somna p.g.a. ljud/buller (%)				
Inte alls	72	44	50	61
Inte särskilt mycket	22	28	22	11
Ganska mycket eller mycket	6	28	28	28
Väcktes p.g.a. av ljud/buller (%)				
Inte alls	94	39	50	56
Inte särskilt mycket	6	22	28	17
Ganska mycket eller mycket	0	39	22	28
Sämre sömnkvalitet p.g.a. ljud/buller (%)				
Inte alls	78	39	50	61
Inte särskilt mycket	22	33	33	22
Ganska mycket eller mycket	0	28	17	17

Skillnader i medelvärden på den 5-gradiga kategoriskalan för de 4 olika variablerna mellan olika exponeringsnätter testades med variansanalys med justering för multipla jämförelser. Denna analys visade signifikanta skillnader mellan den tysta referensnatten och natt Tåg samt natt VägLAeq för samtliga fyra variabler (p-värden mellan p=0,046 och p<0,001).

För Vägmax förelåg signifikanta skillnader jämfört med referensnatten för stördes av ljud/buller under natten (p=0,02) samt väcktes p.g.a. ljud/buller (p=0,006) samt en tendens till skillnad för sämre sömnkvalitet p.g.a. ljud/buller (p=0,09).

Det förelåg inga signifikanta skillnader mellan de tre exponeringsnätterna med vägtrafik och tågbuller för någon variabel.

4.6 Samband mellan sömnkvalitet och störning av ljud/buller

Det förelåg ett signifikant samband (r, p<0,001) mellan upplevd sömnkvalitet (tabell 8) och upplevd störning av ljud/buller under natten (tabell 9). Under natt med VägLAeq samt under natt med Vägmax var sambandet r=0,68 och under natt med Tåg var sambandet r=0,71. Detta innebär att störning av vägtrafikbuller förklarar 46 % av variansen (r^2) i sömnkvalitet under respektive vägtrafiknätter och att störning av tågbuller förklarar 50 % av variansen i sömnkvalitet under tågnätter.

5. KOMMENTARER

Resultaten visar att påverkan på sömnen överlag inte skiljer sig åt mellan nätter med tågbuller och nätter med vägtrafikbuller med samma maximalnivå respektive nätter med vägtrafikbuller med samma ekvivalenta ljudnivå som tågbullret. Det förelåg inga signifikanta skillnader i insomningssvårigheter, sömnkvalitet eller angiven störning av buller mellan de olika exponeringsnätterna. Minskningen i sömnkvalitet jämfört med referensnatten (skala 0-10) var relativt liten: -11 % för tåg, -5 % för Vägmax och -3 % för VägLAeq. Antalet uppvaknanden var dock något fler under nätter med tågbuller, i medeltal 2,2 uppvaknanden per natt jämfört med under nätter med vägtrafikbuller (1,5 för Vägmax respektive 1,3 uppvaknanden i medeltal för VägLAeq, p=0,03).

I tidigare experimentella sömnstudier i laboratoriet (Öhrström *et al.*, 1990; Öhrström 1995) studerades effekter av vägtrafikbuller med olika L_{AFmax}-nivå (45-60 dB) och olika antal fordonspassager (4-128). I dessa försöksserier var försämringen i sömnkvalitet jämfört med tysta referensnätter likartad, i genomsnitt 12 %. Försämringen var störst för exponeringsnätter med 16 fordonspassager med L_{AFmax} på 60 dB (-29 %) och lägst vid 16 respektive 64 fordonspassager med L_{AFmax} på 45 dB (-6 %). Antalet uppvaknanden var i de tidigare försöksserierna i genomsnitt 1,9 per natt (variation 1,1-3,1), dvs. i samma storleksordning som i denna studie.

De personer som deltog i denna studie var alla unga friska personer med normal hörsel och resultaten från studien kan därför inte direkt överföras till att gälla för allmänbefolkningen och för hemförhållanden. Den bullerexponering som användes motsvarar nivåer med öppet fönster på glänt, vilket är vanligt förekommande såvida ljudnivån från trafik inte är för hög och är därför i detta avseende jämförbar med naturliga förhållanden i fält med fönstret lite öppet. Undersökningar har visat att ljudnivån från vägtrafik utanför sovrumsfönstret har stor inverkan på i vilken omfattning man har fönstret öppet. Andelen personer som sover med fönstret öppet minskar med ökande ljudnivå, från 80 % vid nivåer under L_{night} 47 dB till ca 50 % vid nivåer på L_{night} 57 dB och högre (t.ex. Öhrström *et al.*, 2006). I experimentet användes ett frekvensfilter varför skillnaden i ljudnivå mellan tåg och vägtrafik endast var ca 0,5 dB. Vid en situation i hemmiljö med fönstret öppet på glänt skulle skillnaden i ljudnivå mellan trafikslagen vara densamma (ca 0,5 dB) medan i en situation med fönstret stängt och samma utomhusljudnivå för vägtrafik och tåg skulle inomhusljudnivån vara ca 5 dB lägre för tåg än för vägtrafikbuller. Designen av dessa experiment innebär därmed att jämförelser med resultat från fältstudier blir mer relevanta eftersom många sover med fönstret på glänt, jämfört med laboratorieexperiment där ingen förändring gjorts av frekvensspektrat med hänsynstagande till skillnaden i fönsterdämpning för de två typerna av buller.

