



LUND UNIVERSITY

Trafikbullers inverkan på sömnen hos unga och äldre män

Eberhardt, Jacob; Akselsson, Roland; Carlsson, Lars-Eric; Redinge, Christer

1980

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Eberhardt, J., Akselsson, R., Carlsson, L.-E., & Redinge, C. (1980). *Trafikbullers inverkan på sömnen hos unga och äldre män*. (SNV kontrakt nr 7-163/76-77, nr 7-390/77-79). [Publisher information missing].

Total number of authors:

4

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

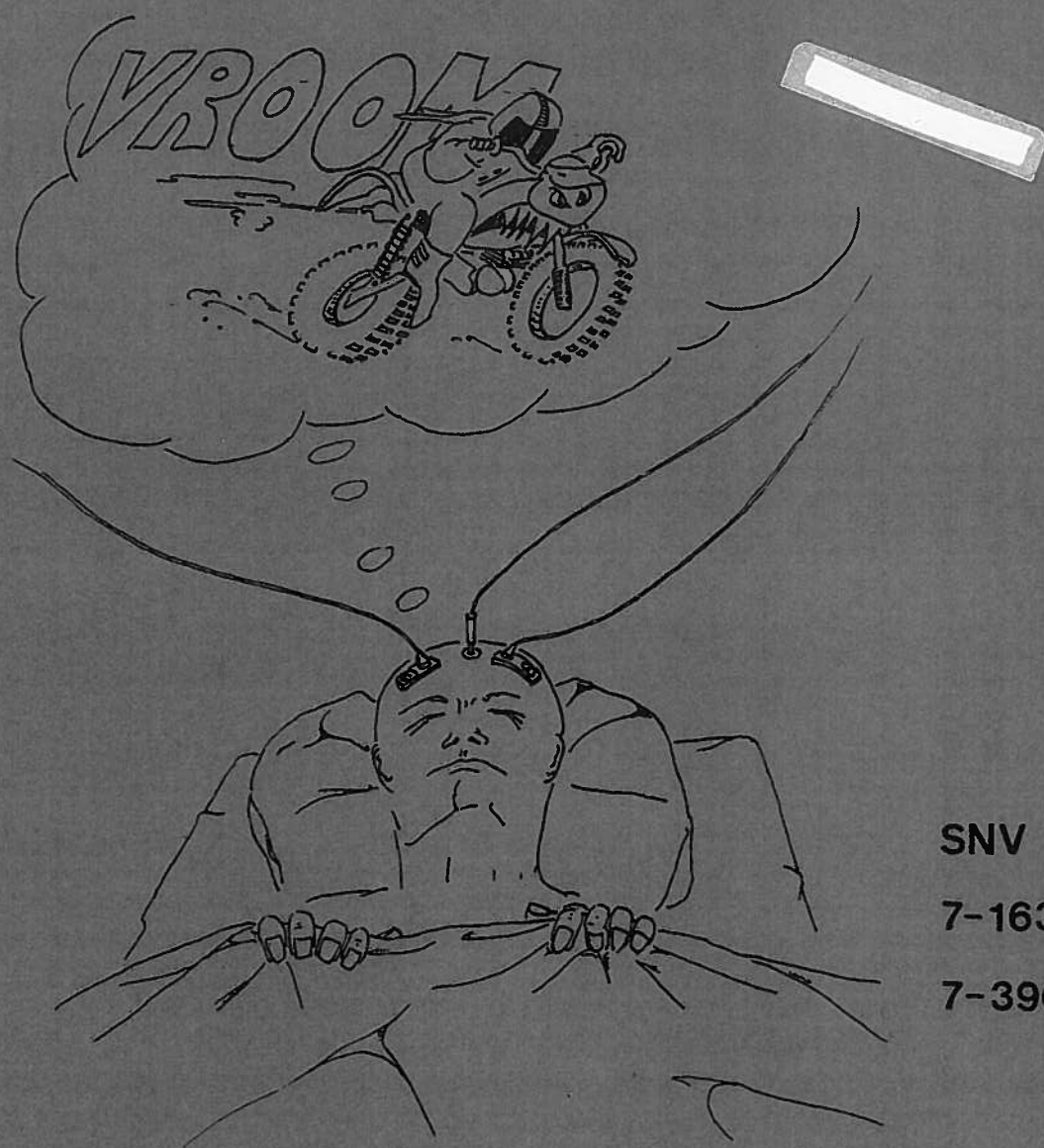
TRAFIKBULLERS INVERKAN PÅ SÖMNINGEN
HOS UNGA OCH ÄLDRE MÄN.

Jacob Eberhardt

Roland Akselsson

Lars-Eric Carlsson

Christer Redinge



SNV kontraktsnr.

7-163/76-77

7-390/77-79

TRAFIKBULLERS INVERKAN PÅ SÖMNINGEN
HOS UNGA OCH ÄLDRE MÄN

Jacob Eberhardt, Roland Akselsson, Lars-Eric Carlsson, Christer Redinge
Institutionen för Hygien, Lunds Universitet

SNV kontrakt nr 7-163/76-77
nr 7-390/77-79

juni 1980

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sida
1. Sammanfattning	1
2. Inledning	3
3. Metodik	4
3.1 Allmänt	4
3.2 Fysiologiska registreringar	5
3.3 Bullerexposition och bullerregistrering	6
3.4 Val av försökspersoner	6
3.5 Försökens genomförande	7
3.6 Skattningar och bearbetningar	8
4. Utvärdering och resultat	10
4.1 Helnattsbedömningar av sömnen	10
4.2 Akuta störningar	17
5. Bullerexponeringen	21
6. Utvärderingen av morgonenkäten	22
7. Konklusioner och diskussion	23
7.1 Försöksgruppen unga män	23
7.2 Försöksgruppen äldre män	26
7.3 Jämförelse mellan unga och äldre mäns normalsömn	27
7.4 Morgonenkäten	28
7.5 Slutkonklusioner	29

Appendix

Referenser

Tabeller

Figurer

1 SAMMANFATTNING

Trafikbullers inverkan på sömnen har undersökts medelst EEG-, EOG- och EMG-registreringar på sju unga män (21-27 år) och sex äldre män (63-74 år) i deras vanliga hemmiljö längs hårt trafikerade vägar (trafikintensitet cirka 450 fordonspassager med toppbullernivå överstigande 40 dB(A) per natt).

Effekten av dämpning (cirka 10 dB(A)) av inomhusbullret genom montering av ljudisolerande plattor i fönsteröppningarna studerades.

För unga män ökade andelen djup sömn (orto-3, -4) när ljudnivån i sovrummet sänktes med 10 dB(A). Dessutom ökade tiden i orto-23-sömn signifikant under nattens senare del.

Effekten av bullerdämpningen för äldre män var huvudsakligen en minskning av insomningstiden samt en minskning av vakentiden under natten.

Båda grupperna försökspersoner kom tidigare i djup orto-4-sömn under nätter med dämpning.

För båda grupperna konstaterades en paradoxal ökning av antalet skift per natt mellan olika sömnstadier när ljudnivån sänktes. Likaså ökade antalet muskeltonushöjningar under nätter med dämpning.

Det kunde med 95% signifikans påvisas att både sömnstadieskift till mindre djup sömn och muskeltonushöjningar förekommer som akuta svar på enstaka fordonspassager, dock är dessa akuta störningar så fåtaliga att de är försumbara jämfört med de sömnstadieskift och muskeltonushöjningar som inte är korrelerade till fordonspassager.

En morgonenkät visade inte att unga män upplevde sömnen som

bättre efter dämpning av ljudet i sovrummet, men de uppgav oftare att de inte hade vaknat någon gång under natten. Äldre män däremot uppgav att de sovit bättre, somnat lättare och känt sig mera utvilade efter nätter med dämpning.

2 INLEDNING

I vårt moderna samhälle har trafikbuller utvecklats allt mer till en störande miljöfaktor¹, som kan inverka på människans hälsa och välbefinnande. Många forskarlag, såväl i Sverige som i utlandet, har undersökt trafikbullers inverkan på sömnen, via registrering av fysiologiska sömnparametrar och via studier av hur sömnen upplevs subjektivt; dessutom har man undersökt hur prestationsnivån påverkas^{2,3}. Frågeställningar som dos-respons samband, individens förmåga till habituering, störningskänslighetsfördelning inom populationen m m har däremot otillräckligt belysts.

Sömn och dess störningar

I fysiologiska sömnstudier kan sömnen karakteriseras med hjälp av 3 parametrar - elektronisk hjärnaktivitet (elektroencefalografi - EEG), ögonrörelser (elektrookulografi - EOG) samt muskeltonus (elektromyografi - EMG). Två typer av sömn kan urskiljas: 1. REM-sömn (Rapid Eye Movement), karakteriserad av ett vaken-liknande EEG, snabba ögonrörelser och låg muskeltonus; under REM-sömnen har man huvudparten av sina drömmar. 2. Orto-sömn, som kan indelas i 4 stadier av tilltagande djup karakteriserade av en ökad andel deltaaktivitet (vågor med frekvens 1-2 Hz) i EEG-registreringen. För en kortfattad redogörelse om sömn hänvisas till ref. 4.

Tre olika grader av sömnstörningar kan definieras⁵:

1. Väckning
2. Sömnstadieskift, som inte leder till väckning
3. Korta ändringar i EEG, som inte ger anledning till en ändring i sömnstadium.

Dessutom uppträder reaktioner i det autonoma nervsystemet. Detta leder till ökningar i hjärtfrekvens, perifer vaso-konstriktion m m² (se också ref. 4 och ref. där).

