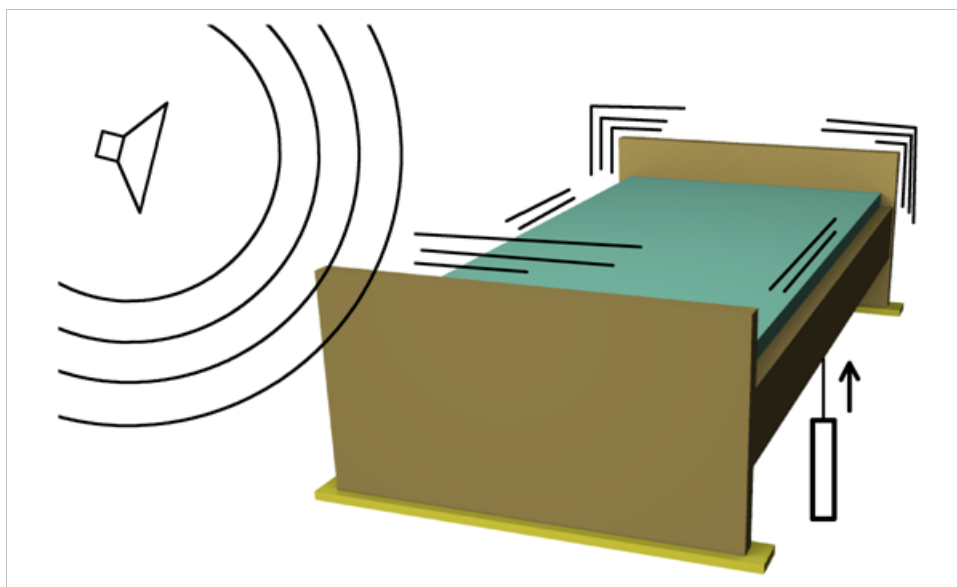




GÖTEBORGS UNIVERSITET
SAHLGRENSKA AKADEMIN

Rapport från Arbets- och miljömedicin nr 123

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



**Evyr Öhrström, docent
Mikael Ögren, tekn.dr
Tomas Jerson, ingenjör
Gunilla Zachau, projektassistent
Anita Gidlöf-Gunnarsson, fil.dr**

Oktober 2009

Omslagsbild:

Skiss av sängkonstruktion som användes för studier av effekter av vibrationer under sömnexperimenten i ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och Miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. Av Mikael Ögren.

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

Arbets- och miljömedicin
Sahlgrenska akademien vid Göteborgs universitet
Box 414, 405 30 Göteborg
ISBN 978-91-7876-122-7
ISSN 1650-4321

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



Effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg:

Experimentella studier i sömnlaboratorium

Delstudie 5

Evyr Öhrström, docent¹⁾
Mikael Ögren, tekn.dr²⁾
Tomas Jerson, ingenjör³⁾
Gunilla Zachau, projektassistent¹⁾
Anita Gidlöf-Gunnarsson, fil.dr¹⁾

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. MATERIAL OCH METOD	9
3.1 Vibrationsexponering	9
3.1.1. Val av metod och nivåer	9
3.1.2 vibrationsnivåer	10
3.2 Bullerexponering	10
3.3 Försöksmiljö och utformning	12
3.4 Utvärdering av effekter på sömnen	13
3.4.1 Formulär som besvarades före sömnexperimentet	13
3.4.2 Formulär som besvarades under sömnexperimentet	13
3.5 Försökspersoner	13
3.6 Experimentell design	14
3.7 Statistisk bearbetning och redovisning av resultat	14
4. RESULTAT	16
4.1 Insomningstid och svårighet att somna	16
4.2 Vakenhet och uppvaknanden	17
4.2.1 Uppvaknanden i relation till ljud- och vibrationsnivå och tidsperiod	17
4.3 Sömnkvalitet samt trötthet påföljande dag	18
4.4 Störning av ljud/buller samt vibrationer under natten	19
4.5 Samband mellan sömnkvalitet och störning av ljud/buller respektive vibrationer	21
4.6 Översikt av resultat	23
5. KOMMENTARER OCH SLUTSATSER	24
5.1 Effekter av vibrationer på sömn och sömnkvalitet	24
5.2 Effekter av buller på sömn och sömnkvalitet	24
5.2 Interaktionseffekter av buller och vibrationer	25
6. REFERENSER	25
APPENDIX	
1) Ljud- och vibrationsexponering vid sömnexperiment	30
2) Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön	44

SAMMANFATTNING

Experimentella undersökningar utfördes i ljudmiljölaboratorium för att studera effekter på sömnen av buller och vibrationer från tåg. I studien deltog 21 personer i åldern 18 - 30 år med normal hörsel. Experimentet omfattade 8 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 tågbuller med hög eller låg bullernivå i kombination med svaga eller kraftiga vibrationer vilka presenterades i randomiserad ordning i de 8 försöksserierna. Bullerexponeringen 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). Ljudexponeringarnas frekvensspektrum förändrades så att det motsvarade realistiska hemförhållanden inomhus med sovrumsfönstret öppet på glänt. Två olika bullerexponeringsnivåer användes i experimenten, $L_{Aeq,23-07}$ 31 dB/ L_{AFmax} 54 dB samt $L_{Aeq,23-07}$ 28 dB/ L_{AFmax} 48 dB. Två vibrationsnivåer valdes för experimenten, en hög nivå med vägd vibrationsnivå på 1,4 mm/s och en lägre vibrationsnivå på 0,4 mm/s. Vibrationerna presenterades samtidigt med godstågspassagera (25 st) men inte tillsammans med övriga tågtyper.

Resultaten visar att vibrationer har stor negativ inverkan på sömnen. När vibrationsnivån ökade från 0,4 till 1,4 mm/s vid oförändrad bullernivå (L_{AFmax} 54 dB) försämrades sömnkvaliteten signifikant, sömnen blev oroligare och försökspersonerna kände sig tröttare påföljande morgon, dag och kväll. Upplevd sömnstörning av buller var högre vid samtidig förekomst av kraftiga vibrationer jämfört med då buller förekom tillsammans med svaga vibrationer. Det fanns inte någon motsvarande interaktionseffekt för sömnstörning av vibrationer, dvs. sömnstörning av vibrationer var lika oavsett om bullernivån var hög eller låg. Om vibrationerna är kraftiga (1,4 mm/s eller högre) räcker det inte att reducera ljudnivån, t.ex. genom ljudisolerande fönster eller bullerskärmar för att minska sömnstörningar. Fältstudier med stor variation i buller- och vibrationsnivå behövs för att närmare belysa samband mellan sömnstörningar och exponering för buller och vibrationer.

SUMMARY

The present experimental study examines effects on sleep from exposure to railway noise and vibrations. The experiment was performed in a sound environment laboratory and twenty-one subjects (18 – 30 years of age) with normal hearing participated in the study. The experiment lasted 5 nights and started with two nights for habituation followed by three nights with railway noise at two sound levels combined with low or high vibration levels. The three exposure nights were presented in a randomized order during eight experimental sessions. The railway noise was synthesized using recordings of freight-, local and long distance trains with the same composition during night as on the railway line Västra Stambanan between Gothenburg and Alingsås, i.e. 46 trains between 11 pm and 7 am. The frequency spectra of the sound exposures were filtered to correspond to a realistic situation in the home with the bedroom window slightly open. Two sound levels were used, $L_{Aeq,23-07}$ 31 dB/ L_{AFmax} 54 dB and $L_{Aeq,23-07}$ 28 dB/ L_{AFmax} 48 dB. Two vibration levels were chosen for the experiments, a high level with a weighted vibration level of 1.4 mm/s and a low level of 0.4 mm/s. The vibrations were presented together with the freight train passages (25 st) but not together with other type of trains.

The overall results showed that vibrations have a large negative impact on sleep. When the vibration level increased from 0.4 till 1.4 mm/s, with unchanged sound level of L_{AFmax} 54 dB, the sleep quality decreased significantly, the sleep became more restless and the test subjects felt more tired the following morning, day and evening. Perceived sleep disturbance due to noise was more pronounced (higher) when noise was presented together with high vibration levels as compared with low vibration levels. There was no such interaction effect for perceived sleep disturbance due to vibrations, i.e. sleep disturbance due to vibrations was the same irrespective of noise level. These results suggest that it will not be sufficient to reduce the noise levels to protect from sleep disturbances. e.g. by sound insulating windows and noise barriers, if vibration levels are high (1,4 mm/s or higher). Also vibration levels must be reduced. Field studies with large enough variation in noise and vibration levels is needed to further elucidate the relation between sleep disturbances and exposure to noise and vibrations.

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 inläring genom att koncentrationsförmåga och möjligheten att uppfatta tal försämras. Trafikbuller av olika slag ger även upphov till psykologiska och fysiologiska stressrelaterade symptom och påverkar därigenom det allmänna välbefinnandet.

Cirka 500 000 personer är utsatta för bullernivåer från tåg utanför bostäder som överstiger de riktvärden som riksdagen fastslog 1997 ($L_{Aeq,24h}=55$ dB). Markvibrationer i samband med tågtrafik förekommer vid ett relativt begränsat antal bansträckor i Sverige. Där kraftiga vibrationer förekommer utgör de dock ett stort störningsproblem. Undersökningar i 15 tätorter belägna utmed järnvägssträckor med respektive utan markvibrationer (Öhrström & Skånberg, 1995; 1996) visade att störning av tågbuller var avsevärt högre i områden där tågtrafiken alstrade kraftiga vibrationer. Beroende på hur kraftiga vibrationerna var gav de upphov till olika typer av störningar. Några exempel på effekter som rapporterats är att föremål rör sig i bostaden, oro för skador på hus och egendom samt sömnstörningar. Vibrationer har således en stor störningspotential i sig. Enligt Göransson 1991 upplevs vibrationer vid nivåer på ca 0,5 mm/s (RMS-värde) som ”klart märkbara” och vid nivåer över 1,2–1,5 mm/s brukar de flesta karaktärisera dem som ”kraftigt kännbara”.

Den litteraturstudie som genomförts på uppdrag av Banverket inom ramen för TVANE-projektet (Öhrström & Skånberg, 2006) visar samstämmiga resultat från fältstudier där effekter av samtidig exponering för buller och vibrationer undersökts. Den upplevda störningen av buller var högre i områden med kraftiga vibrationer vilket tyder på att det finns en interaktion mellan störning (*allmän störning*) av buller och störning av vibrationer. Störningsupplevelsen av buller ökar med ökad vibrationsstyrka medan störningsupplevelsen av vibrationer varierar på ett mera komplext sätt med bullernivå. Interaktionseffekter mellan buller och vibrationer har studerats på ett systematiskt sätt under experimentella betingelser i laboratorium, men inte heller dessa studier ger någon entydig bild av hur denna interaktion sker.

Mot bakgrund av resultaten från litteraturstudien framstår det som nödvändigt att inte bara mäta upplevd störning av buller och vibrationer separat utan att även mäta den totala störningen av buller och vibrationer från tågtrafik. Befintliga undersökningar utgör dock inte tillräcklig grund för att bedöma effekter av vibrationer vid olika vibrationsnivåer eller vid vilken vibrationsnivå som interaktion med buller leder till ökad störning av buller. Undersökningar i områden med lika antal tåg och varierande vibrationsnivåer, verifierade med mätningar, är nödvändiga för att belysa dessa frågeställningar. Kontrollerade experiment i ljudmiljölaboratorium ger möjlighet att studera betydelsen av vibrationer för uppkomst av sömnstörningar. Denna rapport redovisar resultat från experimentella studier i ljudmiljölaboratorium av effekter av vibrationer och buller på sömnen.

2. SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Syftet med de experimentella undersökningarna var att studera subjektivt upplevda effekter på sömnen av tågbuller i kombination med vibrationer från tåg.

Följande frågeställningar formulerades:

Hur påverkas (i) insomning, uppvaknande och sömnkvalitet samt trötthet påföljande dag av samtidig exponering för olika nivåer av buller och vibrationer från tåg nattetid kl. 23-07 samt (ii) hur störande för sömnen upplevs buller respektive vibrationer från tåg vid samtidig exponering för olika nivåer av buller och vibrationer från tåg under följande förhållanden:

- 1) Höga bullernivåer L_{AFmax} 54 dB i kombination med svaga vibrationer 0,4 mm/s (RMS)
- 2) Höga bullernivåer L_{AFmax} 54 dB i kombination med starka vibrationer 1,4 mm/s (RMS)
- 3) Låga bullernivåer L_{AFmax} 48 dB i kombination med starka vibrationer 1,4 mm/s (RMS)

Följande hypoteser formulerades:

H1: Starka vibrationer har mer negativ inverkan på sömnen och upplevs mer störande än svaga vibrationer vid samma bullernivå:
→ **54dB/Stark > 54dB/Svag**

H2: Höga bullernivåer har mer negativ inverkan på sömnen och upplevs mer störande än låga bullernivåer vid samma vibrationsnivå:
→ **54 dB/Stark > 48 dB/Stark**

3. MATERIAL OCH METOD

Den experimentella sömnstudien genomfördes i det nyuppförda ljudmiljölaboratoriet vid Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. I studien deltog 21 personer som sov fem nätter i en följd. Efter två tillvänjningsnätter följde tre nätter med exponering för tågbuller i kombination med tåg vibrationer. De tre exponeringsnätterna presenterades randomiserat under åtta försöksserier. Effekter på sömnen utvärderades med hjälp av frågeformulär morgon och kväll. Studien genomfördes under hösten 2007 och våren 2008.