Vid en genomgång av litteraturen (Öhrström & Skånberg, 2006) konstaterades att samtliga fältstudier visar att vägtrafikbuller påverkar sömnen i större grad än tågbuller. Resultaten från den svenska studien i Lerum, (Öhrström *et al.*, 2005) utgör ett undantag. Störningar av sömn (svårt att somna, uppvaknanden och sämre sömnkvalitet) var ungefär lika vanliga vid tågbuller- som vid vägtrafikbullerexponering vid samma ljudnivå (angiven som L_{night} utanför mest exponerad fasad) medan en något högre andel angav att de inte kunde ha sovrumsfönstret öppet p.g.a. buller från vägtrafik. Miedema och Vos (2007) redovisar reviderade metaanalyser av samband mellan buller från vägtrafik, tåg och flyg och samband med självrapporterade sömnstörningar baserade på sammanslagna data med totalt 22 771 personer från 24 sömnstudier i fält publicerade mellan 1971 och 2004. Bullernivåerna i de olika studierna varierar mellan L_{night} 45-65 dB utomhus vid mest exponerad fasad. Resultaten pekar i samma riktning som EU:s position paper (2004) om sömnstörningar och buller, dvs. att vägtrafikbuller orsakar mer sömnstörningar än tågbuller med samma ljudnivå (utomhusnivå). Författarna påpekar att de skattade sambandsfunktionerna mellan sömnstörning och ljudnivå kan

förbättras om ljudnivån utanför sovrumsfönster och skillnaden mellan ljudnivå utomhus och inomhus i sovrum kan fastställas. En förbättrad skattning av bullerorsakade sömnstörningar kan även erhållas om ljudnivån i början på natten (med tanke på insomningssvårighet) och ljudnivån under senare delen av natten (för tidigt uppvaknande) är känd liksom maximal ljudnivå och ljudnivån under de tystaste perioderna under natten.

Resultaten från föreliggande studie visar något fler uppvaknanden i medeltal per natt av tågbuller än av vägtrafikbuller, men i övrigt inga signifikanta skillnader i subjektivt upplevda sömnstörningar mellan tåg- och vägtrafikbuller vid samma ljudnivå inomhus och med ljudnivåer motsvarande en situation med fönstret öppet på glänt. Dessa resultat står delvis i motsättning till den senaste metaanalysen (2007) av samband mellan subjektivt upplevda sömnstörningar och buller från olika trafikslag vilken visar att tågbuller ger upphov till mindre störningar av sömnen än vägtrafikbuller.

6. REFERENSER

Babisch, W. (2006). Transportation noise and cardiovascular risk: Updated Review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise & Health*, 2006, 8, 1-29.

EU (2002). Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance. EU's Future Noise Policy, WG2 – Dose/Effect. European Communities, 2002. ISBN 92-894-3894-0.

EU (2004). Position paper on dose-effect relationships for night time noise, 11 Nov 2004. European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects.

Griefahn, B., Marks, A. & Robens, S. (2006). Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 295, 129-140.

Miedema, H.M.E. & Oudshoorn, C. (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109, 409-16.

Miedema, H.M.E. & Vos, H. (2007). Associations between self-reported sleep disturbance and environmental noise based on reanalyses of pooled data from 24 studies. *Behavioral Sleep Medicine*, 5, 1-20.

Moehler, U., Liepert, M., Schuemer, R. & Griefahn, B. (2000). Differences between railway and road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 231, 853-864.

Schreckenberg, D. & Meis, M. (2007). *Effects of Aircraft Noise on Noise Annoyance and Quality of Life around Frankfurt Airport.* Regional Dialogue Forum Frankfurt Airport, D-64625 Bensheim. Report February 2007.

Öhrström, E. (1995). Effects of low levels from road traffic noise during night – a laboratory study on number of noise events, maximum noise levels and noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration*, 179, 603-615.