Frågeställningar

Detta projekt är en naturlig fortsättning av Stråles undersökningar i laboratoriemiljö^{4,6} (SNV 7-163/73-75). Avsikten med undersökningen är att medelst objektiva mätmetoder undersöka sömnstörningar p g a trafikbuller i individens vanliga hemmiljö.

Följande frågor skall belysas:

1. Finns korrelation mellan studier utförda i laboratoriemiljö och i hemmiljö?
2. Har försökspersonerna, vilka bott långt hårt trafikerade vägar, habituerats till sin vanliga, bullriga miljö?
3. Är det möjligt att, med hjälp av lämpliga ljudisoleringsåtgärder, minska risken för sömnstörningar p g a nattligt trafikbuller?
4. Hur ändras känsligheten för sömnstörningar p g a buller med åldern?

I detta projekt har akuta störningseffekter, orsakade av enstaka fordonspassager såsom sömnstadieskiften, uppvaknande och muskeltonushöjningar, studerats. Hur det totala sömnmönstret för en hel natt påverkas, då en person utsätts för trafikbuller, har även undersökts.

Denna rapport kompletterar och ersätter tidigare delrapporter⁷⁻¹².

3 METODIK

3.1 Allmänt

För att besvara frågeställningarna, som beskrivs ovan, har försökspersonerna fått sova hemma i sin vanliga buller-

miljö. Tillvänjning till försöksmiljön blir därmed reducerad till ett minimum. Varje serie av registreringsnätter har föregåtts av minst två tillvänjningsnätter. Bullerexponeringen har varierats för varje försöksperson genom att montera ljudisolering i fönsteröppningarna.

Sömn djupet har registrerats kontinuerligt nätterna igenom med hjälp av EEG, EOG samt EMG (se nedan).

Registreringarna har sedan analyserats beträffande bullernivå, momentana effekter, möjligtvis förorsakade av enstaka fordonspassager, och fördelning av de olika sömnstadierna. Resultaten har därefter stansats på hålkort för senare dataanalys.

För att få en uppfattning om de subjektiva upplevelserna av sömnens kvalitet fick försökspersonerna fylla i en enkel kvälls- och morgonenkät.

3.2 Fysiologiska registreringar

Elektroder för registrering av EEG, EOG, EMG och i vissa fall EKG, applicerades på försökspersonerna och hölls på plats med en elastisk tubnät "strumpa". För sömnskattningarna användes C_3-A_2 eller C_4-A_1 avledningen enligt den internationella 10-20 metoden (se fig 1). En känslig detektering av alfa-aktivitet erhöles via P_3-P_4 -avledningen.

EMG avleddes från ett elektrodpar under hakan och två EOG-avledningar erhöles från 3 elektroder, placerade på näsbryggan och tinningsbenen enligt fig 1.

Signalerna förstärktes och överfördes till en experimentbuss på gatan via ett Kaiser 8-kanals FM-telemetrisystem. Efter filtrering av signalerna genom bandfilter med lämplig bandbredd registrerades informationen på papper medelst en 8-kanals Mingograf (Siemens-Elema).

3.3 Bullerexposition och bullerregistrering

Försökspersonerna utsattes för två typer av bullerexposition: 1. Den vanliga bullermiljön och 2. en med $10_{\pm 5}$ dB(A) reducerad bullernivå genom ljudisolering av sovrummet.

För att ljudisolera sovrummet användes 5 cm tjocka plattor av byggnadsisoleringsmaterial (Gullfiber), överdragna med plästfolie som skydd; plattorna pressades i fönsteröppningarna.

Ljudnivån utomhus mättes med utomhusbullermätare (Brüel & Kjaer typ 4921) monterad under fönstret 60 cm från väggen. Via en kabel överfördes bullerintensitetssignalen till experimentbussen. För registrering av inomhusbullret användes en bullermätare av fabrikat Brüel & Kjaer typ 2204, som var placerad nära sängen. Signalen från denna bullermätare sändes till experimentbussen via telemetriutrustningen. Signalamplituderna, proportionella till bullerintensiteten, transformerades i speciellt för detta ändamål byggda lin/log-omvandlare till signaler med amplituder proportionella till bullernivån i decibel. Bullernivåerna registrerades på papper medelst Mingografen. Dessutom registrerades utomhusbullret på magnetband. Fig 2 ger en översikt över mätuppställningen.

Under registreringsnätterna övervakades sovrummets temperatur och fuktighetsgrad, då en ändring av dessa parametrar kan påverka sömnmönstret.

3.4 Val av försökspersoner

Med hjälp av dels hälsovårdsnämndens trafikbullerundersökningar, dels egna bullermätningar och trafikräkningar selekterades lämpliga gator, med tung nattrafik, i Helsingborg och Malmö. Via mantalslängden uppletades försökspersoner av önskad ålder och kön, boende längs dessa gator. Av de

frivilligt anmälda män utsågs sju stycken i åldern 21-27 år och sex stycken i åldern 63-74 år till försöken.

Försökspersonernas hörsel undersöktes före varje experimentserie (fig 3). Äldre män uppvisar en för deras ålder typisk hörsselförlust för frekvenser överstigande 1-2 kHz.

Krav för deltagande i försöken var:

1. Försökspersonen skulle ha sovrum med fönster ut mot gatan
2. Ingen regelbunden medicinförbrukning
3. Fick ej gå upp för ofta under natten
4. Regelbundna kvällsvanor vad beträffar sovtider
5. Ingen spritkonsumtion under registreringsperioden.

3.5 Försökens genomförande

Fig 4 visar hur registreringarna utförts tidsmässigt. Varje serie inleddes med att försökspersonen fick vänja sig vid försöksutrustningen genom att sova en natt (60-åriga män två nätter) med den elastiska strumpa (S), som sedan skulle hjälpa till att hålla elektroderna på plats på huvudet. Sedan följde ytterligare en natt, nu med elektroderna på huvudet (E). Härefter har registrering skett, dels i bullermiljö (B), dels med dämpad ljudnivå (D). Försöksserierna på 20-åringar var utformade så att registrering alltid skedde första natten med ändrad bullernivå. Dessutom fick försökspersonerna vänja sig några nätter vid dämpningen innan ytterligare registreringar utfördes. Registreringsschemata för de olika försökspersonerna ser något olika ut bl a på grund av intrimningsproblem med apparaturen. På 60-åringar har inte ovannämnda registrering av "första natt"-effekten skett.

Försökspersonerna väcktes av väckarklockan på morgonen och fick fylla i morgonenkäten inom en halvtimme efter uppvaknandet.

Experimenten övervakades natten igenom i experimentbussen, som för detta ändamål är utrustad någorlunda komfortabelt med isolerade väggar och ett extra värmeaggregat.

3.6 Skattningar och bearbetningar

Varje registrering (300 m papper/natt) indelades i 30 sek- "epoker" (sammanfaller med en sida registreringspapper), vilka skattades manuellt på sömnstadier enligt internationella normer¹³. För EMG- och EOG-ändringar noterades positionen och durationen och för K-komplex enbart positionen. Dessutom noterades för varje enskild bilpassage positionen och toppnivån för inomhus- och utomhusbullret.

För varje epok stansades resultaten på ett hålkort (max. 850 hålkort per registreringsnatt). I den senare dataanalysen ingick dels helnattsbedömningar och dels studie av akuta störningar från enstaka bilpassager såsom skiften i sömnfas och muskeltonushöjningar.

I helnattsbedömningen ingår följande sömnkaraktéristika:

1. Totalduration för de olika sömnstadierna.
2. En beskrivning av när under natten ett visst sömnstadium uppträder, karaktäriserat medelst två parametrar: en positions- och en spridningsparameter.
3. Latenstiden till första uppträdande av sömnstadierna orto-3, orto-4 och REM.
4. Frekvensfördelningen för durationen för enstaka perioder i ett visst sömnstadium (antal gånger per natt som en period i ett visst sömnstadium har en given duration). Fördelningen undersöktes för lätt sömn (orto-1+2), djup sömn (orto-3+4) och REM-sömn.
5. Antal sömnstadieskift per natt mellan olika sömnstadier.
6. Antalet muskeltonushöjningar per natt.

Bullerexponeringen karaktäriserades på följande sätt:

1. Antal passager som funktion av bullernivå:
 - a. Per halvtimme
 - b. Per sömnstadium
 - c. Per natt

2. Frekvensfördelningen av tidsintervallen mellan fordonspassager.
3. Bullerbelastningen uttryckt i en modifierad form av ekvivalentnivån (L_{eq}) där buller under en viss tröskel inte bidrar till L_{eq} (L_{Teq})¹⁴.

I den statistiska analysen av helnattsparametrar har genomgående försökspersonen använts som sin egen kontroll. För varje försöksperson bildades medelvärde och spridning för alla buller- ($\bar{X}_B^i \pm \Delta X_B^i$) och dämpade nätter ($\bar{X}_D^i \pm \Delta X_D^i$). Sedan beräknades medelvärdet \bar{Y} av alla individuella förändringar i procent (Y_i).