En detaljerad beskrivning av vibrations- och bullerexponeringen ges i Appendix 1 (Ljud- och vibrationsexponering vid sömnexperiment). Där förklaras också hur den vibrerande sängen konstruerades och vilka förenklingar som genomfördes jämfört med en verklig exponering.

3.1 Vibrationsexponering

3.1.1 Val av metod och nivåer

Typiska frekvenser för markvibrationer från tågtrafik i områden där de är störande är mellan 5 och 10 Hz, med merparten av fallen i den lägre delen av intervallet. På grund av begränsningar i kraftgenerering på låga frekvenser i de vibrationsdon som användes valdes till slut 10 Hz som huvudfrekvens.

Vibrationsdonen är också icke linjära, vilket skapade en del övertoner vid de inledande försöken, vilket ger både en orealistisk vibrationssignal och missljud. Detta problem åtgärdades genom att montera vibrationsdonen via ett mekaniskt system med låg resonansfrekvens i sängarna (se figur 1), vilket filtrerade bort mycket av övertonerna. Dessutom ljudisolerades donen med mineralull och ett tungt lager i form av en kompakt nålfiltsmatta samt en extra bäddmadrass.



Figur 1. Elektrodynamiskt vibrationsdon (vänster) och infästning av vibrationsdon under sängbotten (höger).

3.1.2 Vibrationsnivåer

För experimenten valdes två vibrationsnivåer för godståg, en hög nivå med vägd vibrationsnivå ca 1,4 mm/s och en lägre nivå vid ca 0,4 mm/s. För persontåg och pendeltåg är vibrationssignalen i storleksordningen 12 dB lägre, vilket gör dem omöjliga att detektera i det lägre fallet respektive gör dem mycket låga i det högre fallet. För att få de båda fallen mer jämförbara togs vibrationssignalen helt bort för andra tåg än godståg (för detaljbeskrivningar av exponeringsljud och vibrationsnivåer, se även Appendix 1).

3.2 Bullerexponering

Exponeringsljudens sammansättning och ljudnivå valdes för att möjliggöra jämförelser med den tidigare experimentella sömnstudien över effekter av vägtrafikbuller och tågbuller inom ramen för TVANE-projektet (*Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium*, Rapport 121 reviderad maj 2009). Proportionerna mellan de olika tågtyperna i exponeringsljudet motsvarar tågtrafiken på Västra Stambanan (Lerum). Ljudinspelningar av tågtrafik 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 tågpassagera. Ljudexponeringarna motsvarar en situation med sovrumsfönstret öppet lite på glänt (för detaljbeskrivningar, se Appendix 1).

Ljudnivåer och antal tågpassager under sömnexperimentet visas i tabell 1. Notera att skillnaden i maximal ljudnivå mellan de båda fallen är 6 dB men att den ekvivalenta ljudnivån bara är 3 dB lägre för den lägre exponeringen. Detta beror på att ett bakgrundsbuller användes som hade en ekvivalent nivå på 25 dB, vilket bidrar till nivån i det lägre fallet. Hade detta bakgrundsbuller inte använts hade den ekvivalenta nivån också sänkts med 6 dB.

Tabell 1. Ljudnivåer och antal tågpassager under olika exponeringsnätter.

	$L_{Aeq,8h}$	$L_{AFmax,8h}$ ¹⁾	Antal tågpassager 8h (kl. 23-07)	Antal tågpassager 10h (kl. 22-08)
Tågbuller 48 dB	28	48	46	69
Tågbuller 54 dB	31	54	46	69

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

Ljudexponeringarna startades kl. 22.00 och pågick fram till kl. 08.00. I den fortsatta 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). Tabell 2 visar de olika ljudexponeringarnas fördelning över 2-timmarsintervall under natten. Dessutom anges antalet passager fördelat på godståg, fjärrtåg och pendeltåg.

Tabell 2. Fördelning för ekvivalent och maximal ljudnivå i intervall om två timmar under olika exponeringsnätter, samt antal passager per tågtyp.

	Kl. 23-01	Kl. 01-03	Kl. 03-05	Kl. 05-07
L_{Aeq}-nivåer:				
Tågbuller 28 dB	28,0	27,0	27,1	27,6
Tågbuller 31 dB	32,0	30,3	30,5	31,3
L_{AFmax}-nivåer:				
Tågbuller 48 dB	47,9	47,9	47,9	47,9
Tågbuller 54 dB	53,9	53,9	53,9	53,9
Antal tågpassager:				
Godståg	8	5	6	6
Fjärrtåg	4	2	1	6
Pendeltåg	2	0	1	5

Tabell 3 visar L_{AFmax} -nivåer och fördelning av tågpassager under natten. Som framgår av tabell 3 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. Övriga tågpassager hade ljudnivåer mellan L_{AFmax} 45 och 50 dB (20 st) respektive under 45 dB (10 st). Exponering för vibrationer förekom endast vid de 25 godstågspassagera (ljusbrun markering).

I Appendix 1, tabell 3.1 kan man utläsa tidpunkten för varje passage samt typ av tåg, maximal ljudnivå (L_{AFmax}) i fallet med höga ljudnivåer (54 dB), maximal vibrationshastighet i fallet med starka vibrationer samt tiden som ljudnivån överskred 35 dB (T_{35}). För fallet med höga ljudnivåer hade 5 av tågen en maximal ljudnivå på ca 54 dB och 11 tåg en maximal ljudnivå på 50-52 dB. Övriga tågpassager hade ljudnivåer mellan L_{AFmax} 45 och 50 dB (20 st) respektive under 45 dB (10 st). Exponering för vibrationer förekom endast vid godstågspassager (25 st), för övriga tåg var vibrationssignalen avstängd.

Tabell 3. Maximal ljudnivå och tidpunkt för alla tågpassager.

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

3.3 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 figur 2 med foton nedan).



Figur 2. 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 ”försöks-lägenheten” 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.

3.4 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 i samband med ett hörseltest (se även under 3.5).

3.4.1 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 olägenhets-källor i hemmiljön samt frågor om sömn och sovvanor hemma ingick i formuläret

3.4.2 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, kroppsörelser, 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.

Varje kväll inom 15 minuter före sänggående besvarade försökspersonerna ett formulär med frågor avseende trötthet under dagen samt trötthet på kvällen.

3.5 Försökspersoner

Studien omfattade 21 personer, 14 kvinnor och 7 män. Dessa var studerande i åldern 18 – 30 år med en genomsnittsålder av 23 år ($SD = \pm 3,6$). Försökspersonerna valdes ut genom en första intresse-anmälan 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.

Nästan alla försökspersoner (18 personer) bodde i lägenhet. En majoritet (67 %) bedömde sin hemmiljö som tyst eller ganska tyst, 29 % ansåg att hemmiljön var ganska bullrig och bara en person svarade att hemmiljön var mycket bullrig. De flesta (90 %) märkte buller från vägtrafik i sin hemmiljö men endast 3 personer stördes ganska mycket av vägtrafik. Ett fåtal (tre personer) märkte eller stördes av tåg hemma. En majoritet (62 %) av försökspersonerna bedömde sig som ”inte alls” eller ”inte

särskilt känslig” för buller/ljud medan 33 % karakteriserade sig själva som ”ganska känslig” och en person bedömde sig som mycket känslig för buller/ljud på den 4-gradiga bullerkänslighetsskalan. Nästan alla försökspersoner (90 %) sov ganska eller mycket bra i sin hemmiljö och endast tre personer bedömde att det tog mer än 30 minuter att somna. Under sommarhalvåret brukade hälften av försökspersonerna sova med fönstret öppet och under vintertid sov endast 19 % med fönstret öppet (se även Appendix 3: Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön).

3.6 Experimentell design

Experimentet var planerat att omfatta 6 försöksserier med randomiserad fördelning av de tre exponeringsnätterna där tre personer deltog samtidigt. På grund av bortfall av en försöksperson i tre av försöksserierna utfördes ytterligare två försöksserier (totalt 8 försöksserier) med tre personer i varje (design enligt försöksserie 1 och 3) för att säkerställa randomiserad presentation av de olika exponeringarna.

Första natten är en tillvänjningsnatt då försökspersonen exponeras för tågbuller i kombination med svaga vibrationer (54/Svag). Efter detta följer en tyst tillvänjningsnatt (ljudnivå ca 13 dB). Natt 3, 4 och 5 är exponeringsnätter med randomiserad presentation av tre olika kombinationer av tågbuller och tåg vibrationer (54/Svag, 54/Stark och 48/Stark) under de olika försöksserierna (se tabell 4).

Tabell 4. Experimentell design för sömnstudien.

Försöksserie nr	Natt 1 Söndag	Natt 2 Måndag	Natt 3 Tisdag	Natt 4 Onsdag	Natt 5 Torsdag
	<i>Tillvänjning</i> 54/Svag	<i>Tillvänjning</i> Tyst (13 dB)	A 54/Svag	B 54/Stark	C 48/Stark
1			54/Svag	54/Stark	48/Stark
2			54/Stark	48/Stark	54/Svag
3			48/Stark	54/Svag	54/Stark
4			54/Svag	48/Stark	54/Stark
5			54/Stark	54/Svag	48/Stark
6			48/Stark	54/Stark	54/Svag
7			54/Svag	54/Stark	48/Stark
8			48/Stark	54/Svag	54/Stark

Svaga vibrationer; 0,4 mm/s. Starka vibrationer; 1,4 mm/s.

3.7 Statistisk bearbetning och redovisning av resultat

Data har analyserats med SPSS för Windows version 15.0.1. Parat *t*-test användes för att testa skillnader i medelvärden för olika sömnvariabler mellan nätter med olika bullerexponering.

Skillnader i proportioner (t.ex. andel störda av vibrationer) mellan olika nätter testades med McNemar test. Dessa variabler kategoriserades i fyra steg till ”ej störd” och ”störd” (t.ex. 1+2 mot 3+4). För några av variablerna fanns inga observationer i ”störd”-kategorin, dvs. sannolikheten att vara ”störd” uppskattades till 0,0. Detta indikerar att den underliggande sannolikheten (*p*) är mycket låg. Eftersom gruppstorleken är 21 är det inte orimligt att man kan få ”ej störda” försökspersoner (t.ex. sannolikheten för noll ”störda” är 0,53 om $p=0,03$ och $n=21$).

Men ett resultat där 0 av 21 är "störda" utgör ett problem då man jämför andelen störda för två kombinerade exponeringar (t.ex. proportionerna p_1 och p_2). Då vi har 0 av 21 "störda" ($p_1=0,00$) använder vi McNemar test från de situationer där vi har 1 av 21 "störda" ($p_1=0,048$). Om vi får ett signifikant resultat för $p_1=0,048$, då är resultatet av nödvändighet signifikant även för $p_1<0,048$.

Samband mellan olika effekter, t.ex. upplevd sömnkvalitet och upplevd störning av ljud/buller under natten, testades med Spearmans rangkorrelationskoefficient (r_s). Försökspersonernas egna jämförelser mellan sömnkvalitet hemma och i laboratoriet testades med t -test för medelvärde för en grupp.

För statistiskt säkerställd signifikans valdes $p<0,05$. Tendens till skillnad anges då $p\geq 0,05$ och $p\leq 0,10$.

4 RESULTAT

Resultaten redovisas i fem huvuddelar: (1) effekter under insomningsperioden; (2) uppvaknanden; (3) sömnkvalitet och trötthet följande dag; (4) störning av ljud/buller samt vibrationer under natten; och (5) samband mellan sömnkvalitet och störning av ljud/buller respektive vibrationer. I resultatredovisningen har även medtagits de två tillvänjningsnätterna (natt 1 med högt buller och svaga vibrationer 54/Svag samt natt 2 utan exponering). Eftersom analyser i några fall visade tillvänjning över fler nätter görs jämförande analyser och tester enbart för de tre exponeringsnätterna vilka presenterats i randomiserad ordning varför resultaten inte är påverkade av eventuella tillvänjningseffekter.

4.1 Insomningstid och svårighet att somna

Tabell 5 visar att under den första tillvänjningsnatten (Tillv. 1, 54/Svag) hade hälften av försökspersonerna ganska eller mycket svårt att somna och längre insomningstid än 30 minuter. Motsvarande värden för den andra tillvänjningsnatten (Tillv. 2, tyst) var 19 respektive 29 %. Den genomsnittliga insomningstiden för dessa nätter var 45 respektive 22 minuter.