Öhrström, E. (2004). Samhällsbuller – Omfattning, hälsoeffekter och bedömning. I *Miljökonsekvens-beskrivning och hälsa – Några föroreningskällor – beskrivning och riskbedömning*. Socialstyrelsen 2004. ISBN 91-7201-866-6. Tryck: Bergslagens grafiska, Lindesberg, juni 2004.

Öhrström, E., Barregård, B., Andersson, E., Skånberg, A., Svensson, H., & Ängerheim, P. (2007). Annoyance due to single and combined exposure from railway and road traffic noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, 122, 2642-2652.

Öhrström, E., Barregård, L., Skånberg, A., Svensson, H., Ängerheim, P., Holmes, M. & Bonde, E. (2005). Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tåg och flyg i Lerums kommun. Rapport Avdelningen för Miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet och Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum (VMC). ISSN 1400-5808, ISRN GU-MMED-R-2005/1 SE.

Öhrström, E., Björkman, M. & Rylander, R. (1990). Effects of noise during sleep with reference to noise sensitivity and habituation: studies in laboratory and field. *Environment International,* 16, 477-482.

Öhrström, E. & Skånberg, A. (2006). Litteraturstudie – Effekter avseende buller och vibrationer från tåg- och vägtrafik. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. Rapport 112, 2006. ISSN 1650-4321, ISBN 91-7876-111-5.

Öhrström, E., Skånberg, Svensson, H., & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2006). Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness. *Journal of Sound and Vibration*, 295, 40-59.

Appendix

1. Ljudnivåer vid sömnexperiment. Rapport 2008-01-29
2. Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön
3. Sinnesstämning morgon respektive kväll efter olika exponeringsnätter

Appendix 1

Ljudnivåer vid sömnexperiment

Mikael Ögren, tekn.dr

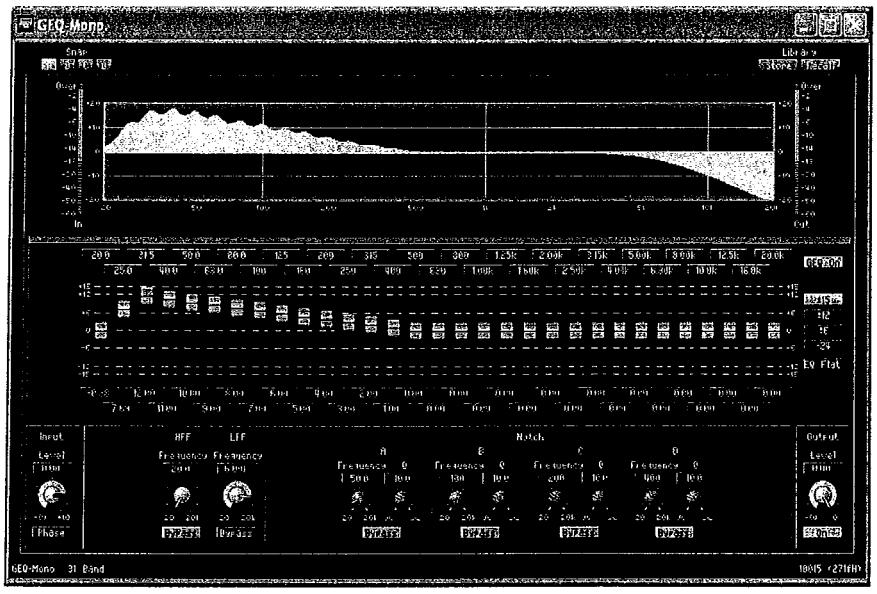
Rapport 2008-01-29

Inledning

Alla ljud har återgetts i mono och är baserade på ljud uppmätta kloss an fasad på den direkt exponerade sidan. Ljuden har sedan filtrerats för att få samma spektrala karaktär som gäller inomhus. Inspelningar gjorda inomhus har inte använts för att undvika rumsakustiska effekter (eko och efterklang) som vid preliminära provlyssningar visade sig stämma dåligt med dimensioner och karaktär i försöksrummen.

Filter för fasadreduktion

Filtrets mål är att efterlikna effekten av ett fönster som är lite öppet och är baserat på skillnaden i spektrum inne och ute vid samma plats som inspelningarna av tågpassagerna. Effekter av rumsresonanser medelvärdesbildades med näraliggande tersband och filtret valdes ganska enkelt för att enkelt gå att återskapa. I tersbanden under 500 Hz ökades förstärkningen med 1 dB per tersband, vilket ger samma filterflank (lutning) som för rosa brus. Filtret realiserades som en bank med tersbandsfilter varför rippel i storleksordningen 1 dB förekommer. Över 500 Hz valdes filtret som ett första ordningens lågpassfilter med -3 dB vid 6 kHz. Figur A1 visar hur det resulterande filtret ser ut i den digitala mixern som användes vid försöken (Yamaha DME 24).