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i / \Delta Y_i^2}{\sum_{i=1}^N 1 / \Delta Y_i^2} (\%) \quad (1)$$

med

$$Y_i = 100(\bar{X}_B^i - \bar{X}_D^i) / \bar{X}_D^i (\%) \quad (2)$$

där hänsyn tagits till spridningen i Y_i :

$$\Delta Y_i = \frac{100}{(\bar{X}_D^i)^2} \left\{ (\bar{X}_D^i \cdot \Delta X_B^i)^2 + (\bar{X}_B^i \cdot \Delta X_D^i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} (\%) \quad (3)$$

Ensidigt p-värde beräknades då för $\bar{Y} \pm \Delta Y$ under antagande av en normalfördelning för X^i och Y_i . För normalfördelade X^i är dock Y_i endast normalfördelade om $|\bar{X}_B^i - \bar{X}_D^i| \ll \bar{X}_D^i$. Uppfylldes inte kravet på normalfördelning av Y_i beräknades p-värdet för medelvärdet av alla absoluta individuella förändringar ($\bar{X}_B^i - \bar{X}_D^i$). Var inte heller \bar{X}^i normalfördelade utnyttjades svagare statistiska tester som Wilcoxons rangordningstest eller ett binomialtest¹⁵ (vanligt teckentest).

Akuta förändringar har undersökts med hjälp av en case-control studie med en eller två matchade kontroller för sömn-

skift resp muskeltonusändringar enligt en metod som beskrivits av Miettinen¹⁶. Förändringen uppträder här som sin egen kontroll och sannolikheten för förekomst av en fordonspassage under en definierad testperiod före sömnförändringen jämförs med sannolikheten för förekomst av en fordonspassage under en eller två lika långa kontrollperioder efter förändringen. En ratkvot (RK) kan bildas, som anger huruvida störningsfrekvensen efter bullerexponering under testperioden överskrider den statistiska störningsfrekvensen, d v s den frekvens man får då passager och störning inte är korrelerade. Härefter har testats huruvida ratkvoten skiljer sig signifikant från ett.

Skattning av morgonenkäten

Vid den statistiska analysen av morgonenkäten har Kolmogorov-Smirnovtestet för två oavhängiga stickprov utförts för att se om ett samband föreligger mellan subjektivt upplevd sömn och bullerexponering.

4 UTVÄRDERING OCH RESULTAT

4.1 Helnattsbedömningar av sömnen

Exempel på sömnförloppet under en buller- och en dämpad natt visas i fig 5 och 6 för en ung försöksperson och i fig 7 och 8 för en äldre. Sömnens cykliska förlopp framgår tydligt. Sömnstadier 21, 22 och 23 är en av Lars-Olov Stråle föreslagen underindelning av sömnstadium 2 (appendix ref 7):

21. Sömnstadium 2 med <4 sömnspindlar per 30 sek epok och en moderat deltaaktivitet.
22. Sömnstadium 2 med en blandad frekvens EEG av låg amplitud och 4-8 sömnspindlar per epok.
23. Sömnstadium 2 med mycket deltaaktivitet.

I nedersta delen av figurerna anges antal fordonspassager per halvtimme med (A) toppnivå 40-44 dB(A), (B) toppnivå 45-49 dB(A), (C) toppnivå 50-54 dB(A) och (D) toppnivå ≥ 55 dB(A).

Nedan skall sömnens olika karakteristika kvantifieras för att klarlägga eventuella skillnader mellan bullernätter och nätter med dämpning.

4.1.1 Sömnstadietfördelningen

A. Unga män

Tabell 1 visar för varje försöksperson medelvärden för tiden i de olika sömnstadierna, insomningstiden (00) samt totala sovtiden för bullriga och dämpade nätter separat. Tabellen visar också medelvärdena (med SEM = Standard Error Mean inom parentes) för alla försökspersoner tillsammans. Tabell II sammanfattar för varje försöksperson den relativa ökningen (i %), som definierades i sektion 3, för bullernätter jämfört med nätter med dämpning. Som mått på vakenaktivitet har vakentid, tid i orto-1 och tid med rörelseartefakter (MT = Movement Time) sammanslagits (W+1+MT), då alla dessa stadier har eller kan ha inslag av alfaaktivitet.

Orto-3 och orto-4 har sammanslagits (3+4). Eftersom sömnstadium orto-23 präglas av deltaaktivitet och påverkas av buller på samma sätt som orto-(3+4) har också kombinationen (23+3+4) undersökts. Som framgår av tabell II minskar endast andelen 3+4 och 23+3+4 signifikant, då försökspersonerna utsatts för ökad bullerexponering.

Insomningstiden (00) och tiden i vaket tillstånd (W) fluktuerar starkt för de olika försökspersonerna och följer med >98% sannolikhet inte en normalfördelning. Wilcoxons rangordningstest har därför tillämpats för att avgöra skillnaden mellan buller- och dämpade nätter. Ingen statistiskt signifikant ökning av insomningstiden och vakentiden under natten kunde konstateras.

B. Äldre män

Skattning av sömnstadier för äldre män är betydligt svårare

än för unga män. Deltaaktiviteten avtar och därmed blir orto-3-, -4-sömn svår att skilja från orto-2. Snabba ögonrörelser (REMs) är ofta fåtaliga och små, vilket gör skillnaden mellan orto-1- och REM-sömn diffus.

Antalet sömnspindlar avtar med åldern (sömnstadium orto-22 förekommer praktiskt taget inte alls), vilket gör övergången mellan orto-1- och orto-21-sömnen svårtolkad. Ovannämnda skattningsproblem ger en något osäker sömnstadiefördelning, främst för försöksperson 10. Ljudisoleringen påverkade sovrumsklimatet för försöksperson 12 (som brukade sova med öppet fönster) på sådant sätt att inga tillfredsställande registreringar under dämpade förhållanden kunde genomföras.

På grund av ovannämnda problem genomfördes helnattsbedömningar endast på fyra av sex försökspersoner.

Tabell III visar för varje försöksperson medelvärdena för tiden i de olika sömnstadierna samt totala sovtider för bullriga och dämpade nätter separat. Dessutom visar tabellen medelvärdena (SEM inom parentes) för alla nätter med dämpning sammanslagna. En jämförelse med tabell I gör klart att äldre människor sover mindre djupt än unga människor: vakentiden ($W+1+MT$) och tiden i lätt orto-sömn (21) tilltar med åldern medan tiden i djup orto-sömn ($23+3+4$) och REM-sömn avtar.

Tabell IV anger sömnstadiernas procentuella förändringar i förhållande till nätter med dämpning. Wilcoxons rangordningstest användes för att undersöka skillnaden mellan buller- och dämpade nätter. Mest signifikant ökar vakentiden under natten ($W+1+MT$) med 9% ($p = 0,13$).

Insomningstiden kunde studeras på fem försökspersoner. Resultaten sammanfattas i tabell V. Under bullernätter förlängs insomningstiden med 23%, men inte signifikant (Wilcoxons test med $p = 0,11$).

4.1.2 Latenstid till första orto-3-, orto-4- och REM-sömnen

Med latenstid till första orto-3-, orto-4- och REM-sömnen menas tidsintervallet mellan insomnandet och första gången de respektive sömnstadierna uppträder.

Latenstiden för orto-2-sömn är noll därför att insomnings-tiden är definierad i denna undersökning som ögonblicket då individen för första gången övergår till sömnstadium orto-2.

Tabell VI visar för båda grupperna försökspersoner medel-latenstiderna under nätter med dämpning samt ändringen av latenstiderna, när försökspersonerna utsattes för en ökad bullernivå. Ingen systematisk ändring av orto-3- och REM-latensen kunde konstateras, men för sex av sju unga män ($p = 0,11$) och tre av fyra äldre män ökade orto-4-latensen under bullriga nätter. För båda grupper tillsammans blir signifikansen 97%.

4.1.3 Fördelning av sömnstadierna över natten

Frekvensen av fordonspassager är inte lika stor på olika tider under natten. Likaså varierar andelen tunga fordon (se sektion 5). Blir sömnen störd under en viss del av natten kan återhämtning ske under en mindre bullrig period så att tiden i olika sömnstadier inte påverkas.

Fördelningen över natten av sömnstadierna orto-2, -3, -4 och REM studeras med hjälp av två parametrar, en positionsparameter $P(ss)$ och en spridningsparameter $S(ss)$, för ett visst sömnstadium (ss). $P(ss)$ motsvarar medelvärdet av förekomst-tiderna under natten av ett visst sömnstadium och är definierat som

$$P(ss) = \frac{\sum_{i=1}^N 1/2 \cdot \{t_2^i(ss)^2 - t_1^i(ss)^2\}}{T(ss)} \quad (\text{min}) \quad (4)$$

medan $S(ss)$ anger hur bred fördelningen är omkring detta medelvärde:

$$S^2(ss) = \frac{\sum_{i=1}^N 1/3 \{t_2^i(ss)^3 - t_1^i(ss)^3\}}{T(ss)} - P(ss)^2 - 1/12 (\min^2), \quad (5)$$

med $t_1^i(ss)$ och $t_2^i(ss)$ tiden då försökspersonen kommer i resp lämnar sömnstadiet (ss) för "i:de" gången. Tiderna är relaterade till insomningsögonblicket. $T(ss)$ motsvarar totaltiden för natten i sömnstadiet. För att minska effekten på $P(ss)$ och $S(ss)$ av enbart en ändring av mängden sömn i ett visst sömnstadium definierades två "effektiva" parametrar, $P_{eff}(ss)$ och $S_{eff}(ss)$. En ökning av känsligheten av $P(ss)$ för lägesändringar uppnås genom att subtrahera från $P(ss)$ det minsta värde som P kan anta (P_{min}) för ett sömnstadium med totalduration $T(ss)$ enligt:

$$P_{eff}(ss) = P(ss) - P_{min}(ss) \quad (6)$$

med

$$P_{min}(ss) = T(ss)/2. \quad (7)$$

På analogt sätt kan känsligheten av $S(ss)$ för hur sömnstadiet är utspritt över natten ökas enligt

$$S_{eff}^2(ss) = S^2(ss) - S_{min}^2(ss) \quad (8)$$

med

$$S_{min}^2(ss) = (T^2(ss) - 1)/12. \quad (9)$$

Tabell VII visar medelvärdena för P_{eff} och S_{eff} för djup ortosömn samt REM-sömn för sju unga män (17 nätter med dämpning). Dessutom ges de absoluta ändringarna för bullernätterna jämfört med nätter med dämpning. Som framgår av tabellen uppträder orto-23- och orto-3-sömn senare under natten än orto-4-

sömn och de är mer diffust utspridda. REM-sömn uppträder i nattens senare skede medan djup orto-sömn är mer koncentrerad i början av natten. Under inverkan av buller förskjuts orto-23- och orto-3-sömnen till tidigare under natten medan orto-4-sömnen har en tendens att uppträda litet senare. Förskjutningen är signifikant för orto-23-sömnen (19 minuter med $p = 0,05$). För alla sömnstadier som undersöktes minskade spridningen S_{eff} för bullernätterna. Ett simultant binomialtest på alla sömnstadier samtidigt indikerar att minskningen är signifikant till 94%. Ingen signifikans föreligger för de olika sömnstadierna separat.