Under de tre exponeringsnätterna fanns en tendens till något större insomningssvårigheter (skala 0-10) och längre insomningstid under natt med starka vibrationer (54/Stark) än under natt med svaga vibrationer (54/Svag; $p=0,08$ för respektive fråga, se p -värde 1/2 där jämförelse görs mellan exponeringsnatt 1 och 2). I övrigt förelåg inga skillnader i insomning mellan de tre exponeringsnätterna.

Natt med exponering 54/Svag hade genomgående lägst värden för insomningssvårigheter och insomningstid.

Tabell 5. Insomningstid och svårighet att somna för olika exponeringsnätter.

	Tillv.1 (54/Svag)	Tillv.2 (Tyst)	54/Svag 1	54/Stark 2	48/Stark 3	p -värde 1/2	p -värde 3/2
Svårt att somna (%) ¹⁾							
Inte alls	5	43	33	14	24		
Inte särskilt	43	38	57	62	43		
Ganska/mycket	52	19	10	24	33	0,19	0,34
Svårt att somna*							
Medelvärde ²⁾	5,43	3,05	3,14	4,05	3,86	0,08	0,36
(sd)	(3,01)	(2,7)	(2,19)	(2,18)	(2,31)		
Insomningstid (%) ¹⁾							
< 15 minuter	19	28	43	14	29		
15-30 minuter	29	43	38	48	38		
30-60/>60 minuter	52	29	19	38	33	0,11	0,50
Insomningstid i minuter							
Medelvärde ²⁾	44,6	21,9	16,4	26,4	29,2	0,08	0,36
(sd)	(15,3)	(15,5)	(14,8)	(15,3)	(21,1)		

¹⁾ Mc Nemars test. ²⁾ parat t-test, jfr. av exponerings natt 1 och 2 (1/2) samt exponeringsnatt 3 och 2 (3/2) med 1-sid. test. * 0=inte alls svårt – 10=mycket svårt.

4.2 Vakenhet och uppvaknanden

Kortvariga uppvaknanden är svåra att komma ihåg och vanligen minns man endast uppvaknanden som är längre än 4 minuter. De flesta av försökspersonerna uppgav att de vaknat någon gång under natten, medan ca hälften av dem mindes under vilken tidsperiod på natten som de vaknat (tabell 6).

Det genomsnittliga antalet uppvaknanden under natt med svaga vibrationer (54/Svag) var 2,07 och under nätter med starka vibrationer var antalet uppvaknanden 2,43 (54/Stark) respektive 2,55 (48/Stark). Det förelåg inga signifikanta skillnader i uppvaknanden mellan de tre exponeringsnätterna.

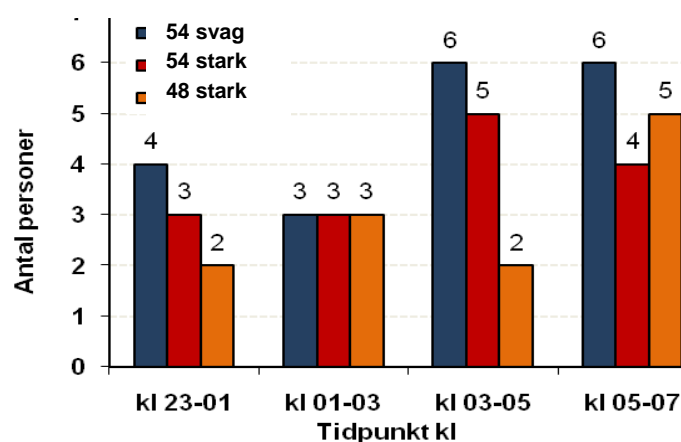
Tabell 6. Uppvaknanden under olika exponeringsnätter.

	Tillv.1 (54/Svag)	Tillv.2 (Tyst)	54/Svag 1	54/Stark 2	48/Stark 3	p-värde 1/2	p-värde 3/2
Antal uppvaknande under natten							
Medelvärde ¹⁾ (sd)	3,5 (2,11)	1,4 (1,36)	2,07 (1,85)	2,43 (1,96)	2,55 (2,58)	0,16	0,41
Andel som vaknade minst en gång under natten (%)	95	67	91	81	76		
Andel som minns under vilken tidsperiod de vaknat (%)	70	69	52	53	38		

¹⁾ parat t-test, jfr. av exponerings natt 1 och 2 (1/2) samt exponeringsnatt 3 och 2 (3/2) med 1-sid. test.

4.2.1 Uppvaknanden i relation till ljud- och vibrationsnivå och tidsperiod

En relativt hög andel av försökspersonerna (38 – 53 %) angav att de kom ihåg när de vaknade på natten under de tre olika exponeringsnätterna (tabell 6, figur 3). Antalet personer som uppgett att de vaknat var något högre under den senare hälften av natten, men flera personer angav att de vaknade även under den första delen av natten då andelen djup sömn normalt är avsevärt högre än under den sista tredjedelen av natten (figur 3).



Figur 3. Antal personer som angett att de vaknat under olika tidsperioder på natten under de tre olika exponeringsnätterna.

4.3 Sömnkvalitet samt trötthet påföljande dag

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 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 följande dag visas i tabell 7.

Tabell 7. Sömnkvalitet och trötthet efter olika nätter.

	Tillv.1 (54/Svag)	Tillv.2 (Tyst)	54/ Svag 1	54/ Stark 2	48/ Stark 3	p-värde 1/2	p-värde 3/2
Sömnkvalitet (%) ¹⁾							
Mycket dålig/ dålig	26	5	5	15	19	0,25	0,50
Inte särskilt bra	37	19	24	33	14		
Ganska bra	21	38	47	38	48		
Mycket bra	16	38	24	14	19		
Sömnkvalitet (0=mkt dåligt, 10=mkt bra)							
Medelvärde ²⁾	5,26	7,14	7,05	6,05	5,81	0,02	0,33
(sd)	(2,66)	(2,06)	(1,86)	(2,47)	(2,48)		
Kropps rörelser (0=låg nästan helt stilla, 10=låg och vred mig hela natten)							
Medelvärde ²⁾	5,56	3,95	3,67	4,76	4,10	0,04	0,11
(sd)	(2,01)	(2,71)	(2,24)	(2,41)	(2,10)		
Trött – pigg morgon (%) ¹⁾							
Mycket trött/trött	42	33	24	38	52	0,12	0,12
Ganska trött	37	24	33	38	5		
Ganska pigg o utvilad	21	38	43	14	43		
Mycket pigg o utvilad	0	5	0	10	0		
Trött - pigg (0=mycket trött, 10=pigg och utvilad):							
Morgon efter							
Medelvärde ²⁾	3,89	5,52	5,10	4,43	4,38	0,04	0,46
(sd)	(1,99)	(2,66)	(2,43)	(2,27)	(2,82)		
Dag efter							
Medelvärde ²⁾	5,10	6,86	5,90	4,43	4,71	0,01	0,30
(sd)	(2,30)	(2,31)	(2,89)	(2,29)	(2,79)		
Kväll efter							
Medelvärde ²⁾	3,52	4,10	4,10	2,95	3,67	0,03	0,05
(sd)	(1,75)	(2,28)	(1,84)	(2,01)	(1,56)		

¹⁾ Mc Nemars test. ²⁾ parat t-test, jfr. av exponeringsnatt 1 och 2 (1/2) samt exponeringsnatt 3 och 2 (3/2) med 1-sid. test.

Överlag visar tabellen att svaga vibrationer (54/Svag) medför mindre negativ påverkan på sömnen än starka vibrationer (54/Stark respektive 48/Stark). Den genomsnittliga sömnkvaliteten (mätt med skala 0-10) var signifikant sämre under nätter med starka vibrationer (54/Stark) än under natten med svaga vibrationer (54/Svag), (M=6,05 resp. M=7,05, $p=0,02$, se kolumn 1/2). Det förelåg inga statistiskt signifikanta skillnader i sömnkvalitet mellan nätter med olika bullernivå (54/Stark jämfört med 48/Stark, se kolumn 3/2).

Försökspersonerna bedömde att de rört sig mer under sömnen (sovit oroligare) under natt med starka vibrationer (54/Stark) än under natt med svaga vibrationer (54/Svag), ($p=0,04$, se kolmun 1/2). Trötthet under såväl morgon som dag och kväll var större efter natt med starka vibrationer (54/Stark) än efter natt med svaga vibrationer med samma bullernivå (54/Svag), (morgon, $p=0,04$; dag, $p=0,01$; respektive kväll, $p=0,03$). Trötthet under dagen skiljde sig inte åt mellan de två nätterna med olika bullernivå (54/Stark respektive 48/Stark). Trötthet under kvällen var signifikant högre efter natt med hög bullernivå och starka vibrationer (54/Stark) än efter natt med lägre bullernivå (48/Stark), ($p=0,05$, se kolumn 3/2).

4.4 Störning av ljud/buller samt vibrationer under natten

Försökspersonerna fick även svara på frågor (5-gradig verbal kategoriskala) om de stördes på något sätt ("stördes inte alls" till "stördes oerhört mycket") av ljud/buller respektive av vibrationer under natten (störning, svårt somna, väcktes respektive sämre sömnkvalitet). Resultaten för störning av buller redovisas i tabell 8 och i figur 4 och för störning av vibrationer i tabell 9 samt i figur 4.

Tabell 8. Störning (%) av ljud/buller under de olika nätterna.

	Tillv.1 (54/Svag)	54/ Svag 1	54/ Stark 2	48/ Stark 3	p-värde 1/2	p-värde 3/2
Stördes av ljud/buller under natten (%)	10	24	14	14		
Inte alls						
Inte särskilt mycket	33	62	53	53		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	57	14	33	33	0,11	0,50
Svårt att somna p.g.a. ljud/buller (%)						
Inte alls	14	33	19	28		
Inte särskilt mycket	29	57	43	48		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	57	10	38	24	0,01	0,18
Väcktes p.g.a. av ljud/buller (%)						
Inte alls	19	38	28	47		
Inte särskilt mycket	29	48	24	29		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	52	14	48	24	0,02	0,06
Sämre sömnkvalitet p.g.a. ljud/buller (%)						
Inte alls	14	48	33	28		
Inte särskilt mycket	33	38	29	48		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	53	14	38	24	0,06	0,18

Mc Nemars test (1-sid.).

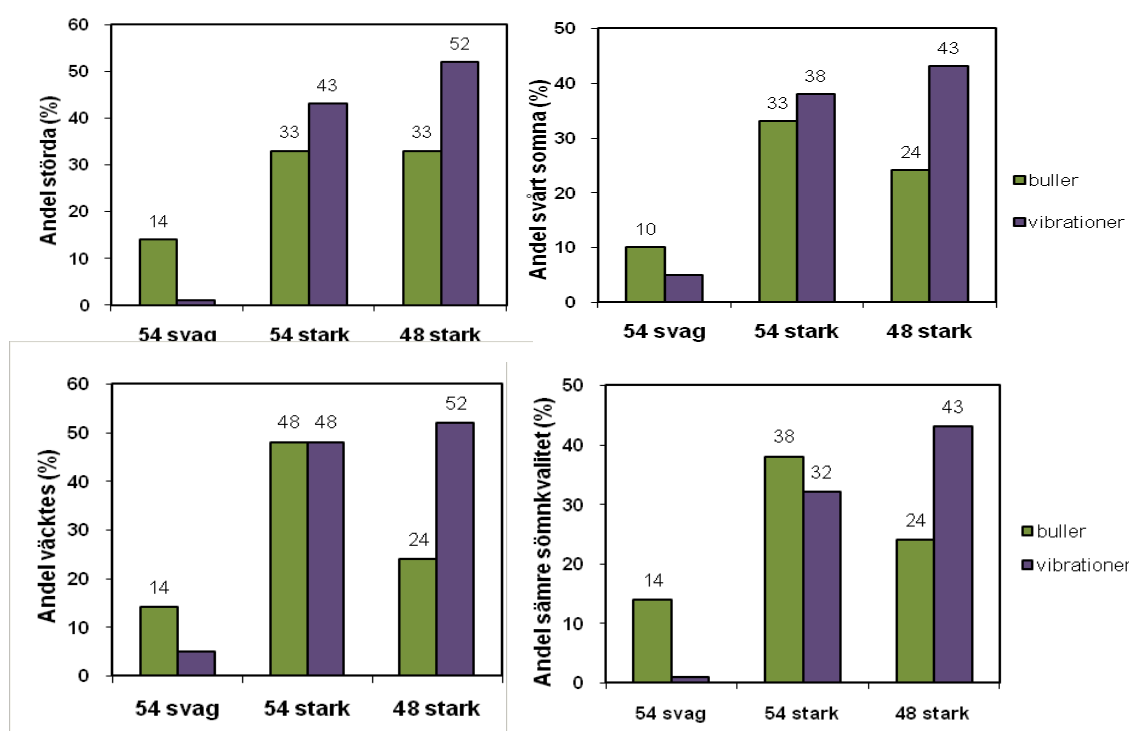
Buller upplevdes inte lika störande för sömnen under natt med låg vibrationsnivå (54/Svag) som under nätter med starka vibrationer. Signifikanta skillnader förelåg för svårighet att somna p.g.a. buller ($p=0,01$) respektive väcktes av buller ($p=0,02$) jämfört med natt med kraftiga vibrationer (54/Stark), (se kolumn 1/2). Det fanns även en tendens till skillnad i upplevd störning av sömnkvalitet ($p=0,06$) mellan dessa två exponeringsnätter, 14 % för 54/Svag jämfört med 38 % för 54/Stark. I övrigt förelåg inga skillnader i störning av buller på sömnen förutom en tendens ($p=0,06$) till fler uppvaknanden p.g.a. buller under natt med hög bullernivå i kombination med starka vibrationer (54/Stark) jämfört med låg bullernivå (48/Stark), (se kolumn 3/2).