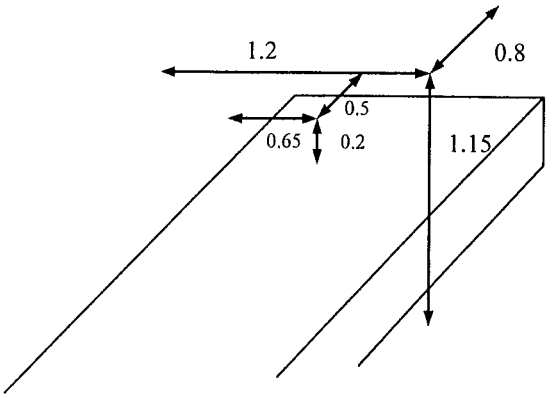


Figur A1. Filter för fasad- och fönsterreduktion i DME Designer.

Mätpositioner

Alla mätningar är energimedelvärdet över två positioner; en position 10 cm över kudden (ca 20 cm över sängen) och en position 1,15 m över golvet (se skissen i figur A2). Det A-vägda värdet skiljer mindre än 1 dB mellan de båda punkterna, men i enskilda frekvensband skiljer det mer.

Den A-vägda maxnivå är 0-0,5 dB lägre än det maximala värdet sett som maximum av båda mikrofonpositionerna, som för nästan alla tåg- och bilpassager inträffar i den högre positionen. I något enstaka fall inträffar den maximala nivån i den lägre positionen beroende på att rumsresonanser råkar förstärka ett dominerande tersband.



Figur A2. Mätpositioner i förhållande till säng.

Simulerade trafikmängder

De simulerade trafikmängderna presenteras nedan i tabell A1 och A2, både för perioden 22-08 och 23-07.

Tabell A1. Tågtrafik

	8h 23-07	10h 22-08
Godståg	25	32
Pendeltåg	13	14
Snabbtåg	8	23
Totalt	46	69

Tabell A2. Vägtrafik

	8h 23-07	10h 22-08
Vägtrafik (VägLAeq)	369	714
Vägtrafik (Vägmax)	28	35

Resultat

I tabell A3 presenteras de uppmätta ljudnivåerna tillsammans med totala antalet händelser under respektive tidsperiod. De ekvivalenta och maximala nivåerna i intervall om två timmar presenteras i tabell A4 och A5.

Mätningarna genomfördes med instrument av typ 1, vilket innebär att mätosäkerheten är maximalt 1 dB för de A-vägda nivåerna. Dessutom varierar värdena i de olika rummen och över tiden slumpmässigt, och dessa variationer bestämdes med hjälp av upprepade kalibreringar och kontrollmätningar till mindre än ±1 dB från nominellt värde.

Tabell A3. Maximal och ekvivalent nivå samt antalet händelser

	$L_{Aeq,8h}$	$L_{AFmax,8h}$	Antal händelser 8h	Antal händelser 10h
Tågtrafik (Tåg)	31,1	53,9	46	69
Vägtrafik (VägLAeq)	31,3	49,9	369	714
Vägtrafik (Vägmax)	28,8	54,1	28	35
Tillvänjningsnatt	26,3	44,9	369	714
Tyst natt	25,0	26,1	-	-

Tabell A4. Ekvivalent nivå i intervall om två timmar

	L_{Aeq} 23-01	L_{Aeq} 01-03	L_{Aeq} 03-05	L_{Aeq} 05-07
Tågtrafik (Tåg)	32,0	30,3	30,5	31,3
Vägtrafik (VägLAeq)	33,4	28,7	26,6	33,0
Vägtrafik (Vägmax)	28,8	28,8	28,8	28,8
Tillvänjningsnatt	28,4	23,7	21,6	28,0
Tyst natt	25,0	25,0	25,0	25,0

Tabell A5. Maximal nivå i intervall om två timmar

	L_{AFmax} 23-01	L_{AFmax} 01-03	L_{AFmax} 03-05	L_{AFmax} 05-07
Tågtrafik (Tåg)	53,9	53,9	53,9	53,9
Vägtrafik (VägLAeq)	49,8	48,4	41,7	49,9
Vägtrafik (Vägmax)	54,1	54,1	54,1	54,1
Tillvänjningsnatt	44,8	43,4	36,7	44,9
Tyst natt	26,1	26,1	26,1	26,1

Tabell A6 visar tidpunkt, tågtyp och maximal ljudnivå för alla tågpassager. T_{35} är tiden i sekunder som ljudnivån överskrider 35 dB för varje passage. Färgade rader indikerar de som är under sömnperioden (23-07), med växlande färg för varje timma.