Tabell VIII motsvarar tabell VII för fyra äldre män (10 nätter med dämpning). Orto-23- och orto-4-sömnen undersöktes inte separat därför att dessa sömnstadier inte uppträder varje natt för alla försökspersoner. Jämfört med unga män inträder djup orto-sömn något senare. Inga signifikanta ändringar i P_{eff} under bullerpåverkan kunde påvisas. Som för unga män har S_{eff} en tendens att minska när försökspersonerna blev utsatta för ökade bullerintensiteter. Tydligast är effekten på REM-sömnen (minskning 27 min med $p = 0,11$).

4.1.4 Frekvensfördelningen för durationen av enstaka perioder i olika sömnstadier

Antalet gånger per natt en period i ett visst sömnstadium har en given duration har analyserats. Durationsfördelningen studerades för lätt sömn (orto-1+2), djup sömn (orto-3+4) och REM-sömn.

Medelfördelningarna för alla nätter med dämpning (17), sammanlagda, för sju unga män visas i fig 9 och för äldre män (10 nätter) i fig 10.

Frekvensfördelningarnas medelvärden och relativa bredd (i % av medelvärdet) ges i tabell IX tillsammans med de procentuella ändringar, som uppträder för bullernätterna. Fördelningarnas relativa bredd har studerats därför att magnituden för

den absoluta bredden är stråkt korrelerad till medelvärdets magnitud.

För unga män ökar medeldurationen av en period i REM-sömn med i genomsnitt 17 % ($p = 0,09$) för bullernätter jämfört med tystare nätter. För äldre kan endast en lätt tendens till ökning (9 %) av medeldurationen för orto-3+4-sömn konstateras ($p = 0,12$), men fördelningens bredd minskar signifikant med 17 % (p (tvåsidigt) = 0,04).

4.1.5 Antal sömnstadieskift per natt

Totala antalet skift mellan olika sömnstadier per natt har studerats för de olika försökspersonerna under bullernätter och nätter med dämpning. Tabell X visar medelvärden för 17 nätter med dämpning (för sju unga män) och tabell XI ger motsvarande information för fyra äldre män (10 nätter). Tabell X har åskådliggjorts i fig 11.

Övergång till djupare sömn sker mest genom övergång till närmaste djupare stadium. Till lättare sömn sker däremot övergången ofta genom ett hopp till ett mycket lättare sömnstadium. Fig 11 indikerar också att sömnstadium 22 bör betraktas som ett separat stadium med avvikande karaktär. Övergångar till 21 och 1 förekommer ofta medan övergång till 23, 3 och 4 praktiskt taget inte uppträder. Det anses sannolikt att sömnstadierna orto-1, -21, -23, -3 och -4 har samma karaktär men tilltagande djup. REM-sömn är ett sömnstadium av avvikande karaktär, närmast relaterat till orto-1.

Äldre män visar i stort sett samma mönster för sömnstadieskift som unga män, med två undantag: antalet skift till och från vaket tillstånd är mycket större och sömnstadieskift till och från orto-22 förekommer ej därför att nästan ingen av de äldre försökspersonerna tillbringar någon tid i detta sömnstadium.

Antalet sömnstadieskift har en tendens att minska under bullerexponeringsnätter. Det totala antalet minskar för unga män med

13% och för äldre män med 5%, men avvikelserna från noll är inte signifikanta på 95% nivå. Antalet övergångar mellan vissa sömnstadier minskar däremot kraftigt och signifikant. En översikt av övergångar med signifikans över 90% ges i tabell XII.

4.1.6 Antal muskeltonushöjningar per natt

En klar korrelation mellan sängrörelser och förekomst av EMG-aktivitet, registrerad på halsen, kan förväntas, vilket har påvisats av Dement et al¹⁷. Betydelsen av kroppsrörelser som mått på sömnstörningar har undersökts på vårt material. Antalet "stora" EMG, definierat som EMG-störningar i flera registreringskanaler (EMG-, EEG- och EOG-kanaler) bestämdes.

Tabell XIII visar antalet EMG-störningar normerat till 7 tim för unga och äldre män samt de procentuella skillnaderna mellan nätter utan och med dämpning. Ingen analys av EMG kunde genomföras på försökspersonerna 10 och 11; för försöksperson 10 på grund av experimentella problem vid uttestandet av ny registreringsapparat och för försöksperson 11 på grund av konstant muskelaktivitet natten igenom.

Antalet EMG-störningar ökade för båda grupperna under nätter med dämpning. Skillnaden är signifikant för gruppen unga män ($p = 0,05$). För att undersöka denna paradoxala ökning närmare reanalyserades 14 försöksserier i laboratoriemiljö (nio försökspersoner) med avseende på EMG i flera kanaler. Resultaten redovisas i appendix.

4.2 Akuta störningar

4.2.1 Sömnstadieskift efter en fordonspassage

Sömnstadieskift inom 30 sek efter en fordonspassage har analyserats enligt metoden som diskuterats i sektion 3. Kontrollen utgör fordonspassager 0-30 sek efter sömnstadieskiftet. Endast skift till mindre djup sömn beaktades för sömnstadierna orto-1, -21, -23, -3 och -4. Dessutom utfördes analysen för alla över-

gångar från och till REM- och orto-22-sömnstadierna. Störningar på grund av passager med topp ljudnivå >40 dB(A) och >50 dB(A) (inomhus) undersöktes. Eftersom antalet fordonspassager, som ledde till sömnstadieskift, under nätter med dämpning var för litet för att möjliggöra en statistisk bedömning utelämnades dessa nätter ur analysen.

Tabell XIV visar ratkvoten (och ev ensidigt p-värde) för två bullergränsvärden för olika sömnstadier. För unga män (sju) ingår 20 helnattsregistreringar i analysen medan för äldre män (sex) kunde 13 hela eller, eller delar av, nätter inkluderas.

För att uppnå hög signifikans i ett statistiskt test, där man försöker bevisa ett orsakssammanhang mellan två typer av händelser (här fordonspassager och sömnstadieskift), som uppträder med hög frekvens, är det viktigt att utesluta händelser som i förväg kan anses okorrelerade. Ett högt antal fordonspassager per natt gör det sannolikt att en passage finns omkring ett sömnstadieskift utan att ett orsakssammanhang föreligger.

Reduceras antalet fordonspassager i testet genom att passager med låg bullernivå uteslutes kan signifikansen ökas. Bli emellertid antalet passager för litet, blir man resultatlös på grund av otillräcklig statistik. Den förstnämnda effekten framgår klart av tabell XIV då i testet för unga män bullertröskeln höjs från 40 dB(A) till 50 dB(A). Sömnstadieskift från orto-1, orto-3 och alla orto-sömnstadier sammanslagna (dock ej orto-22) har ratkvoter $RK = 5,0$ ($p = 0,05$), $RK = 2,3$ ($p = 0,03$) resp $RK = 1,4$ ($p = 0,04$) och är klart förorsakade av bilpassager. För äldre män tycks sömnstadieskift inte vara korrelerade till fordonspassager, med undantag för övergångar till REM-sömn ($RK = 2,2$ med $p = 0,01$).

För vissa övergångar blir $RK < 1$ med signifikans större än 95%. Detta innebär att samband skulle finnas mellan sömnstadieskift och senare fordonspassager. Orsaken är inte helt klar;

vissa fordonspassager, som klassificerades i kontrollgruppen därför att toppbullernivån uppträder efter sömnstadieskiftet, uppfattas möjligen av försökspersonen redan några sek tidigare. På grund av sömnstadieskattningens karaktär (skattning i 30 sek epoker) är en bättre fördelning av bilpassager i "test"- och "kontroll"-grupperna svår att genomföra.

Trots att det kunde påvisas med hög signifikans att en del sömnstadieskift förorsakats av fordonspassager påverkas inte totala antalet sömnstadieskift per natt nämnvärt. Som exempel kan nämnas övergångar från djupare till lättare orto-sömn för unga män. När endast fordonspassager med toppbullernivå >50 dB(A) beaktades, ingick 108 sömnstadieskift i testet; i 63 fall föregicks sömnstadieskiftet av en bilpassage (testfall) och i 45 fall följdes sömnstadieskiftet av en bilpassage inom 30 sek (kontrollerna) ($RK = 63/45 = 1,4$ med $p = 0,04$, se tabell XIV). Endast 18 gånger (63 minus 45) under sammanlagt 20 nätter kan ett sömnstadieskift antas vara förorsakat av bilpassagen! Cirka 40 övergångar till lättare orto-sömn uppträder per natt (se tabell X) och alltså har endast en av dessa övergångar orsakats av trafikbuller.