Tabell 9. Störning av vibrationer under de olika nätterna.

	Tillv.1 (54/Svag)	54/ Svag 1	54/ Stark 2	48/ Stark 3	p-värde 1/2	p-värde 3/2
Stördes av vibrationer under natten (%)						
Inte alls	38	52	9	5		
Inte särskilt mycket	33	48	48	43		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	29	0	43	52	0,002	0,34
Svårt att somna p.g.a. vibrationer (%)						
Inte alls	48	67	24	24		
Inte särskilt mycket	24	28	38	33		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	28	5	38	43	0,008	0,50
Väcktes p.g.a. av vibrationer (%)						
Inte alls	43	76	38	29		
Inte särskilt mycket	9	19	14	19		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	48	5	48	52	0,006	0,50
Sämre sömnkvalitet p.g.a. vibrationer (%)						
Inte alls	52	76	29	33		
Inte särskilt mycket	19	24	38	24		
Ganska mycket/mycket/oerhört mycket	29	0	33	43	0,008	0,31

Mc Nemars test (1-sid.).

Av tabell 9 framgår att kraftiga vibrationer (54/Stark) störde sömnen mer än svaga vibrationer (54/Svag), ($p=0,002$). Endast en person angav att svaga vibrationer hade stört eller påverkat sömnen. Det fanns inga signifikanta skillnader i upplevd påverkan på sömnen av vibrationer mellan nätter då vibrationer förekom tillsammans med låg ljudnivå (48/Stark) respektive med hög ljudnivå (54/Stark).



Figur 4. Andel som stördes och påverkades på olika sätt (% ganska, mycket eller oerhört mycket) av buller (gröna staplar) respektive vibrationer (lila staplar) under de tre olika exponeringsnätterna.

4.5 Samband mellan sömnkvalitet och störning av ljud/buller respektive störning av vibrationer

Sambandet mellan olika sömnkvalitetsvariabler och störningsvariabler (upplevd störning av buller respektive vibrationer) analyserades och testades (Spearman's rangkorrelationstest, r_s för respektive exponeringsnatt, se tabellerna 10, 11 och 12).

Tabell 10. Samband mellan olika sömnkvalitetsvariabler och störningsvariabler (störning/påverkan av buller respektive vibrationer) under natt med högt buller och svaga vibrationer (54/Svag).

54/Svag	Sömnkvalitetsvariabler:					
	Svårt somna 0-10	Vaknat antal ggr	Sömnkvalitet 0-10	Trött morgon 0-10	Trött dag 0-10	Trött kväll 0-10
Störningsvariabler:						
Störd av ljud/buller	,309	,474*	-,587**	-,202	-,060	-,250
Svårt somna	,494*					
Väcktes		,704**				
Sömnkvalitet			-,619**	-,373*	-,276	-,259
Störd av vibrationer	,428*	-,210	,129	,206	,278	,000
Svårt somna	,255					
Väcktes		,377*				
Sömnkvalitet			,340	,009	,102	,132

Spearman's r_s ; * $p<0,05$, ** $p<0,01$ (1-sid. test). Skuggade siffror markerar samband för motsvarande sömnkvalitets- resp. störningsvariabel.

För natt med svaga vibrationer (54/Svag) förelåg signifikanta samband ($r_s=0,494$ till $r_s=0,704$, $p<0,05$ till $p<0,01$) mellan hur sömnen upplevts (svårt somna, vaknat antal ggr, sömnkvalitet) och störning p.g.a. buller. Sambanden mellan sömnkvalitet och vibrationsstörning var något svagare med signifikansnivåer på $p<0,05$. Det förelåg inget signifikant samband mellan vibrationspåverkan på sömnkvalitet och upplevd sömnkvalitet (tabell 10).

Trötthet dygnet efter denna exponeringsnatt (54/Svag) var inte relaterad till upplevd störning av vibrationer eller buller (med undantag för ett signifikant samband mellan bullerstörd sömnkvalitet och trött morgon ($r_s=-0,373$, $p<0,05$)).

Tabell 11. Samband mellan olika sömnkvalitetsvariabler och störningsvariabler (störning/påverkan av buller respektive vibrationer) under natt med högt buller och starka vibrationer (54/Stark).

54/Stark	Sömnkvalitetsvariabler:					
	Svårt somna 0-10	Vaknat antal ggr	Sömnkvalitet 0-10	Trött morgon 0-10	Trött dag 0-10	Trött kväll 0-10
Störningsvariabler:						
Störd av ljud/buller	,091	,490*	-,755**	-,545**	-,256	-,257
Svårt somna	,634**					
Väcktes		,671**				
Sömnkvalitet			-,670**	-,472*	-,480*	-,365
Störd av vibrationer						
Störd av vibrationer	,003	,777**	-,475*	-,466*	-,617**	-,495*
Svårt somna	,325					
Väcktes		,853**				
Sömnkvalitet			-,591**	-,433*	-,556**	,541**

Spearman's r_s ; * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ (1-sid. test). Skuggade siffror markerar samband för motsvarande sömnkvalitets- resp. störningsvariabel.

Under natt med starka vibrationer (54/Stark, tabell 11) förelåg signifikanta samband ($r_s = -0,591$ till $r_s = 0,853$, $p < 0,01$) mellan hur sömnen upplevts (svårt somna, vaknat antal ggr, sömnkvalitet) och störning p.g.a. buller och p.g.a. vibrationer, med undantag för samband svårt somna p.g.a. vibrationer och svårt somna ($r_s = 0,325$, $p > 0,05$). Sambanden mellan upplevd trötthet påföljande morgon, dag och kväll och upplevd störning av vibrationer respektive buller var överlag starka och signifikanta, framför allt störning av vibrationer.

Tabell 12. Samband mellan olika sömnkvalitetsvariabler och störning/påverkan av buller respektive vibrationer under natt med starka vibrationer (48/Stark).

48/Stark	Sömnkvalitetsvariabler:					
	Svårt somna 0-10	Vaknat antal ggr	Sömnkvalitet 0-10	Trött morgon 0-10	Trött dag 0-10	Trött kväll 0-10
Störningsvariabler:						
Störd av ljud/buller	,064	,671**	-,597**	-,384*	-,203	-,318
Svårt somna	,470*					
Väcktes		,741**				
Sömnkvalitet			-,634**	-,302	-,170	-,133
Störd av vibrationer						
Störd av vibrationer	,049	,764**	-,421*	-,230	-,206	-,269
Svårt somna	,429*					
Väcktes		,737**				
Sömnkvalitet			-,633**	-,458*	-,294	-,285

Spearman's r_s ; * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ (1-sid. test). Skuggade siffror markerar samband för motsvarande sömnkvalitets- resp. störningsvariabel.

Under natt med starka vibrationer och låg bullernivå (48/Stark, tabell 12) förelåg signifikanta samband ($r_s = 0,429$ till $r_s = 0,741$, $p < 0,05$ till $p < 0,01$) mellan hur sömnen upplevts (svårt somna, vaknat antal ggr, sömnkvalitet) och störning p.g.a. buller och p.g.a. vibrationer. Trötthet dygnet efter denna exponeringsnatt var i de flesta fall inte relaterad till upplevd störning av vibrationer eller buller med undantag av ett signifikant samband mellan vibrationsstörd sömnkvalitet och trött morgon; ($r_s = -0,458$, $p = 0,05$ samt störd av buller och trött morgon; $r_s = -0,384$, $p = 0,05$).

4.6 Översikt av resultat

I tabell 13 nedan ges en översiktlig sammanfattning av resultaten i sömnexperimentet vad gäller effekter på sömnkvalitet under olika exponeringsnätter samt upplevda sömnstörningar av buller respektive vibrationer.

Tabell 13. Resultatöversikt: Effekter på sömnkvalitet under olika exponeringsnätter samt upplevda sömnstörningar av buller respektive vibrationer.

UPPLEVD SÖMNKVALITET	Vilken effekt har vibrationsnivån på sömnen? <i>Hypotes: Starka vibrationer (1,4 mm/s) påverkar sömnen mer än svaga vibrationer (0,4 mm/s) vid lika bullernivå.</i> Jämför 54/Stark med 54/Svag ¹⁾	Vilken effekt har bullernivån på sömnen? <i>Hypotes: Höga bullernivåer (L_{AFmax} 54dB) påverkar sömnen mer än låga bullernivåer (L_{AFmax} 48 dB) vid lika vibrationsnivå.</i> Jämför 54/Stark med 48/Stark ¹⁾
Sömnkvalitetsvariabler (urval): Svårt att somna (0-10) Insomningstid i minuter Antal uppvaknanden Sömnkvalitet (0-10) Kroppsrörelser (0-10) Trötthet (0-10) Morgon Dag Kväll	<p style="text-align: center;">Ja, tendens Ja, tendens</p> <p style="text-align: center;">Nej</p> <p style="text-align: center;">Ja Ja</p> <p style="text-align: center;">Ja Ja Ja</p>	<p style="text-align: center;">Nej Nej</p> <p style="text-align: center;">Nej</p> <p style="text-align: center;">Nej Nej</p> <p style="text-align: center;">Nej Nej Ja</p>
UPPLEVD STÖRNING AV SÖMN	Vilken effekt har vibrationsnivån på upplevd sömnstörning av <u>buller</u>? <i>Hypotes: Buller upplevs som mera sömnstörande i kombination med starka vibrationer än i kombination med svaga vibrationer.</i> Jämför 54/Stark med 54/Svag ¹⁾	Vilken effekt har bullernivån på upplevd sömnstörning av <u>vibrationer</u>? <i>Hypotes: Vibrationer upplevs som mera sömnstörande i kombination med höga bullernivåer än i kombination med låga bullernivåer.</i> Jämför 54/Stark med 48/Stark ¹⁾
Störning p.g.a buller: Svårt somna Väcktes Sämre sömnkvalitet	<p style="text-align: center;">Ja, vibr.nivå påverkar bullerstörning Ja, vibr.nivå påverkar bullerstörning Ja, tendens</p>	<p style="text-align: center;">—————</p>
Störning p.g.a vibrationer: Svårt somna Väcktes Sämre sömnkvalitet	<p style="text-align: center;">—————</p>	<p style="text-align: center;">Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning Nej, bullernivå påverkar ej vibr.störning</p>

¹⁾ Test av medelvärden med parat t-test; Test av andel störda med Mc Nemars test (1-sid. test).
 Hypotesprövning: ja= $p \leq 0,05$; nej= $p > 0,05$; tendens= $p > 0,05$ och $p < 0,10$.

5. KOMMENTARER OCH SLUTSATSER

Syftet med denna studie var att under väl kontrollerade exponeringsbetingelser studera inverkan av vibrationer och buller från tågtrafik på sömnens kvalitet (insomning, uppvaknande, sömnkvalitet och trötthet påföljande dag) samt hur störande för sömnen buller respektive vibrationer upplevs. Effekter på sömnen av exponering för vibrationer och buller från tåg har inte studerats tidigare vare sig i experimentella undersökningar i laboratorium eller i fält.

5.1 Effekter av vibrationer på sömn och sömnkvalitet

Resultaten från studien bekräftar hypotesen att starka vibrationer har en stor negativ inverkan på sömnen och upplevs mer sömnstörande än svaga vibrationer. När vibrationsnivån ökades från ca 0,4 till 1,4 mm/s vid oförändrad bullernivå (L_{AFmax} 54 dB) försämrades sömnkvaliteten signifikant, sömnen blev oroligare och försökspersonerna kände sig tröttare påföljande morgon, dag och kväll. Vidare fanns en tendens till längre insomningstid (i medeltal 26 minuter jämfört med 16 minuter) och en högre andel av försökspersonerna angav att de hade svårt att somna (25 % jämfört med 10 %). Antalet uppvaknanden skiljde sig inte signifikant åt mellan nätter med starka respektive svaga vibrationer men till skillnad från tidigare sömnexperiment (Öhrström *et al.*, 2008; 2009), där antalet personer som vaknat var avsevärt högre under den senare delen av natten, var antalet personer som vaknat relativt jämnt fördelat under natten i denna studie. Detta tyder på att vibrationerna har stor inverkan på sömnen även då sömnen är djup, vilket normalt är fallet under den första tredjedelen av natten.