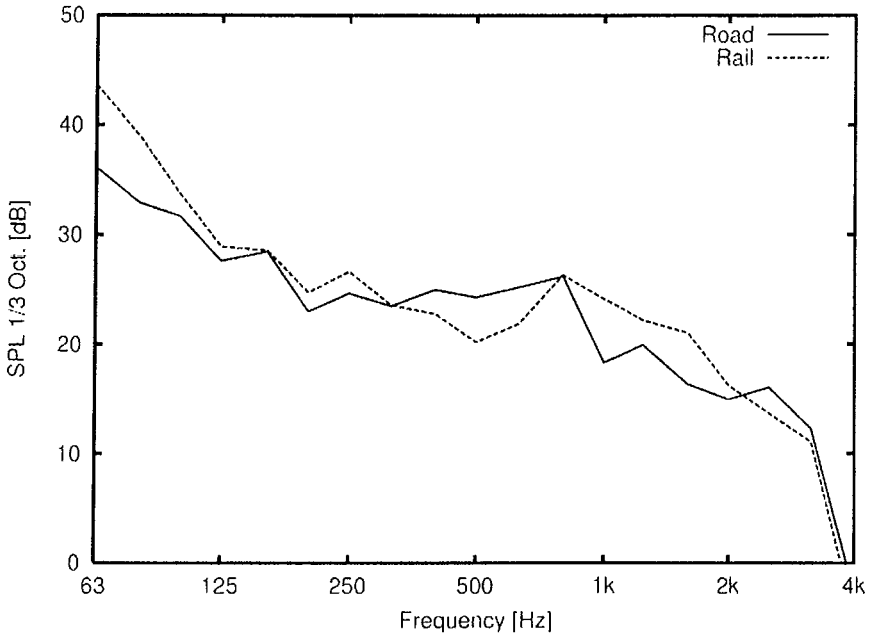
Tabell A6. Maximal nivå och tid för alla händelser för tågtrafik

Spektrum

Spektra i figur A3 beskriver den ekvivalenta nivåns frekvensfördelning (8h). Störst bidrag till den A-vägda nivån fås mellan tersbanden 500-800 Hz för vägtrafiken (heldragen linje) och 800-2000 Hz för tågtrafiken (streckad linje). Vid stängt fönster kan tågbuller normalt reduceras upp till 5 dB mer på grund av den mer högfrekventa karaktären, men eftersom fasadreduktionsfiltret motsvarar ett öppet fönster är skillnaden i detta fall bara ca 0,5 dB.

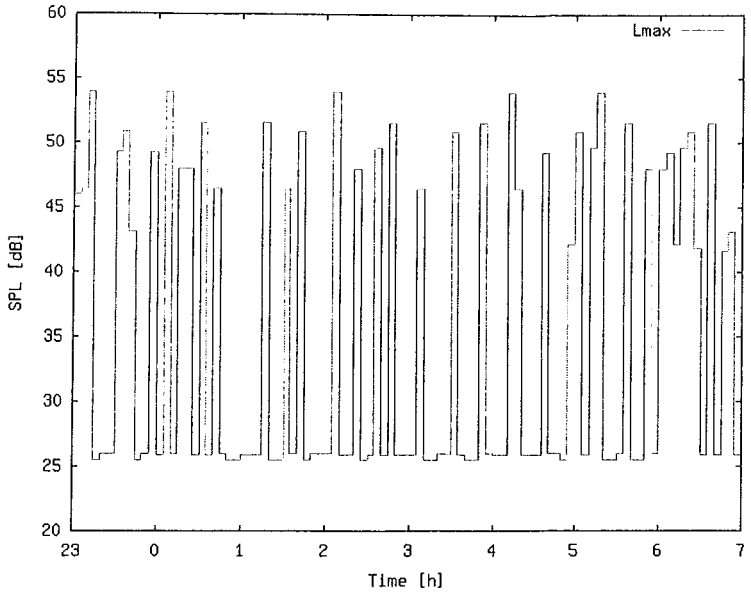
Spektrat är inte korrekt över 3,15 kHz eftersom en samplingsfrekvens på 8 kHz användes istället för normala 48 kHz för att göra mätfiler på upp till 10 h hanterbara i storlek. Frekvenser över 3,15 kHz bidrar inte till den A-vägda nivån på grund av lågpassfiltret i fasadreduktionsfiltret.