4.2.2 Muskeltonushöjningar efter en fordonspassage

En case-control studie med två matchade kontroller utfördes för att undersöka om muskeltonushöjningar (EMG-störningar) uppträder som reaktion på bilpassager en viss period (testintervallet) innan EMG-störningens början (för metodbeskrivning se sektion 3).

I testet har EMG-störningarna indelats efter det sömnstadium de uppträder i. Dessutom har testintervallet i relation till EMG-störningen varierats mellan -30 sek och +10 sek för att undersöka med vilken latenstid EMG-störningen uppträder efter fordonspassagens bullermaximum.

Tabell XV sammanfattar resultaten för 20 bullernätter för sju unga män. Endast för EMG-störningar i REM-sömnen är ratkvoten

RK signifikant ($p = 0,04$) större än ett ($RK = 1,4$). När antalet bilpassager per natt med toppbullernivå >40 dB(A) (inomhus) minskar (efter dämpning) ökar RK, framförallt för EMG-störningar i sömnstadierna orto-1, -22, -23 samt REM och blir ofta signifikant större än ett (tabell XVI). För alla EMG-störningar under sömnen blir $RK = 1,3$ ($p = 0,02$) för testintervallet -20 - -10 sek. I tabell XVII har resultaten av alla nätter med och utan dämpning sammanslagits. Latenstiden för EMG-störningar efter en fordonspassage har inte ett väl definierat värde, men för alla sömnstadier sammanslagna ("ej vaken" i tabell XVII) tycks en viss preferens för kortare latenstider föreligga (0-10 sek mellan fordonspassagens bullermaximum och början av EMG-störningen).

I vissa fall erhöles ratkvoter signifikant mindre än ett (se tabell XV och XVII). För en diskussion se sektion 4.2.1.

Tabell XVIII visar resultat för fyra äldre män (7 bullernätter) för fordonspassager med toppbullernivå överstigande 40 dB(A). Signifikanta ökning av RK kunde påvisas för orto-1-, orto-23 och REM-sömnen. EMG-latensen tycks också för äldre män ligga mellan 0 och 10 sek.

I motsats till resultaten för unga män var ratkvoterna för nätter med dämpning genomgående lägre än för bullernätterna och inga signifikanta avvikelser från ett erhöles.

Trots att det med stor signifikans kunde påvisas att fordonspassager utlöser EMG-störningar påverkas antalet EMG-störningar per natt inte nämnvärt. Endast 1,5% av EMG-störningarna för unga män förorsakades av bilpassager. För äldre män (bullernätter) var 5% av EMG-störningarna förorsakade av bilpassager. Dämpades inomhusljudet ökade störningsfrekvensen för unga män till 5%. Sannolikheten för att en fordonspassage leder till en EMG-störning är för unga män 0,3% och 2%, för nätter utan respektive med dämpning, medan sannolikheten för äldre män under bullernätter är 1%.

5 BULLEREXPONERINGEN

Några karakteristika för bullerexponeringen samt hur denna påverkas av ljudisoleringsåtgärderna ges i denna sektion.

Tabell XIX visar medelvärden för antalet fordonspassager per natt, indelade efter bullernivå inomhus, för buller- nätter och nätter med dämpning för båda grupperna försöks- personer. Som framgår av tabellen utsattes äldre män något mer för tunga fordon med hög bullernivå. I tabellerna XX och XXI har en uppdelning av antal passager under olika sömnstadier och under insomningsperioden skett.

Fig 12 och 13 visar medelfrekvensfördelningarna för tids- intervallen mellan fordonspassager. För äldre män domineras frekvensfördelningen för bullernätterna något mer av tids- intervaller kortare än 30 sek än motsvarande fördelning för unga män.

Ljudisolering av sovrummet med isolerande plattor i fönster- öppningarna minskade ljudnivån med mellan 5 och 15 dB(A) för båda grupperna försökspersoner.

Ett nytt förslag¹⁴ att karakterisera bullerdosen innebär en modifiering av ekvivalentnivån (L_{eq}) så att ljudnivåer under- stigande en viss tröskelnivå (den s k störtröskel) utelämnas i integreringen av ljudintensiteterna ("effektiv" ekvivalent- nivå L_{Teq}). För att kunna jämföra L_{Teq} -värdena för olika nätter i vårt material har en approximering skett enligt

$$L_{Teq} = 10 \log \left(\frac{\sum_i N_i \times 10^{L_i/10}}{50 \times 10^{50/10}} \right) + 34 \quad (\text{dB(A)}) \quad (10)$$

$$= 10 \log \left(\sum_i N_i \times 10^{L_i/10} \right) - 43 \quad (\text{dB(A)}) \quad (10a)$$

där L_i är toppbullernivån och N_i är antalet fordonspassager

per natt med denna nivå. I denna approximering har bilpassagerarnas totala integrerade ljudenergi jämförts med 50 passagerer per natt med 50 dB (A) toppbullernivå (approximativt $L_{Teq} = 34$ dB(A)) (bullerexponeringen i ref 4). För ekvationens validitet krävs att fordonspassagerarnas buller har ungefär samma tidsförlopp. I beräkningarna har 40 dB(A) använts som tröskel. Tabell XXII visar medelvärde för båda grupperna försökspersoner för nätter med och utan dämpning samt skillnaden mellan buller- och dämpade nätter. Dämpningen reducerade L_{Teq} med 5 dB(A) mer för gruppen äldre män än för gruppen unga män.

6 UTVÄRDERING AV MORGONENKÄTEN

Försökspersonerna fick besvara följande frågor (kryssa för ett av fem alternativ) inom en halvtimme efter uppvaknandet:

1. Hur har du sovit? (mycket bra ... mycket dåligt)
2. Var det svårt att somna? (mycket svårt ... mycket lätt)
3. I förhållande till igår
var sömnen (mycket bättre ... mycket sämre)
4. Hur känner du dig? (mycket utvilad ... mycket trött)
5. Om du jämför denna natt
med hur du brukar sova,
hur har du då sovit? (mycket bättre ... mycket sämre)
6. Minns du om du drömt
något? (ja - nej)
7. Har du vaknat någon gång? (ja - nej)
8. I så fall hur många
gångar?
9. Hur var det att somna om? (mycket svårt ... mycket lätt)
10. Ungefär hur lång tid tog
det att somna om?

Frågor med fler än två svarsalternativ analyserades med hjälp av Kolmogorov-Smirnovs test för två oavhängiga stick-

prov och andra analyserades med hjälp av χ^2 -test.

Gruppen unga män upplevde inte sin sömn som bättre när ljudnivån i sovrummet dämpades. Endast på frågan om de hade vaknat någon gång svarade flera "ja" efter bullernätter (85 %) än efter nätter med dämpning (62 %). Skillnaden har 94 % signifikans.

Gruppen äldre män upplevde sin sömn som något mindre störd efter nätter med dämpning. Ett kombinerat test på frågorna 1-5 bevisade detta påstående med över 90 % signifikans. Inga signifikanta skillnader kunde konstateras för frågorna separat. Frågan om de hade vaknat någon gång besvarades positivt i 93 % av fallen, oavsett bullernivån.

7 KONKLUSIONER OCH DISKUSSION

7.1 Försöksgruppen unga män

Det kan påvisas för försöksgruppen att sömnmönstret ändrar sig när bullernivån i sovrummet minskas med cirka 10 dB(A). För bullernätter, jämfört med nätter med dämpning, kan en minskning av djupa orto-sömnen (orto-3+4) med 10 % ($p = 0,06$) konstateras. Dessutom tar det 8 min längre ($p = 0,11$), räknat från insomningsögonblicket, innan man sjunker ner i orto-4-sömn för första gången. En förlängning av orto-4-latensen har också konstaterats av Otto¹⁸.

Senare delen av natten domineras allmänt av lätt orto-sömn (orto-1, -2) och REM-sömn. Tillämpas Stråles underindelning av orto-2-stadiet konstateras under bullernätter att en signifikant ($p = 0,05$) förskjutning (19 min) av "djup" orto-2-sömn (orto-23) till tidigare under natten uppträder, trots att totala tiden i orto-23-sömn inte minskar nämnvärt (3 min). Detta tyder på att störningskänsligheten ökar ju längre man har sovit.

Antalet skift per natt mellan vissa sömnstadier minskar kraftigt och signifikant under bullernätterna, framförallt för övergångarna 1-21, 21-1, 3-21 och 4-3 (se tabell XII). Detta fenomen kan korreleras till konstaterade ökningar av durationen av perioder i orto-1+21-sömn (11 % med $p = 0,12$) och REM-sömn (17 % med $p = 0,09$). Också minskningen av spridningsparametern $S(ss)$, som är signifikant för alla sömnstadier sammanslagna ($p = 0,06$), är en antydning på mindre splittrad sömn under bullernätterna.

Antalet kropps rörelser per natt minskar med 9 % ($p = 0,05$) för nätter utan dämpning. Då kropps rörelser ofta är associerade till sömnstadieskift är denna minskning möjligen en följd av minskningen av antalet sömnstadieskift.

Enstaka fordonspassager med toppbullernivå överstigande 50 dB(A) orsakar skift till mindre djup sömn ($p = 0,04$); dock orsakas endast 2 % av alla skift till ytligare sömn av en passage. Sannolikheten för att en fordonspassage leder till ett sömnstadieskift är endast 0,2 %.