Det förelåg statistiskt signifikanta samband mellan upplevd störning av starka vibrationer (störning under natten, svårt somna, väcks samt sämre sömnkvalitet) och de olika sömnkvalitetsvariablerna (tabell 11 och 12), ju högre upplevd störning av vibrationer desto sämre sömn. För natt med hög bullernivå (54 dB) i kombination med starka vibrationer (se tabell 11) fanns starka samband mellan störning av vibrationer under natten och trötthet påföljande dygn. För natt med lägre bullernivå (48 dB, se tabell 12) sågs inte liknande, starka samband mellan störning av vibrationer under natten och trötthet.

5.2 Effekter av buller på sömn och sömnkvalitet

Resultaten bekräftar *inte* hypotesen att höga bullernivåer har en mer negativ inverkan på sömnen och upplevs mer sömnstörande än låga bullernivåer vid samma vibrationsnivå. Överlag fanns inga skillnader i sömn mellan nätter med hög bullernivå (L_{AFmax} 54 dB/ L_{Aeq} 31dB) och natt med lägre bullernivå (L_{AFmax} 48 dB/ L_{Aeq} 28 dB) vid oförändrad vibrationsnivå (1,4 mm/s). Det bör noteras att av de 46 bullerhändelserna var det endast 5 som hade en L_{AFmax} -nivå på 54 dB och skillnaden i bullernivå mellan de två exponeringarna var relativt liten, en skillnad i L_{AFmax} nivå på 6 dB och en skillnad i L_{Aeq} -nivå på 3 dB.

Det hade varit önskvärt att använda en lägre ljudnivå än 48 dB eftersom riktvärdet för buller nattetid är lägre (L_{AFmax} 45 dB). Detta var dock inte möjligt eftersom vibrationsdonet orsakade en del ljud som inte helt kunde elimineras med extra ljudisolering. Om skillnaderna i bullernivå varit större kan det inte uteslutas att sömnkvaliteten varit bättre vid låga ljudnivåer vid oförändrad vibrationsnivå.

Det förelåg statistiskt signifikanta samband mellan upplevd störning av buller (störning under natten, svårt somna, väcktes samt sämre sömnkvalitet) och de olika sömnkvalitetsvariablerna (tabell 10-12), ju högre upplevd störning av buller desto sämre sömn. Samband mellan trötthet påföljande dag och störning av buller var mest uttalat efter natt med höga bullernivåer i kombination med starka vibrationer (se tabell 11).

5.3 Interaktionseffekter av buller och vibrationer

Resultaten visar att upplevd sömnstörning av buller är högre vid samtidig förekomst av kraftiga vibrationer jämfört med då buller förekommer tillsammans med svaga vibrationer. Dessa resultat stämmer väl med resultat från *allmän* störning i fältstudier (litteraturöversikt av Öhrström & Skånberg, 2006). Att störningen av tågbuller är högre i områden med kraftiga vibrationer tyder på att det finns en interaktionseffekt mellan störning (och sömnstörning) av buller och vibrationer och att man uppmärksammar bullret lättare då det åtföljs av vibrationer även under sömnen.

Resultaten visar inte någon motsvarande interaktionseffekt för sömnstörning av vibrationer, dvs. sömnstörning av vibrationer var lika oavsett om bullernivån var hög eller låg (tabell 13). Detta är i överensstämmelse med resultat från laboratorieexperiment av Paulsen och Kastka (1995) som studerade *allmän* störning vid exponering för kombinationer av tre vibrationsnivåer (0,05, 0,11 och 0,32 mm/s angivet som rms-värde) och tre bullernivåer (L_{Aeq} 34, 45 och 60 dB). Då man explicit frågade om vibrationer var störningen av vibrationer till största delen *oberoende* av bullernivå, men om man explicit frågade om buller var störningen av buller däremot *beroende* av samtidig vibrationsnivå. Även Yokoshima och Tamura (2005) fann i sina fältstudier av allmän störning i områden med olika vibrationsnivå från tågtrafik att andelen mycket störda av buller varierade med styrkan på vibrationerna. Andelen störda av buller var högre (signifikant skillnad vid L_{Aeq} 51-55 dB) om vibrationerna var starka än om vibrationerna var svaga. Yokoshima och Tamura fann, till skillnad från resultaten i detta sömnexperiment, att allmän störning av vibrationer påverkades av bullernivå. Störning av vibrationer var högre vid samtidig förekomst av höga bullernivåer jämfört med vid låga bullernivåer (signifikant skillnad vid L_{Vmax} 56-60 dB).

Sammanfattningsvis visar resultaten från föreliggande studie att vibrationer har stor negativ inverkan på sömnen. Om vibrationerna är kraftiga (1,4 mm/s eller högre) räcker det inte att reducera ljudnivån, t.ex. genom ljudisolerande fönster eller bullerskärmar, för att minska sömnstörningar. Resultaten visar att en sänkning av vibrationsnivån till 0,4 mm/s påverkar sömnen positivt. Fältstudier med stor variation i buller- och vibrationsnivå behövs för att närmare belysa samband mellan sömnstörningar och exponering för buller och vibrationer.

6. REFERENSER

- Göransson, C. (1991). Vibrationer från tågtrafik - Jämförelse av två mätmetoder och olika riktvärden. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 1991:44.
- Paulsen, R. & Kastka, J. (1995). Effects of combined noise and vibration on annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 181 (2): 295-314.
- Yokoshima, S. & Tamura, A. (2005). Combined annoyance due to the shinkansen railway noise and vibration. *Proceedings of Inter Noise 2005*, Rio de Janeiro, Brazil 6-10 August, 2005.
- Öhrström, E. (2004). Samhällsbuller – Omfattning, hälsoeffekter och bedömning. I Miljökonsekvensbeskrivning och hälsa – Några föroreningskällor – beskrivning och riskbedömning. Socialstyrelsen 2004. ISBN 91-7201-866-6. Tryck: Bergslagens grafiska, Lindsberg, juni 2004.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (1995). Effekter av exponering för buller och vibrationer från tågtrafik - undersökningar i 15 tätorter. Rapport 1/95, Avdelningen för miljömedicin, Göteborgs universitet.
- Öhrström, E. & Skånberg, A. (1996). A field survey on effects of exposure to noise and vibration from railway traffic, part I: annoyance and activity effects. *Journal of Sound and Vibration*, 193 (1): 39-47.

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., Ögren, M., Jerson, T., Skånberg, A., Svensson, H. & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2008). Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet. Rapport 121, ISBN 978-91-7876-120-3. BV:s Dnr: S07-5094/AL50. TVANE Delstudie 1c, 2008, rev. maj 2009.

Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2008). Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise. Proceedings of the 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise (ICBEN) 2008, July 21-25, Foxwoods CT, USA. (Invited paper) (Available on CD, ISBN 978-3-9808342-5-4).

Appendix

1. Ljud- och vibrationsexponering vid sömnexperiment
2. Försökspersonernas sömn och sömnstörningar i hemmiljön

Ljud- och vibrationsexponering vid sömnextperiment

Mikael Ögren, tekn.dr

1. Inledning

1.1 Översikt

Denna rapport beskriver konstruktionen av en säng som vibrerar i vertikalled och hur denna säng har använts för att exponera personer för vibrationer i experimentella studier av påverkan av vibrationer och buller inom forskningsprojektet TVANE. Vibrationerna skall tillsammans med buller efterlikna en situation med nattlig tågtrafik i närheten av den tänkta bostaden. Figur 1.1 visar hur ett av de tre identiska sovrummen ser ut.



Figur 1.1: Ett av tre identiska sovrum i sömnlaboratoriet.

För att få ner kostnaden, utrymmeskraven och bullernivån från den vibrationsgenererande mekanismen valdes elektrodynamiska skakdon. Dessa har dock begränsningar i form av icke linjäriteter och svårigheter att ge tillräcklig uteffekt vid låga frekvenser, vilket beskrivs nedan tillsammans med de åtgärder som vidtogs för att optimera funktionen. I tidigare studier har mer avancerade hydrauliska skakdon använts, men då har man varit tvungen att använda olika former av inkapsling för att reducera det hörbara bullret från utrustningen [1, 2].

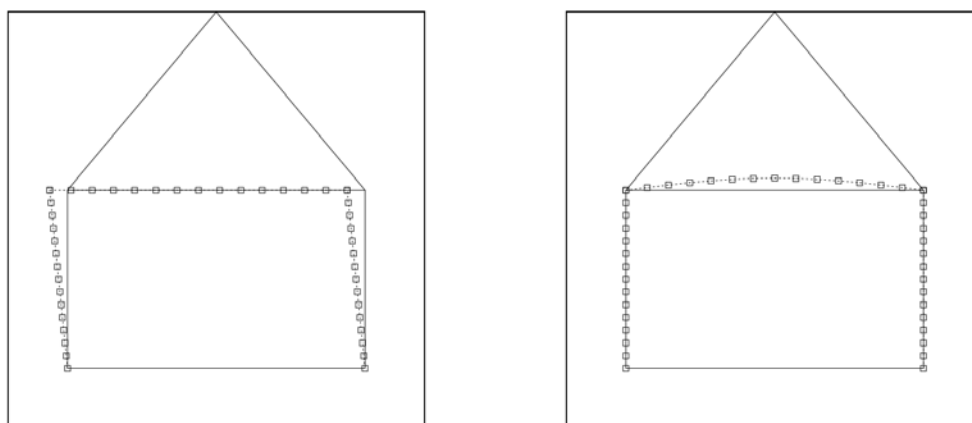
Rapporten beskriver först översiktligt hur vibrationerna genereras och transmitteras in i huskonstruktioner. Sedan beskrivs konstruktionen av vibrationsdonet, upplägg av exponering under experimentet samt osäkerhet i mätdata för de olika exponeringsfallen.

1.2 *Vibrationer från tågtrafik*

Järnvägstrafik genererar vibrationer i marken genom att kraften mellan hjul och räl varierar när tåget rör sig. Detta beror dels på att rälen är ojämn men också på att styvheten hjulet känner när axellasten pressar ner rälen varierar utmed spåret. De viktigaste parametrarna för vibrationsgenereringen är markens vibrationskänslighet, ojämnheternas storlek samt tågets vikt och hastighet [3].

Vibrationerna fortplantas genom marken som vågor och när de når ett hus så kan dessa vibrationer överföras till huskonstruktionen. Hur mycket dessa vågor dämpas mellan källan och mottagaren beror på den lokala geologin och på frekvensinnehållet i vågorna. För svenska förhållanden är den mest känsliga marktypen olika former av mjuk lera och problemen är mest uttalade när den dominerande frekvensen ligger i området 5-10 Hz [4].

I detta frekvensområde finns ibland resonanser i huskonstruktionen som ger kraftiga svängningar. Fenomenet kan ge kraftiga vibrationer horisontellt (resonanser där bjälklaget rör sig i sidled) och vertikalt (resonanser där bjälklaget böjer sig). Detta illustreras schematiskt i figur 1.2.



Figur 1.2: Skiss över vibrationsmoder.

Fältmätningarna inom TVANE-projektet har visat att de högsta nivåerna förekommer horisontellt, men ibland är de vertikala dominerande. Typiskt är också att vibrationerna är dominanta vertikalt närmast marken och horisontellt på våning två. Inga fastigheter med mer än två våningsplan (exklusive källare) har ingått i fältmätningarna av vibrationer inomhus.

På grund av begränsningar i vibrationsdonens prestanda som diskuteras nedan så valdes att endast vibrera sängen vertikalt. Detta motsvarar typiskt situationen vid markplanet.

1.3 Komfortvägd vibrationshastighet

I Svenska riktvärden anges vibrationens styrka i form av en så kallad komfortvägd nivå enligt SS 460 48 61 [5]. Denna standard anger hur man skall filtrera och räkna om den uppmätta signalen mätt på golvet så att man får ett enda värde per tågpassage. Resultatet är den maximala vibrationshastigheten med exponentiell tidsvägning om en sekund under passagen filtrerad med ett filter som skall motsvara ett medelvärde av människans känslighet för olika frekvenser i olika riktningar och kroppspositioner. Enheten blir mm/s.

Olika mätsystem använder olika typer av utdata vid mätning av vibrationer, t.ex. kan det vara acceleration eller hastighet och det kan vara både logaritmerat till dB-skalan eller givet i respektive enhet. Ett bra hjälpmedel för omräkning och för att få korrekt filtrering är utgivet av Naturvårdsverket [6]. Filtret som skall motsvara känsligheten är specificerat som en korrektionsfaktor vid olika frekvenser, och standarden hänvisar till ISO 8041.