Spektrum för ljudfilen med samma maximala nivå som tågtrafiken (Vägmax) är snarlikt det som presenteras nedan, vilket gäller för vägtrafikljudet med samma ekvivalenta nivå som tågtrafiken (VägLAeq).

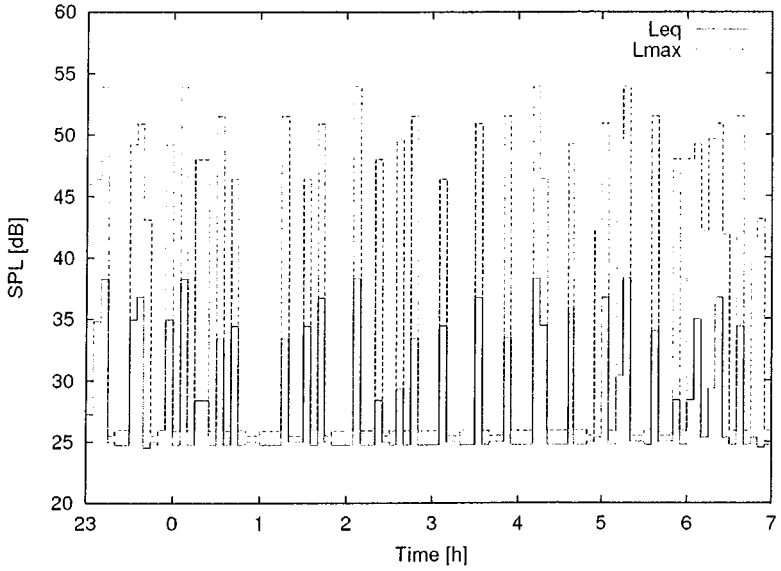


Figur A3. Spektra över den ekvivalenta ljudtrycksnivåns frekvensfördelning (8 h) för vägtrafikbuller (heldragen linje) respektive tågbuller (streckad linje) med samma ekvivalenta ljudnivå.

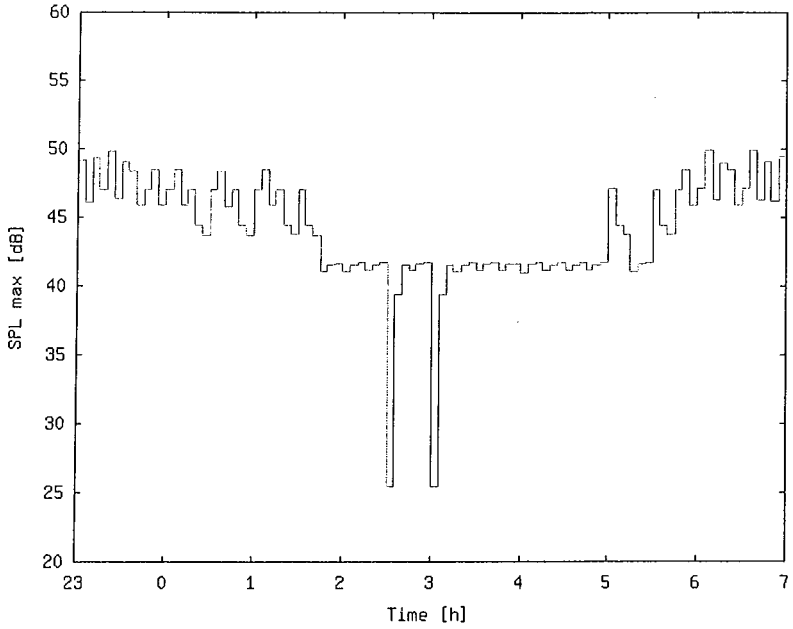
Figur A4-A9 visar maximal och ekvivalent ljudnivå i intervaller om 5 minuter för de olika exponeringssituationerna. Figur A4, A6 och A8 visar endast maximal nivå. När maximalnivån är ner emot 25 dB så betyder det att inga passager skedde under denna tidsperiod. Detta är vanligt för tågtrafiken och vägtrafik med få passager, men för VägLAeq sker det endast i två femminutersperioder.