Muskeltonushöjningar (EMG-störningar) uppträder, huvudsakligen under REM-sömnen, som akuta reaktioner på fordonspassager med toppbullernivå överstigande 40 dB(A). Minskar antalet fordonspassager per natt med toppbullernivå >40 dB(A) (genom ljudisolering) ökar störningsbenägenheten och omfattar även EMG-störningar under orto-1- och -2-sömnen ($p < 0,05$). Endast 5 % av EMG-störningarna förorsakas av fordonspassager och endast 2 % av fordonspassagerna inducerar en EMG-störning under nätter med dämpning. Störningsbenägenheten är störst under REM- och orto-2-sömnen, vilket har visats tidigare¹⁹⁻²².

Nätter med dämpning kan inte betraktas som "tysta" nätter. Över 200 passager har en toppbullernivå >40 dB(A) och över 30 fordonspassager har en toppbullernivå >50 dB(A) inomhus (se tabell XIX). För att undersöka om sömnstörningar föreligger även under nätter med dämpning jämfördes resultaten av denna undersökning med ett omfattande normalmaterial, regist-

rerat i tyst miljö i ett sömnlaboratorium. En jämförelse med resultat av Philipson²³ och Williams²⁴ visar att våra försökspersoner sover i genomsnitt 30 min kortare och har mindre REM-sömn (både i procent av totala sovtiden och absolut, i min) även under nätter med dämpning. Andelen orto-3+4-sömn är däremot lika stor. Inte heller orto-3, -4- och REM-latensen samt antalet väckningar per natt avviker från normalmaterialens medelvärde. Antalet sömnstadieskift per natt däremot är två gånger så stort i vårt material (96 jämfört med 40-50). I ref 23 har dock sömnstadieskift som kommer inom tre min efter föregående skift inte beaktats. En viss grad av störning, främst med avseende på REM-sömnen, tycks föreligga även under nätter med dämpning, för en försöksgrupp unga män, som sover i sin vanliga hemmiljö.

Vallet²⁵ har gjort en undersökning på sömnen hos försökspersoner (20-50 år), vilka bodde längs en nyöppnad motorväg. Undersökningen genomfördes dels inom en månad efter motorvägens färdigställande och dels ett år senare. Jämfört med registreringar gjorda innan motorvägen öppnades minskar tiden i orto-3+4-sömn. Dessutom minskar antalet övergångar mellan orto-2- och orto-3-sömn och mellan orto-3- och orto-1-sömn. Ingen habituering hade skett efter ett år. Totala sovtiden och andelen tid i REM-sömn påverkades inte. Inte heller en jämförelse med registreringar gjorda i laboratoriet på en (annan) grupp försökspersoner visade någon minskning av totala sovtiden och andelen REM-sömn.

Flera forskarlag rapporterar att trafikbuller huvudsakligen påverkar djup orto-sömn²⁶⁻²⁸.

Våra och Vallets konstateranden angående sömnstadiesfördelningen stämmer inte överens med observationer av Ehrenstein²⁹. Han anser att habituering för orto-3+4-sömn sker efter några få dagar medan tiden i REM-sömn visar en konstant minskning under alla exponeringsnätter med en återhämtning (rebound effect) under första efterföljande natt utan bullerexponering. En skillnad föreligger kanske mellan habituering på kort sikt

(några få dagar) och habituering efter månader eller år.

Frekvensen av akuta störningar minskar när antalet bullerstimuli per natt ökar³⁰. En stor sannolikhet för störning på grund av ett ljudstimulus konstateras för EEG-störningar ($\approx 0,6$), sömnstadieskift ($\approx 0,3$) och väckning ($\approx 0,1$) när antalet ljudstimuli per natt ligger mellan 7 och 50 och ljudnivån mellan 50 dB(A) och 68 dB(A)^{4-6,30-33}. I Vallets studie²⁵, där försökspersonerna utsattes för 150-1500 fordonspassager per natt, var störningsprocenten för EEG-förändringar <7%.

Flera forskarlag rapporterar en ökning av antalet kroppsrörelser per natt på grund av bullerstimuli av olika slag³⁴⁻³⁸. En reanalys av Stråles laboratorieexperiment^{4,6} (se appendix) visar en signifikant ökning av antalet kroppsrörelser, då försökspersonerna utsätts för buller av fluktuerande karaktär. Som har visats av oss och Townsend³⁹ minskar denna ökning av antalet kroppsrörelser när antalet bullerstimuli ökar.

7.2 Försöksgruppen äldre män

Ingen ändring av sömnstadie fördelningen kan konstateras för denna grupp när sovrummet ljudisoleras. För bullernätter, jämfört med nätter med dämpning, finns dock en tendens till ökning av insomningstiden ($p = 0,11$) och vakenaktivitet under natten ($p = 0,13$).

Tidsintervallerna mellan REM-perioder tycks bli kortare (S-parametern i tabell VIII; $p = 0,11$) utan att REM-periodlängden påverkas (\bar{t} -parametern i tabell IX). Samma ändringar i REM-fördelningen har visats av Kahn⁴⁰.

Under bullernätter har medeldurationen för en period i orto-3+4-sömn en tendens att öka ($p = 0,12$) medan spridningen omkring detta medelvärde minskar signifikant ($p = 0,04$) (se tabell IX).

Antalet övergångar mellan vissa sömnstadier är mindre under

buller nätter. Detta gäller främst övergångerna 1-21, 21-1, 21-23, 23-21, 23-3 och REM-1 (se tabell XII).

Totala antalet kroppsrörelser per natt är 23% mindre ($p = 0,07$) under bullernätter än under nätter med dämpning.

Inga sömnstadieskift som akuta svar på buller av enstaka fordonspassager kan påvisas, förutom för övergångar till REM-sömn ($p = 0,01$).

Akuta reaktioner på fordonspassager av typ muskeltonushöjningar förekommer med 99% signifikans. Effekten är tydligast i REM-sömn ($p = 0,001$), men kan även påvisas i lätt orto-sömn (orto-1 och orto-23) med $p = 0,01$. Av samtliga muskeltonushöjningar per natt utlöses 5% av fordonspassager. Endast 1% av fordonspassagerna förorsakar en muskeltonushöjning.

För nätter med dämpad bullernivå inomhus avviker de sömnparametrar, som kan jämföras, inte från resultat erhållna av Kahn⁴⁰ för 16 äldre män som sov i sömnlaboratorium.

Flera forskare rapporterar^{19,22,41} att äldre individer störs lättare i sömnen av buller än yngre. Då störningarna i allmänhet avser antalet väckningar per natt stämmer deras resultat väl överens med våra observationer. Thiessen³² däremot fastslår att människor i medelåldern har en lägre störningströskel än yngre och äldre människor.

7.3 Jämförelse mellan unga och äldre mäns normalsömn

På grundval av våra observationer kan följande konstateras för äldre män jämfört med unga män:

- a. Insomningstiden är lika lång.
- b. Antalet väckningar och vakentiden under natten är större.
- c. Tiden i orto-21-sömn är längre medan tiden i orto-3+4-sömn är kortare. Detsamma gäller durationen av enstaka

perioder i orto-21- och orto-3+4-sömn (antalet perioder i dessa sömnstadier påverkas alltså inte) Ovannämnda förskjutning av orto-sömnen förorsakas åtminstone delvis av en minskad amplitud för deltavågorna hos äldre människor. Kriteriet för deltaamplituden, som används vid skattning av sömnregistreringar, avgör hur stor andelen djup orto-sömn blir (jämför t ex ref 40 med ref 24).

- d. Antalet sömnspindlar är starkt reducerad (orto-22-stadiet förekommer ej).
- e. Andelen REM-sömn är mindre.
- f. Latenstiden till första orto-3+4-sömnen är större och orto-3+4-sömnen förekommer mera utspridd över natten.
- g. Totala antalet kroppsrörelser per natt är större.
- h. Känsligheten för bullerinducerade sömnstadieskift tycks vara något mindre medan känsligheten för bullerinducerade EMG-störningar tycks vara något större.

De flesta av ovannämnda skillnader i sönmönster mellan unga och äldre människor är väl dokumenterade i litteraturen^{24,40,43-45}.

7.4 Morgonenkäten

Unga män upplever inte att de sover bättre när trafikbullret i sovrummet dämpas. Däremot uppger de oftare efter en bullernatt än efter en natt med dämpning att de har vaknat någon gång under natten. Registreringar visar att vakentiden under natten minskar kraftigt under nätter med dämpning (med 44%), men på grund av den stora individuella spridningen kan statistisk signifikans inte påvisas.

Till skillnad från unga män tycker äldre män, att de sovit bättre under nätter med dämpning. Detta kan korreleras till den minskade vakentiden under natten.

Rylander^{34,42} konstaterar att äldre människor upplever flygplansljud och överljudsknallar som mer störande än yngre män-

niskor gör.

Enligt Bonnet⁴⁶ kan subjektivt upplevd "dålig sömn" korreleras till en ökad tid i vaket tillstånd och i orto-1-sömn under natten. Mouret⁴⁷ finner att "dålig sömn" karakteriseras av att vakenhetsperioderna infaller senare under natten. Där emot anser Caille⁴⁸ att det subjektiva upplevandet av sömnen hänger samman med latenstiderna till orto-2- och REM-sömn, durationerna av perioderna i orto-sömn, antal och täthet av ögonrörelser samt antal perioder i REM-sömn. Dessutom anses försökspersonens störningskänslighet viktig.