I verkligheten vibrerar naturligtvis hela huset, men under våra experiment vibrerar vi endast sängen. Vi måste då ta hänsyn till eventuella moder i sängkonstruktionen. Inledningsvis i projektet beslutades att inte återskapa en komplex vibration utan att fokusera på vibrationer i en riktning. På grund av begränsningar hos vibrationsdonen valdes att vibrera endast i vertikalled, detta förklaras mer i detalj nedan. Då behöver vi inte ta hänsyn till hur sängen är riktad i förhållande till den tänkta järnvägen.

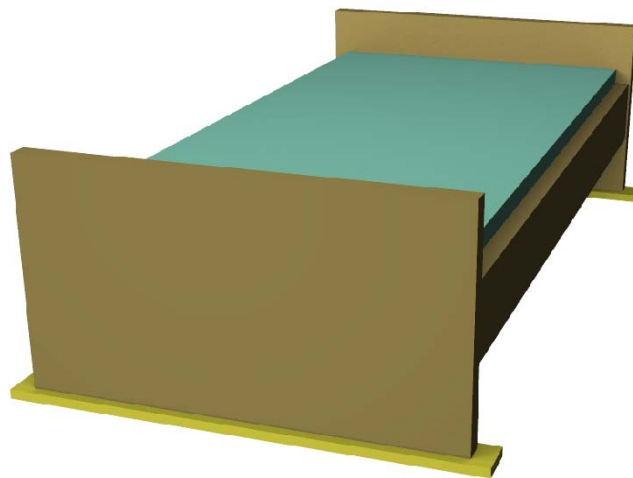
För att underlätta jämförelser med internationella studier redovisas också alla vibrationsvärden som acceleration med enhet m/s^2 samt huvudfrekvensen (10 Hz). Med hjälp av dessa data kan man räkna om till hastighet eller förskjutning och lägga till effekten av eventuella filter.

2. Konstruktion

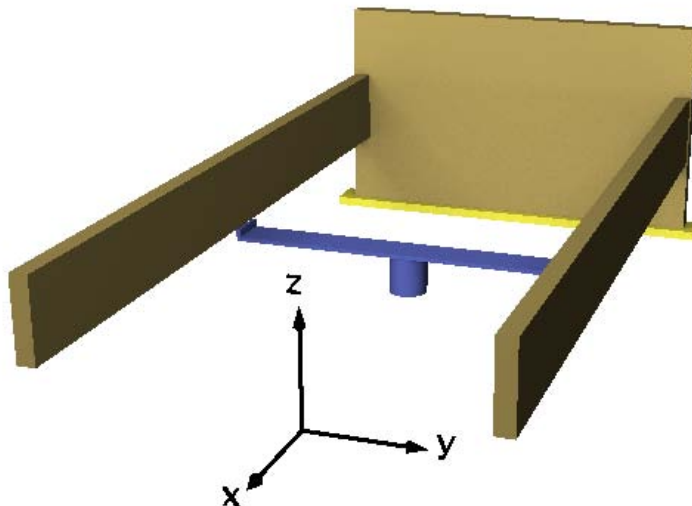
2.1 Sängen

Sängen består av en sängram med två balkar som förenar två gavlar, se figur 2.1 och 2.2. Här är också ett koordinatsystem infört som används i figurerna nedan. Vertikala vibrationer motsvarar riktning Z och X samt Y motsvarar horisontella. Madrassen består av en fjäderbotten som vilar på vinkeljärn fästa i balkarna. Gavlarna fungerar som sängens ben och är i kontakt med golvet utmed hela deras bredd.

För att frikoppla sängen från golvet placerades avlånga bitar av Sylomer på golvet under gavlarna, vilket syns tydligt i figur 2.1. Lägsta möjliga resonansfrekvens med rimligt ytryck blev ca 15 Hz och vi valde till slut att använda gul Sylomer (datablad se <http://www.cbab.se/>).



Figur 2.1: Skiss av sängen.



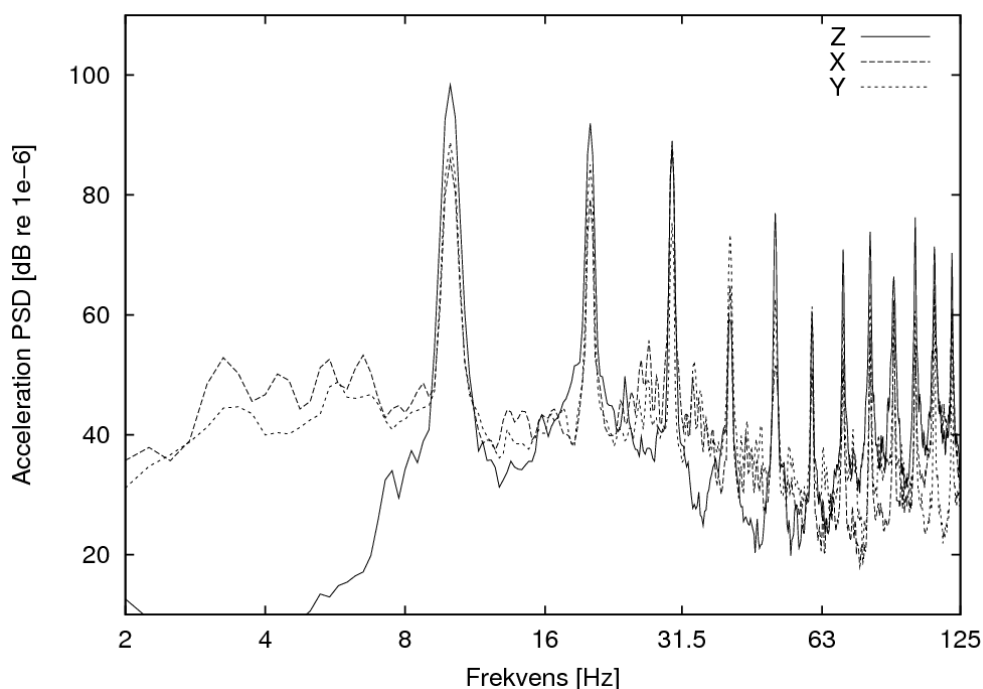
Figur 2.2: Skiss av sängen med fjäderbotten och en gavel bortplockade.

2.2 Vibrationsdon

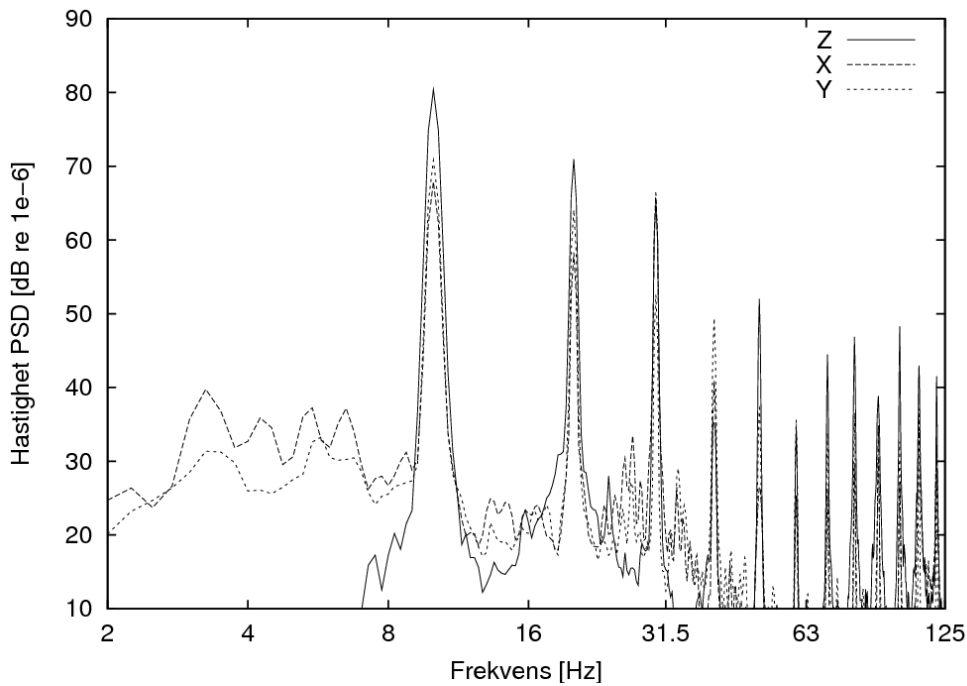
För att hålla nere pris och utrymmeskrav valdes elektrodynamiska skakdon. Dessa används normalt till hemmabiosystem och skruvas fast i möbler, men nyttjas också för att vibrera dansgolv eller biostolar. Donens funktionsprincip är att de med hjälp av ett starkt magnetfält genererat av en spole accelererar en massa inne i konstruktionen. Detta ger upphov till en reaktionskraft på donet som överförs till sängen som donet är fastskruvat i.

Ju lägre frekvens man försöker reproducera, desto längre slaglängd måste massan ha för att ge samma kraft. Till slut når man någon form av utslagsbegränsning som ser till att massan ej hoppar ur magnetfältet och då får man distortion. Så vid låga frekvenser är det svårt att generera tillräckligt med kraft utan distortion (dvs. ”missljud” eller kraftiga vibrationer på de övertoner som hör till grundtonen man försöker återge). I vårt fall visade det sig att frekvenser under 10 Hz gav väldigt höga distortionseffekter.

Ett sätt att studera distortionseffekterna är att se hur spektrumet ser ut, i figur 2.3 redovisas uppmätt acceleration när donet drivs av en ren sinuston vid 10 Hz. Mest relevant för upplevd vibration är hastigheten och i spektrumet i figur 2.4 kan vi se att första övertonen är ca 10 dB lägre än huvudkomponenten, varför det är liten risk att de mer högfrekventa vibrationerna skall påverka själva upplevelsen. Det visade sig också vid praktiska försök att distortionen var lägst när donen placerades vertikalt och ökade markant när de placerades horisontellt. Detta är förmodligen kopplat till friktion emot ytor som den vibrerande massan kommer i kontakt med när donet lutar på sidan.



Figur 2.3: Spektrum (PSD) av accelerationen i tre riktningar (Z vertikalt, X och Y horisontellt) vid sängens gavel.

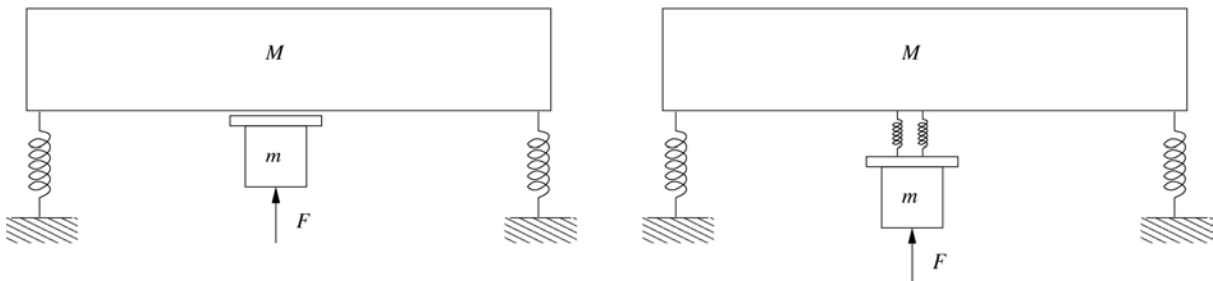


Figur 2.4: Spektrum (PSD) av hastigheten i tre riktningar riktningar (Z vertikalt, X och Y horisontellt) vid sängens gavel.

En effekt av distortionen är att man får ljudutstrålning. Om donet drivs med en låg frekvens (i vårt fall 10 Hz) så är ljudet som strålas ut vid denna frekvens ohörbart, men övertonerna är i det hörbara området. Ljudet strålas ut direkt ifrån donet självt men också indirekt via vibrationer i sängstommen. Så att minimera distortionen är viktigt för att störande ljud inte skall uppstå. I vår tillämpning var övertonerna i intervallet 100 – 500 Hz de mest problematiska.