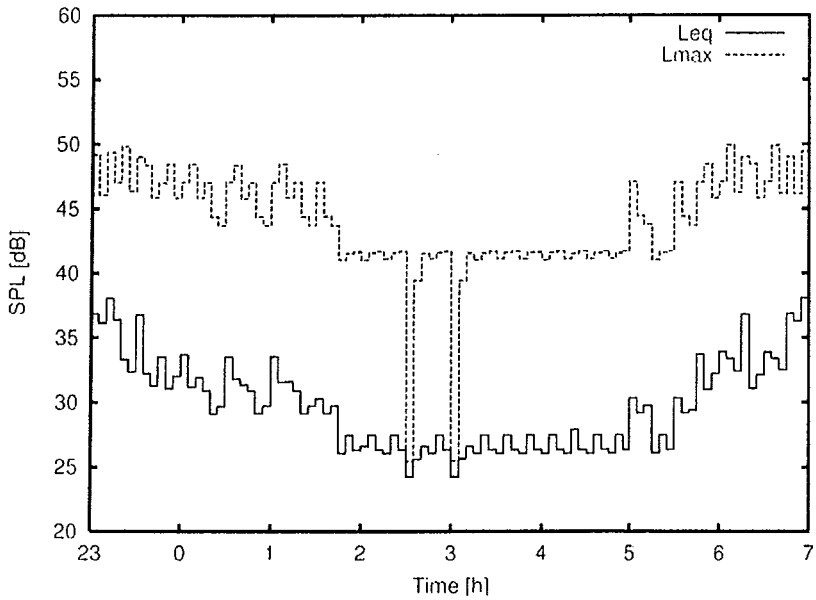
Figur A4. Maximal ljudnivå i 5-min intervaller för tågtrafik, 23-07.



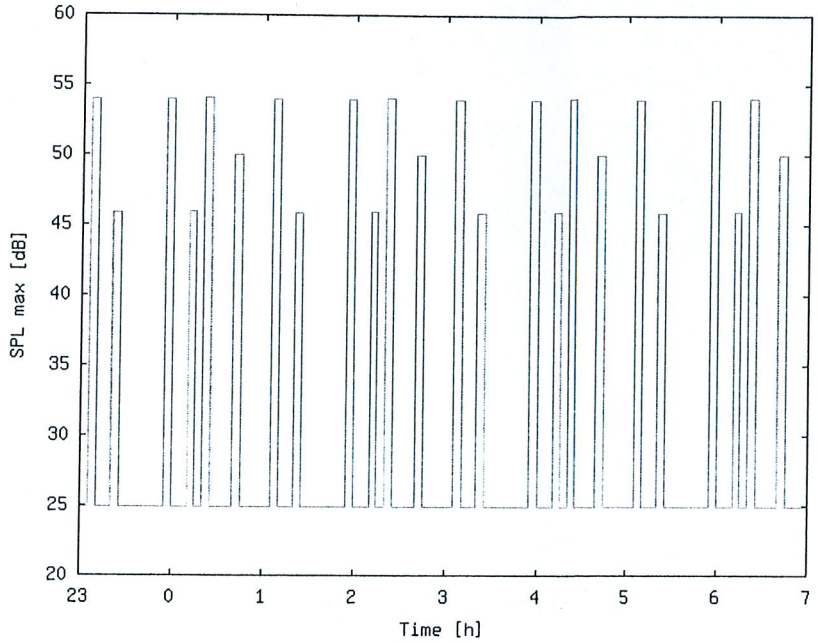
Figur A5. Ekvivalent och maximal ljudnivå i 5-min intervaller för tågtrafik, 23-07.



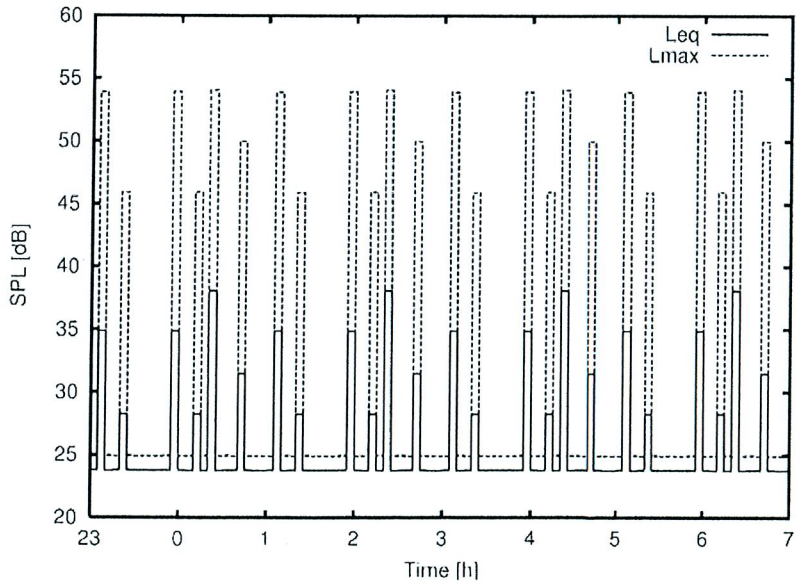
Figur A6. Maximal ljudnivå i 5-min intervaller för VägLAeq, 23-07.