7.5 Slutkonklusioner

Unga och äldre män, som bor längs hårt trafikerade vägar, störs i sömnen. De har således ej fullständigt habituerats till sin vanliga bullermiljö. För äldre män påverkas vakentid och insomningstid mest medan för yngre män den största påverkan sker på djup orto-sömn.

Unga män tycks även under nätter med dämpning ha en förkortad sovtid och en minskad andel REM-sömn jämfört med ett normalmaterial.

Efter montering av ljudisolering sover båda grupper försökspersoner djupare, men detta upplevs endast som sådant av gruppen äldre män.

I laboratorie- och fältförsök påverkas sömnen inte på samma sätt. Detta kan möjligen förklaras av att antalet ljudstimuli per natt var mycket mindre i laboratoriemiljön.

Hur sömnen påverkas av trafikbuller har i denna undersökning belysts endast för två grupper inom populationen. Huruvida kvinnor störs lättare av buller under sömn än män har diskuterats i litteraturen^{41,49}. Barn har en högre väcktröskel för buller än vuxna, men hur djupa sömnen och REM-sömnen påverkas är ofullständigt känt. Även personlighetsstrukturen tycks på-

verka störningsbenägenheten^{42,48}. Mer forskning behövs för att kartlägga variationer i känsligheten för bullerstörningar under sömnen hos befolkningen. Även eventuella habituerings-effekter efter långtidsexposition bör undersökas närmare i realistisk försöksmiljö.

APPENDIX

Registreringar för nio unga män, som deltog i två tidigare laboratorieförsök^{4,6}, har reanalyserats med avseende på kroppsrörelser ("stora" EMG i flera kanaler). Analysen omfattade 93 nätter utan bullerexponering (referensnätter) och 56 nätter med olika typer av bullerexponering. Fyra olika typer av bullerexponering studerades:

- $\hat{55}$ Lastbilspassager med toppnivå på 55 dB(A), 50 eller 65 st per natt
- $\hat{45}$ Lastbilspassager med toppnivå på 45 dB(A), 50 st per natt
- $\bar{45}$ Jämnt trafikbuller på 45 dB(A)
- $\bar{45}+\hat{55}$ Jämnt trafikbuller på 45 dB(A) med överlagrade lastbilspassager på 55 dB(A), 50 eller 65 st per natt

Tabell XXIII visar för 14 försöksserier medelvärden för antalet "stora" EMG per 7 timmar för referensnätterna samt de procentuella förändringarna för nätter med olika typer av bullerexponering jämförda med referensnätterna. Exponering med buller av jämn karaktär påverkade inte antalet kroppsrörelser per natt. Exponeringar av typ $\hat{55}$, $(\bar{45}+\hat{55})$ och $\hat{45}$ inducerade en ökning av antalet kroppsrörelser med >99 %, 98 % respektive 95 % signifikans. På 95 % signifikansnivå är ökningen av antalet kroppsrörelser >5,2 % för $\hat{55}$ -exponeringen, >1,9 % för $(\bar{45}+\hat{55})$ -exponeringen och >0 för $\hat{45}$ -exponeringen.

REFERENSER

1. Trafikbuller, del I. Statens offentliga utredningar
SOU 1974:60.
2. B. Griefahn, G. Jansen och W. Klosterkötter. Berichte
Umweltsbundesamt 4 (1976) 107.
3. E. Öhrström. Prestationsförändringar efter sömnstör-
ningar. Rapport till SNV maj 1978.
4. L.-O. Stråle. Ljudstörningars inverkan på sömnen.
Rapport till SNV, kontraktsnr 7-163/73-74.
5. G.J. Thiessen. I: Physiological Effects of Noise. B.L.
Welch och A.S. Welch (eds), New York, Plenum Press, 1970.
6. L.-O. Stråle. Ljudstörningars inverkan på sömnen, del II.
Rapport till SNV, kontraktsnr 7-163/73-75.
7. R. Akselsson, L.-O. Stråle, C. Redinge och M. Berlin.
Ljudstörningars inverkan på sömnen, del III. Forsknings-
redogörelse till SNV, januari 1977.
8. R. Akselsson. Tillägg till ref. 7.
9. R. Akselsson och M. Berlin. Trafikbullers inverkan på
sömnen hos barn och äldre. Forskningsredogörelse till
SNV, januari 1978.
10. J. Eberhardt, R. Akselsson, L.-E. Carlsson, C. Redinge
och M. Berlin. Trafikbullers inverkan på sömnen. Forsk-
ningsredogörelse till SNV, januari 1979.
11. J. Eberhardt, M. Berlin, R. Akselsson och C. Redinge.
Muskelaktivitet som mått på sömnkvaliteten. Forsknings-
redogörelse till SNV, januari 1979.
12. J. Eberhardt, R. Akselsson, L.-E. Carlsson, C. Redinge
och M. Berlin. Trafikbullers inverkan på sömnen. Forsk-
ningsredogörelse till SNV, januari 1980.

13. A. Rechtschaffen and A. Kales (eds), A Manual of Standardized Terminology, Techniques and Scoring System for Sleep Stages of Human Subjects. National Institutes of Health Publ. 204, Washington DC, US Government Printing Office, 1968.
14. T. Gjestland och G. Oftedal, Støysjenanse. Rapport Elektroniklaboratoriet ved NTH, nr STF44 A79047, Trondheim juli 1978.
15. S. Siegel, Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. New York 1956, Mc Graw-Hill.
16. O.S. Miettinen, American Journal of Epidemiology 91 (1970) 111.
17. W. Dement and N. Kleitman, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 9 (1957) 673.
18. E. Otto, Deutsches Gesundheitswesen 25 (1970) 1661.
19. J.S. Lukas, M.E. Dobbs and K.D. Kryter, National Aeronautics and Space Administration Report No. CR-1780, 1971.
20. A. Rechtschaffen, P. Hauri and M. Zeitlin, Perceptual Motor Skills 22 (1966) 927.
21. H.L. Williams, J.T. Hammock, R.L. Daly, W.C. Dement and A. Lubin, Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 16 (1964) 269.
22. J.S. Lukas, K.D. Kryter, National Aeronautics and Space Administration Report No. CR-1559, 1970.
23. L. Philipson, A.-M. Risberg and D.H. Ingvar, publiceras i Sleep.

24. R.L. Williams, I. Karaçan och C.J. Hirsch. Electroencephalography of Human Sleep: Clinical Applications. John Wiley and Sons, New York, 1974.
25. M. Vallet. Doktorsavhandling, Lyon, 1979.
26. P. Knauth och J. Rutenfranz. Internationales Archiv für Arbeitsmedizin 30 (1972) 1.
27. G. Jansen. Beinflussung des natürlichen Nachtschlafes durch Geräusche. Westdeutscher Verlag, Köln, 1970.
28. T. Roth, M. Kramer och J. Trinder. J. of the Canadian Psychiatric Association 17 (1972) 41.
29. W. Ehrenstein. Proceedings 3rd Europ. Congr. on Sleep Research. Montpellier, 1976, s. 403.
30. B. Griefahn och G. Jansen. The Science of the Total Environment 10 (1978) 187.
31. G.J. Thiessen och A.C. Lapointe. J. Acoustical Society of America 64 (1978) 1078.
32. G.J. Thiessen. J. Acoustical Society of America 64 (1978) 216.
33. M. Vallet, J.M. Gagneaux och F. Simonnet. Rapport Institute de Recherche des Transports nr AER IV.2 (7304) 1977.
34. R. Rylander, S. Sörensen och K. Berglund. J. Sound and Vibrations 24 (1972) 41.
35. E. Öhrström. Presentation vid Läkarsällskapets Riksstämman, december 1979.
36. B. Metz och A. Muret. Collection Recherche Environnement No. 3, Ministère de la Culture et de l'Environnement (1977) 81.

37. G.G. Globus, J. Friedmann, H.B. Cohen, K.S. Pearson och S. Fidell. I: Ward (ed) 1973.
38. G. Jansen. Zbl. Bkt. Hyg. I. Abt. Orig. B. 155 (1971) 315.
39. R.E. Townsend, L.C. Johnson och A. Muret. Psychophysiology 10 (1973) 369.
40. E. Kahn och C. Fisher. J. Nervous and Mental Disease 148 (1969) 477.
41. J.S. Lukas. J. Acoustical Society of America 58 (1975) 1232.
42. R. Rylander, S. Sörensen och A. Kajlund. J. Sound and Vibrations 24 (1972) 419.
43. A. Kales, T. Wilson, J.D. Kales, A. Jacobson, M.J. Paulson, E. Kollar och R.D. Waller. J. American Geriatrical Society 15 (1967) 405.
44. I. Feinberg, R.L. Koresko och R. Schaffner. J. Psychiatric Research 3 (1965) 11.
45. I. Feinberg, R.L. Koresko och N. Heller. J. Psychiatric Research 5 (1967) 107.
46. M.H. Bonnet och L.C. Johnson. Sleep 1 (1978) 161.
47. J. Mouret, R. Blois, M. Grosclande, J. Tapissier, G. Chouvet, B. Debilly, G. Verchere, M. Lozac'h och C. Schmidt. Collection Recherche Environnement no. 3, Ministère de la Culture et de l'Environnement, 1977, s. 161.
48. M. Caille. Collection Recherche Environnement no. 2, Ministère de la Culture et de l'Environnement, 1975, s. 137.

49. A. Muzet, J.P. Schieber, N. Oliver-Martin, J. Ehrhardt and B. Metz, Proceedings of the International Congress of Noise and Health Problems, W.D. Ward (ed), EPA no. 550/9-73-008, s. 575.