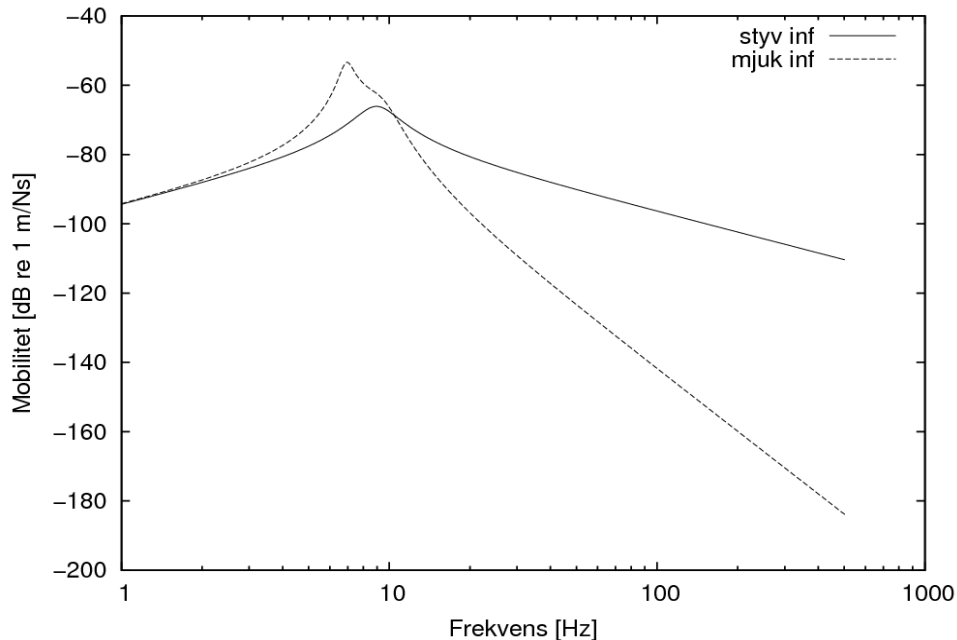
2.3 Resonant infästning

För att minska effekterna av övertoner, dels i form av vibrationer och dels som oönskad ljudutstrålning byggdes ett mekaniskt filter mellan sängstommen och vibrationsdonet. Detta bildar tillsammans med sängens massa och fjäderstyvhets hos infästningen och mellanlägg mellan sängkonstruktion och golv ett mekaniskt system som för vertikala vibrationer schematiskt kan beskrivas som i figur 2.5. Totalvikten för sängen inklusive försöksperson M varierar naturligtvis, men antogs bli ungefär 100 kg för att välja styvhet och andra materialparametrar för avkopplingen mot golvet. Vibrationsdonets statiska vikt m är ungefär 5 kg.



Figur 2.5: Schematisk bild över sängen och infästning av vibrationsdonet för vertikala vibrationer (styv infästning vänster och mjuk höger).

Utifrån ovanstående data kunde vi simulera den mekaniska punktmobiliteten av systemet sett från infästningspunkten, se figur 2.6. Mobiliteten beskriver hur mycket sängen vibrerar givet samma kraft in i systemet och vi får två gynnsamma effekter av den mjuka infästningen. Dels leder den kraften vi genererar vid 10 Hz till mer vibrationer eftersom systemet har en resonans i närheten av detta område, men framförallt så får vi mindre vibrationer på höga frekvenser. Detta betyder mindre övertoner, dvs. mindre oönskade vibrationer och ljud.



Figur 2.6: Beräknad punktmobilitet för vertikala vibrationer.

För att ytterligare minska det utstrålade ljudet så bäddades skakdonet in i ett tjockt lager mineralull och ett ljudisolerande lager i form av en nålfiltsmatta infördes mellan sängstommen och bäddmadrassen. Tillsammans sänkte dessa båda insatser den maximala A-vägda ljudnivån i en punkt 5 cm ovanför kudden med ca 8 dB, vilket gav en nivå på 21 dB. Det var dock möjligt att höra missljud om man låg på sidan med örat tryckt mot kudden om det var tyst i rummet. Med tillhörande ljud från tågpassager bedömdes dock de störande ljuden vara svåra att uppfatta. Eftersom det är svårt att mättekniskt efterlikna fallet med örat tryckt mot kudden kunde inga mätningar för att verifiera detta göras. Den mjuka (fjädrande) infästningen konstruerades efter diverse experimenterande av en träribba infäst med distanser i sängkonstruktionens långa balkar, se figur 2.2 (blå färg är vibrationsdon och infästning). Träribban och donet justerades in till en resonansfrekvens mellan 10 och 15 Hz genom att hyvla bort material gradvis. Figur 2.7 visar den slutliga konstruktionen.



Figur 2.7: Vibrationsdon och mjuk (fjädrande) infästning.

3. Design och exponering

3.1 Försöksdesign

Försöksupplägget designades för att kunna använda ljudexponeringen från det tidigare sömnförsöket i TVANE-projektet där skillnaden mellan tåg- och vägtrafikljud studerades, se [7]. Utgående från de inspelade tågpassagerna genererades vibrationssignaler av samma längd, men enbart för godstågspassager. Andra tåg genererar mycket svaga vibrationer i jämförelse med godstågen, minst en faktor 10 svagare [4], och därför användes ingen vibration alls för dessa.

Det är dessutom vanskligt att återskapa mycket svaga vibrationer med vibrationsdonen på grund av intern friktion. Ytterligare en kompromiss som blev nödvändig på grund av de icke linjära egenskaperna hos donen var att alla godstågspassager ansågs ge lika starka vibrationer. De stora skillnaderna i kalibrering hos de tre parallella systemen skulle göra det nödvändigt med ett mer avancerat system för att generera signalerna om de olika passagerna skilde sig åt i styrka. Sammantaget leder detta till att vibrationseffekterna överskattas något för godstågspassagerna eftersom i verkligheten skulle en del av dem inte ge upphov till så starka vibrationer. Att inte ta med andra tåg än godståg är inget stort problem, möjligen med undantag för om man vill simulera platser där markegenskaperna tillsammans med persontåg i hög hastighet generar en så kallad bogvåg som kan ge kännbara vibrationer.

För att få med typiska tidsvariationer studerades de många godstågspassagerna som Hannelius presenterar i SJ Meddelande 36 [3] och ett typiskt beteende är att vibrationerna som genereras av godståg i 70 – 100 km/h är modulerade med ungefär 0.2 Hz. Utöver detta inträffar mer uttalade minimum med lite olika intervall. För att få ett liknande beteende genererades en grundsignal som sedan upprepades till rätt passagetid för de olika godstågen. Signalen har en huvudfrekvens på 10 Hz, och moduleras med 0.2 Hz. Dessutom läggs ett extra djupt minimum in per 15 s, vilket ger ett extra djupt minimum var tredje gång signalen minskar efter en topp.

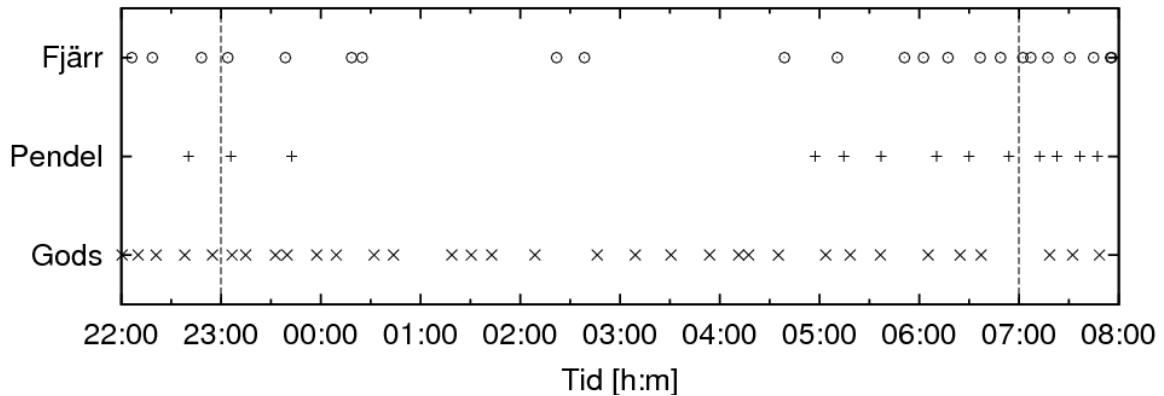
Tidpunkt, tågtyp och data för buller- och vibrationsexponering för varje passage redovisas i tabell 3.1 för exponeringssituationen med höga bullernivåer. Maximalnivån för varje passage i fallet med lägre ljudnivåer kan beräknas som nivån i tabell 3.1 minus 6 dB.

Tabell 3.1: Tågtyp, L_{AFmax} , vibrationsnivå och tid som ljudnivån översteg 35 dB för varje passage (T_{35}). Under sovperioden kl. 23-07 förekom 5 godståg med en L_{AFmax} -nivå på 53,9 dB.

Tid [h:m]	Tågtyp	L_{AFmax} [dB]	Vib. [mm/s]	T_{35} [s]		Tid [h:m]	Tågtyp	L_{AFmax} [dB]	Vib. [mm/s]	T_{35} [s]
22:00	Gods	51,5	1,4	12,3		04:11	Gods	53,9	1,4	25,6
22:06	Fjärr	48,0	-	7,5		04:17	Gods	46,4	1,4	46,1
22:10	Gods	46,4	1,4	46,1		04:35	Gods	49,2	1,4	25,6
22:18	Fjärr	48,0	-	7,5		04:39	Fjärr	48,0	-	7,5
22:20	Gods	50,9	1,4	26,3		04:57	Pendel	42,1	-	6,6
22:38	Gods	53,9	1,4	25,6		05:03	Gods	50,9	1,4	26,3
22:40	Pendel	42,1	-	6,6		05:10	Fjärr	49,6	-	8,2
22:48	Fjärr	49,6	-	8,2		05:14	Pendel	41,8	-	8,3
22:54	Gods	51,5	1,4	12,3		05:18	Gods	53,9	1,4	25,6
23:04	Fjärr	46,0	-	9,2		05:36	Gods	51,5	1,4	12,3
23:05	Pendel	41,8	-	8,3		05:37	Pendel	43,1	-	8,5
23:06	Gods	46,4	1,4	46,1		05:51	Fjärr	48,0	-	7,5
23:14	Gods	53,9	1,4	25,6		06:02	Fjärr	48,0	-	7,5
23:32	Gods	49,2	1,4	25,6		06:05	Gods	49,2	1,4	25,6
23:38	Fjärr	41,6	-	3,8		06:10	Pendel	42,1	-	6,6
23:39	Gods	50,9	1,4	26,3		06:17	Fjärr	49,6	-	8,2
23:42	Pendel	43,1	-	8,5		06:24	Gods	50,9	1,4	26,3
23:57	Gods	49,2	1,4	25,6		06:29	Pendel	41,8	-	8,3
00:09	Gods	53,9	1,4	25,6		06:36	Fjärr	46,0	-	9,2
00:18	Fjärr	48,0	-	7,5		06:37	Gods	51,5	1,4	12,3
00:24	Fjärr	48,0	-	7,5		06:49	Fjärr	41,6	-	3,8
00:32	Gods	51,5	1,4	12,3		06:53	Pendel	43,1	-	8,5
00:43	Gods	46,4	1,4	46,1		07:02	Fjärr	48,0	-	7,5
01:18	Gods	51,5	1,4	12,3		07:07	Fjärr	48,0	-	7,5
01:30	Gods	46,4	1,4	46,1		07:12	Pendel	42,1	-	6,6
01:42	Gods	50,9	1,4	26,3		07:17	Fjärr	49,6	-	8,2
02:08	Gods	53,9	1,4	25,6		07:18	Gods	53,9	1,4	25,6
02:21	Fjärr	48,0	-	7,5		07:22	Pendel	41,8	-	8,3
02:38	Fjärr	49,6	-	8,2		07:30	Fjärr	46,0	-	9,2
02:46	Gods	51,5	1,4	12,3		07:32	Gods	50,9	1,4	26,3
03:09	Gods	46,4	1,4	46,1		07:36	Pendel	43,1	-	8,5
03:30	Gods	50,9	1,4	26,3		07:44	Fjärr	41,6	-	3,8
03:54	Gods	51,5	1,4	12,3		07:47	Pendel	41,8	-	8,3
						07:48	Gods	46,4	1,4	46,1
						07:55	Fjärr	46,0	-	9,2
						07:55	Fjärr	48,0	-	7,5

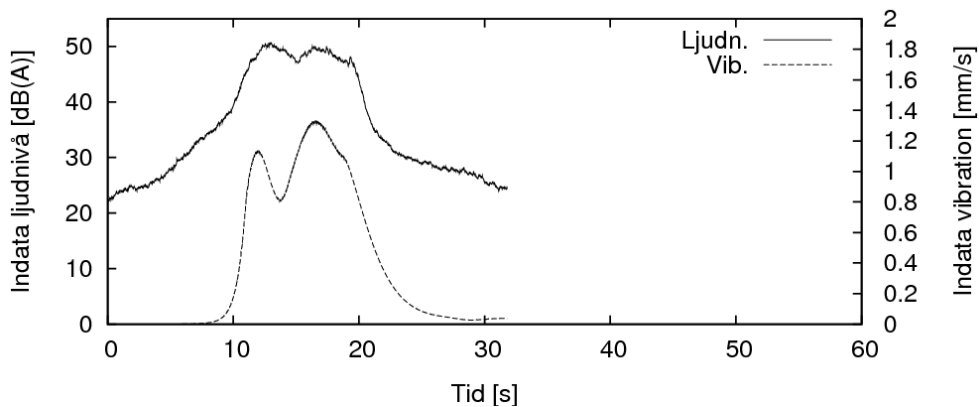
3.2 Exponering och mätosäkerhet

Totalt fem inspelningar av godståg användes för att generera bullerdelen av exponeringen, och de fördelades tillsammans med tre olika pendeltågspassager och fem fjärrtågspassager (tre snabbtåg och två loktåg) enligt figur 3.1, och tabell 3.1. Ljud och vibrationer startades kl. 22 och stoppades kl. 08, men själva sovperioden var från kl. 23 till kl. 07.