Figur A7. Ekvivalent och maximal ljudnivå i 5-min intervaller för VägLAeq, 23-07.



Figur A8. Maximal ljudnivå i 5-min intervaller för Vägmax, 23-07.



Figur A9. Ekvivalent och maximal ljudnivå i 5-min intervaller för Vägmax, 23-07.

Appendix 2

Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön

Tabell A1-A3 visar enkätsvar för sömn och sömnstörningar i hemmiljön.

Tabell A1. Andel personer (%) som anger svårigheter att somna samt insomningstid hemma.

Insomning hemma	*Sällan/ aldrig*	*Några gånger i månaden*	*Någon gång i veckan*	*Nästan varje dag*
Brukar Du ha svårt att somna? (%)	39	44	17	—
	< 15 minuter	*15-30 minuter*	*30-60 minuter*	*> 60 minuter*
Hur lång tid brukar det ta för dig att somna? (%)	39	50	11	—

Tabell A2. Andel personer (%) som anger att de vaknar upp under natten hemma (sällan/aldrig – nästan varje natt).

Uppvaknanden hemma	*Sällan/ aldrig*	*Några gånger i månaden*	*Någon gång i veckan*	*Nästan varje natt*
Brukar Du vakna på natten? (%)	50	17	22	11

Tabell A3. Sömnkvalitet och trötthet efter nattsömn hemma (% och medelvärde).

Sömnkvalitet och trötthet hemma	*Mycket dåligt*	*Dåligt*	*Inte särskilt bra*	*Ganska bra*	*Mycket bra*
Hur brukar Du vanligtvis sova? (%)	-	-	-	72	28
	Mycket trött	*Trött*	*Ganska trött*	*Ganska pigg & utvilad*	*Mycket pigg & utvilad*
Hur känner Du dig vanligtvis när Du vaknar på morgonen? (%)	6	11	44	33	6

Sömnkvalitet och trötthet hemma	**Medelvärde, (*sd*)**
Kan Du beskriva mer exakt hur Du brukar sova? (0=mycket dåligt, 10=mycket bra)	8,1 (*0,9*)
Hur känner Du dig mer exakt när Du vaknar på morgonen? (0=mycket trött, 10= pigg och utvilad)	6,0 (*2,2*)

Appendix 3

Sinnesstämning morgon respektive kväll efter olika exponeringsnätter

Tabell A4 och A5 visar sinnesstämning på morgonen respektive på kvällen efter de fyra olika exponeringsnätterna (Referens, Tåg, VägLAeq och Vägmax).

Tabell A4. Sinnesstämning på morgonen efter exponeringsnätter (medelvärde, sd).

Morgon	**Referens**		**Tåg**		**VägLAeq**		**Vägmax**	
Sinnesstämning	M	sd	M	sd	M	sd	M	sd
Aktivitet	**2,78**	0,49	2,69	0,50	2,71	0,54	2,77	0,55
Extroversion	**2,68**	0,63	2,74	0,57	2,73	0,50	2,71	0,48
Avspändhet	**3,23**	0,58	3,34	0,50	3,17	0,58	3,39	0,41
Välbefinnande	**3,24**	0,42	**3,24**	0,45	3,16	0,47	3,27	0,40
Social orientering	**3,28**	0,29	3,31	0,33	3,25	0,42	3,30	0,42

Tabell A5. Sinnesstämning på kvällen efter exponeringsnätter (medelvärde, sd).

Kväll	**Referens**		**Tåg**		**VägLAeq**		**Vägmax**	
Sinnesstämning	M	sd	M	sd	M	sd	M	sd
Aktivitet	**2,71**	0,51	2,62	0,52	2,59	0,56	2,64	0,50
Extroversion	**2,81**	0,52	2,93	0,55	2,86	0,53	2,96	0,48
Avspändhet	**3,27**	0,51	3,28	0,51	3,40	0,35	3,36	0,42
Välbefinnande	**3,34**	0,42	3,33	0,43	3,33	0,36	3,44	0,39
Social orientering	**3,36**	0,32	3,30	0,46	3,38	0,26	3,40	0,28

Kommentar:

Det förelåg inga signifikanta skillnader eller några tendenser till skillnader mellan olika exponeringsnätter för någon av sinnesstämningsvariablerna vare sig på morgonen eller på kvällen. För bättre läsbarhet har alla värden som är "sämre" än för referensnatten markerats med rött och alla värden som är "bättre" än för referensnatten har markerats med grön text.