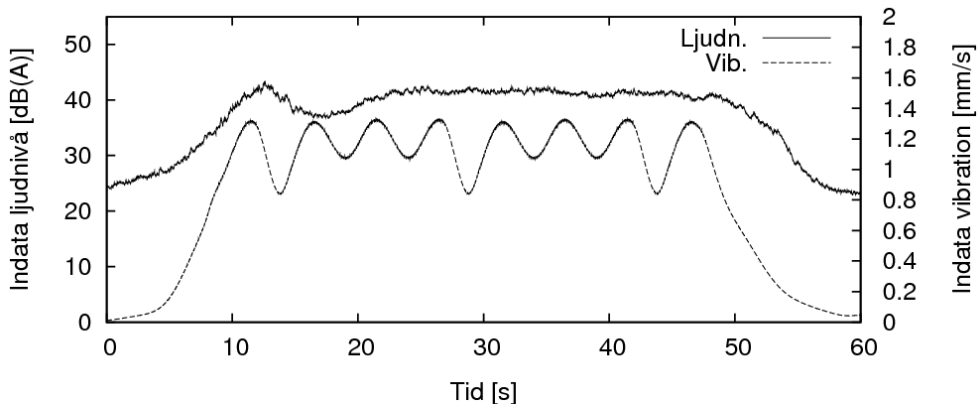


Figur 3.1: Buller- och vibrationshändelser, endast godstågspassager ger vibrationer.

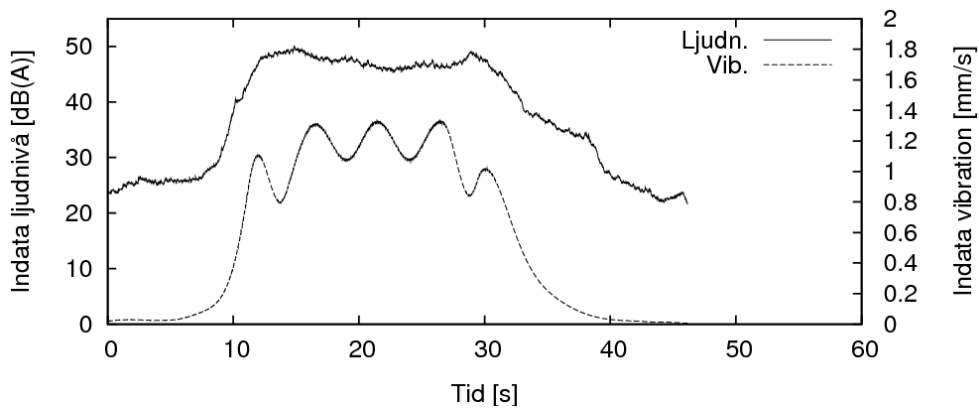
I figur 3.2 till 3.6 presenteras indata för ljudnivå och vibrationsnivå för de fem olika godstågspassager som användes. Notera att detta inte är den slutliga uppmätta nivån inne i sovrummen, utan de "börvärden" som styrsystemet genererade. Passagetiden är som synes oftast kring 30 s, men är betydligt kortare för passagen i figur 3.2 och betydligt längre för figur 3.3.



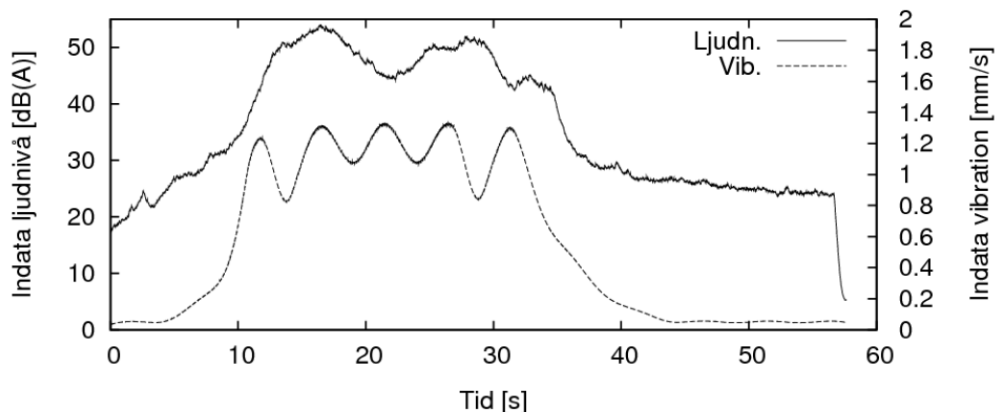
Figur 3.2: Indata till högtalare och vibrationsdon för godstågspassage nr 1.



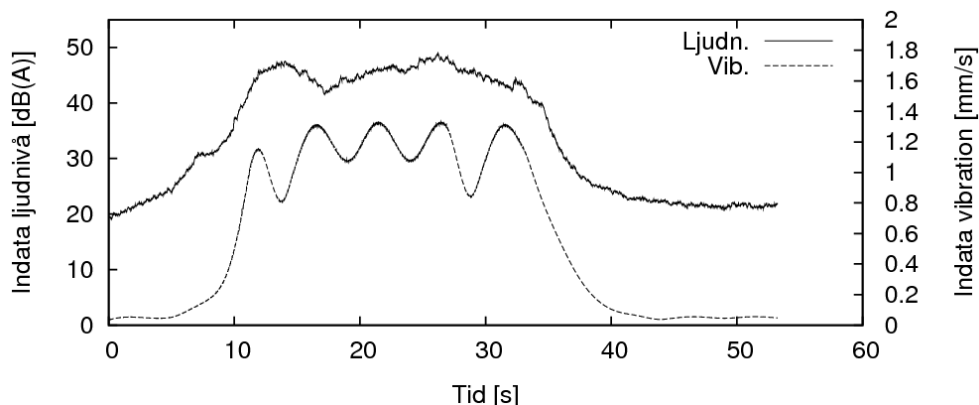
Figur 3.3: Indata till högtalare och vibrationsdon för godstågspassage nr 2.



Figur 3.4: Indata till högtalare och vibrationsdon för godstågspassage nr 3.



Figur 3.5: Indata till högtalare och vibrationsdon för godstågspassage nr 4.



Figur 3.6: Indata till högtalare och vibrationsdon för godstågspassage nr 5.

I tabell 3.2 presenteras buller och vibrationer uppmätt på plats inne i labbet med tidsvägning SLOW (för vibrationer) respektive FAST (för buller). Detta är detsamma som en exponentiell tidsvägning med tidskonstant 1 s respektive 0,125 s. Vibrationsvärdena anges som vägd nivå enligt SS 460 48 61, men också som ovägd acceleration för att underlätta jämförelser med internationella studier. Övriga detaljer för bullerexponeringen var samma som för tågtrafikljudet under det föregående sömnförsöket [7], med enda skillnaden att nivån sänktes 6 dB för en av exponeringarna. Den ekvivalenta nivån sänktes då endast 3 dB eftersom den påverkas av bakgrundsnivån som var 25 dB under hela försöket.

Tabell 3.2: Buller- och vibrationsexponering under experimentet.

	54 dB	54 dB	48 dB
	Starka vibrationer	Svaga vibrationer	Starka vibrationer
Max (FAST) SPL [dB(A)]	54	54	48
Ekvivalent SPL [dB(A)]	31	31	28
Bakgrundsljudnivå [dB(A)]	25	25	25
Vibrationer SS 460 48 61 [mm/s]	1,3 ±0,1	0,3 ±0,075	1,3 ±0,1
Max (SLOW) acceleration [m/s^2] (10 Hz)	0,087 ±0,007	0,020 ±0,005	0,087 ±0,007
Antal passager totalt kl. 23-07	46	46	46
Antal godstågspassager kl. 23-07	25	25	25

Tabell 3.3: Utrustning.

	Typ	Nr/märkning
Accelerometer	Brüel & Kjær 8306	A,B,C
Accelerometer	PCB 393B12	7175
Analysator	Head Acoustics SQuadriga	13690177

För att bestämma vibrationshastigheten användes accelerometrar av typ Brüel & Kjær 8306, som kalibrerades via jämförelse mot en i sin tur kalibrerad accelerometer. Detaljerna ges i tabell 3.3. Mätningarna genomfördes på sängens ramverk nära gaveln, och vibrationshastigheten i vertikal riktning är samma här som på golvet vid foten av sängen (med golvet åsyftas här överdelen av vibrationsisoleringen, själva golvet i labbet vibrerar inte). Vid 10 Hz vibrerar båda gavlarna i fas, och vid mätning mitt på den bärande balken som förbinder sänggavlarna är mätvärdet ca 10 % högre. Inga mätningar genomfördes på den mjuka delen av madrassen eller på själva personen i sängen. Exakt vad överföring från golvet till den sovande ger är beroende av madrassens egenskaper och personens vikt, men eftersom man utgår ifrån vibrationsnivån på golvet när man mäter enligt standard är detta den relevanta positionen även i sömnexperimentet.

Osäkerheten i de angivna mätvärdena kommer i första hand från skillnader i försökspersonernas vikt, och på grund av att styvheten i infästningen och vibrationsdonets egenskaper varierade mellan de tre sängarna ökar spannet ytterligare. Osäkerheten i värdena som anges i tabell 3.2 uppskattades utifrån mätningar på fyra personer vars vikt varierade från 50 kg upp till 100 kg. Speciellt en av sängarna var känslig för vikter över 90 kg och avvek då ca 20 % från övriga sängar, vilket beror på hur resonanserna i upphängningen samverkar med vibrationsdonets egenskaper. Försökspersonernas vikt varierade dock i ett snävare intervall, men eftersom de inte vägdes kan vi bara uppskatta att de flesta var i intervallet 55 – 85 kg (inga uppenbart överviktiga personer ingick i gruppen).

Referenser

- [1] Arnberg, P., Bennerhult, O., & Eberhardt J. (1990). Sleep disturbance caused by vibrations from heavy road traffic. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88(3):1486–1493.
- [2] Arnberg, P. & Kloow, T. (1985). Vibrations- och bullerstörningseffekt i bostäder. Technical Report TR 6.850.01, Stockholm, 1985.
- [3] Hannelius, L. (1978). Vibrationer från tung tågtrafik – Problemställningar vid byggnadsplanering och grundläggning. SJ Meddelande 36. Statens Järnvägar, Stockholm, 1978.
- [4] Hassan, O. (2007). *Train-induced Groundbourne Vibrations and Noise in Buidlings*. Multi-Science Publishing, 2007. ISBN 0906522 439.
- [5] SS 460 48 61 vibrationer och stöt - mätning och riktvärden för bedömning av komfort i byggnader. SIS Förlag AB, 1992.
- [6] Lathund för omvandling mellan olika vibrationsstorheter. Statens Naturvårdsverk och SP, PM 1993-02-19.
- [7] Öhrström, E., Ögren, M., Jerson, T., Skånberg, A., Svensson, H. & Gidlöf-Gunnarsson, A. (2008). Effekter på sömnen av buller från vägtrafik och tåg: Experimentella studier i sömnlaboratorium. Arbets- och miljömedicin, Sahlgrenska Akademin vid Göteborgs universitet.

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				
	<i>Sällan/ aldrig</i>	<i>Några gånger i månaden</i>	<i>Någon gång i veckan</i>	<i>Nästan varje dag</i>
Brucar Du ha svårt att somna?	48	33	5	14
	<i>< 15 minuter</i>	<i>15-30 minuter</i>	<i>30-60 minuter</i>	<i>> 60 minuter</i>
Hur lång tid brukar det ta för dig att somna? (%)	52	33	10	5

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

Uppvaknanden hemma				
	<i>Sällan/ aldrig</i>	<i>Några gånger i månaden</i>	<i>Någon gång i veckan</i>	<i>Nästan varje natt</i>
Brucar Du vakna på natten? (%)	33	24	19	24

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

Sömnkvalitet och trötthet hemma					
	<i>Mycket dåligt</i>	<i>Dåligt</i>	<i>Inte särskilt bra</i>	<i>Ganska bra</i>	<i>Mycket bra</i>
Hur brukar Du vanligtvis sova? (%)	-	5	5	57	33
	<i>Mycket trött</i>	<i>Trött</i>	<i>Ganska trött</i>	<i>Ganska pigg & utvilad</i>	<i>Mycket pigg & utvilad</i>
Hur känner Du dig vanligtvis när Du vaknar på morgonen? (%)	14	29	24	33	-
Sömnkvalitet och trötthet hemma				Medelvärde (sd)	
Kan Du beskriva mer exakt hur Du brukar sova? (skala 0-10, 0=mycket dåligt, 10=mycket bra)				7,4 (2,06)	
Hur känner Du dig mer exakt när Du vaknar på morgonen? (skala 0-10, 0=mycket trött, 10=pigg och utvilad)				5,0 (2,47)	