Tabell I a. Sömnstadietfördelning för 21-27-åriga män, medelvärde för bullernätter (B) och dämpade nätter (D).

fp	00 ^a (min)	W						23
		1	2	21	22	23		
I _B	15,0	1,8	28,7	146,0	98,3	20,0	27,8	
I _D	11,8	0,0	42,9	135,6	69,9	29,4	36,0	
II _B	30,5	18,9	30,9	195,5	118,8	57,5	19,3	
II _D	33,0	7,5	25,4	224,4	136,3	67,5	20,8	
III _B	15,0	4,9	40,8	223,7	72,5	129,7	21,5	
III _D	4,3	0,0	25,9	239,8	95,5	109,7	34,5	
IV _B	37,5	5,9	39,8	178,9	106,9	53,7	18,5	
IV _D	29,0	2,4	42,2	181,2	103,4	57,5	20,2	
V _B	8,8	5,0	37,4	184,3	100,0	56,9	27,2	
V _D	5,0	7,5	41,5	165,3	108,7	26,8	29,7	
VI _B	5,8	0,0	30,0	218,3	198,0	11,5	8,6	
VI _D	9,3	6,3	49,4	181,3	158,3	10,9	12,1	
VII _B	11,1	7,1	48,6	199,1	119,2	57,0	23,1	
VII _D	11,8	3,4	46,7	183,8	122,9	39,9	21,1	
total _B	19,2(3,1)	7,5(2,5)	37,6(2,4)	194,2(6,5)	114,1(8,1)	59,2(8,3)	20,8(2,0)	
total _D	16,8(3,5)	4,2(1,5)	38,7(3,7)	192,3(8,1)	117,7(6,6)	51,2(8,1)	23,4(2,4)	

Tabell I b. Sömnstadienfördelning för 21-27-åriga män, medelvärde för bullernätter (\bar{B}) och dämpade nätter (\bar{D}).

fp	3 + 4				3	4			REM	MT	tid (ej 00) (h)
	(min)										
I \bar{B}	81,1	23,2	57,7	55,5	3,1	5,27					
I \bar{D}	112,1	24,6	87,5	50,9	4,5	5,77					
II \bar{B}	71,4	12,5	59,0	85,3	5,8	6,80					
II \bar{D}	72,8	11,3	61,6	77,2	6,8	6,91					
III \bar{B}	52,2	12,9	39,3	80,1	7,5	6,82					
III \bar{D}	78,0	25,4	52,7	64,8	6,5	7,22					
IV \bar{B}	79,8	15,2	64,5	72,1	7,2	6,40					
IV \bar{D}	81,0	20,1	60,8	78,7	8,9	6,57					
V \bar{B}	75,8	17,9	58,0	42,6	9,1	5,90					
V \bar{D}	84,3	24,2	60,1	54,8	10,8	6,07					
VI \bar{B}	73,6	12,2	61,7	91,0	7,4	7,01					
VI \bar{D}	77,3	8,3	69,3	80,8	7,7	6,71					
VII \bar{B}	58,9	23,2	35,6	86,9	11,1	6,86					
VII \bar{D}	51,2	18,6	32,6	85,5	7,1	6,30					
total \bar{B}	68,9(3,2)	16,7(1,6)	52,2(3,5)	76,2(4,3)	7,5(0,8)	6,53(14)					
total \bar{D}	75,8(4,0)	19,4(2,1)	56,5(4,1)	73,5(3,4)	7,7(0,7)	6,57(11)					

Tabell II. Relativa ändringen av tiden tillbringad i olika sömnstadier för bullernätter, jämfört med nätter med dämpning (SEM inom parentes) för 7 unga män.

Försöks- person	W + 1 + MT	REM	3+4	23 + 3 + 4
(%)				
1	-17(22)	-12(17)	-17(15)	-12(13)
2	+40(45)	+11(5)	-2(11)	- 3(7)
3	+ 4(20)	+24(15)	-33(7)	-35(6)
4	- 2(18)	- 8(9)	- 2(6)	- 3(6)
5	-13(24)	-22(17)	-10(2)	-10(4)
6	-41(13)	+13(8)	- 5(14)	- 8(13)
7	+16(20)	+ 2(12)	+15(12)	+13(7)
1-7	-13(10)	+ 6(6)	-10(6)	- 9(5)
p (t-test, ensidigt)			0,06	0,08
p (Binomial test, ensidigt)			0,06	0,06

Tabell III. Sömnstadiet fördelning för 63-74-åriga män, medelvärde för bullernätter (\bar{B}) och nätter med dämpning (\bar{D}) (SEM inom parentes).

fp	M + 1 + MT	21	23 + 3 + 4	REM
	(min)			
9 \bar{B}	170.8	152.8	25.0	74.8
9 \bar{D}	88.3	243.5	40.5	62.2
10 \bar{B}	94.0	107.2	128.6	59.6
10 \bar{D}	92.7	94.5	122.8	72.6
11 \bar{B}	151.8	208.3	60.5	32.3
11 \bar{D}	156.0	164.0	67.3	63.5
13 \bar{B}	126.8	113.8	82.8	62.5
13 \bar{D}	119.5	137.3	80.5	58.8
Alla \bar{D}	113.5(13.6)	167.2(20.4)	73.0(13.9)	64.3(2.6)

Tabell IV. Relativa ändringen av tiden tillbringad i olika sömnstadier för bullernätter, jämfört med nätter med dämpning för 4 äldre män (SEM inom parentes).

Försöks- person	W + I + MT	21	23 + 3 + 4	REM
				(%)
9	+93(38)	-37(7)	-38(62)	+20(24)
10	+ 1(21)	+13(29)	+ 5(14)	-18(8)
11	- 3(20)	+24(13)	-10(55)	-49(17)
13	+ 6(17)	-17(5)	+ 3(31)	+ 6(14)

p(Wilcoxon, ensidigt) 0.13

Tabell V. Insomningstiden för 5 äldre män. Medelvärde för bullernätter (\bar{B}) och nätter med dämpning (\bar{D}).

Försöks- person	\bar{B}	\bar{D}	$\bar{B}-\bar{D}$
	(min)		
8	17.2(4.5)	16.2(3.9)	1.0(6.0)
9	29.5(5.0)	23.5(0.6)	6.0(5.0)
10	33.2(0.9)	25.2(14.0)	8.0(14.0)
11	15.3(1.0)	16.8(7.6)	-1.5(7.7)
13	29.0(2.5)	12.0(11.5)	17.0(11.8)
Medelvärde			4.2(3.2)
p(Wilcoxon, ensidigt)			0.11

Tabell VI. Medellatenstider för första förekomst av orto-3, orto-4 och REM-sömnen under nätter med dämpning, samt ändringen efter ökad bullerexponering (SEM inom parentes).

Försöksperson	Sömnstadium	Medelvärde för latensen (dämpade nätter) (min)	Ändring (absolut) vid ökad exponering (min)	p-värde (Binomial-test)
1-7	orto-3	16(3)	2(3)	0.11
	orto-4	19(3)	8(6)	
	REM	83(8)	-4(7)	
8,9,10,11,13	orto-3	52(25)	8(24)	
	orto-4	48(25) ⁺	27(20)	
	REM	106(26)	9(26)	

⁺) utan försöksperson 9, för vilken orto-4 sömnen inte uppträder varje natt

Tabell VII. Medelvärde för positions- och spridningsparametrar P_{eff} resp. S_{eff} (för definition se text) för orto-23,3,4 samt REM-sömn för sju unga män. (17 nätter med dämpning) samt de absoluta ändringarna efter ökad bullerexponering ΔP_{eff} och ΔS_{eff} (SEM inom parentes).

Sömnstadium	P_{eff} (min)	ΔP_{eff} (min)	p-värde (t-test, ensidigt)
23	150(11)	-19(10)	0.05
3	124(12)	-13(14)	
4	78(9)	+ 7(10)	
3+4	78(9)	+ 5(8)	
23+3+4	77(8)	+ 1(7)	
REM	211(7)	- 2(7)	
	S_{eff} (min)	ΔS_{eff} (min)	
23	105(7)	- 4(5)	
3	87(8)	-10(9)	
4	68(6)	- 6(6)	
3+4	76(6)	- 6(7)	
23+3+4	85(6)	- 1(4)	
REM	86(3)	- 2(2)	

Tabell VIII. Medelvärde för positions- och spridningsparametrar P_{eff} resp. S_{eff} för djup orto-sömn samt REM-sömn för 4 äldre män (10 nätter med dämpning) samt de absoluta ändringarna efter ökad bullerexponering ΔP_{eff} och ΔS_{eff} (SEM inom parentes).

Sömnstadium	P_{eff} (min)	ΔP_{eff} (min)	p-värde (t-test, ensidigt)
3	211(25)	- 4(27)	
3+4	176(24)	- 6(25)	
23+3+4	145(16)	- 4(38)	
REM	190(15)	0(17)	

	S_{eff} (min)	ΔS_{eff} (min)	
3	115(10)	- 9(24)	
3+4	98(8)	0(23)	
23+3+4	104(7)	- 6(17)	
REM	93(7)	-27(15)	0.11

Tabell IX. Medelvärde (\bar{t}) och den relativa bredden ($\frac{\Delta t}{\bar{t}}$) för de två försöksgruppernas frekvensfördelningar för durationen av enstaka perioder i olika sömnstadier (se fig 9 och 10), samt de procentuella förändringar av ovannämnda parametrar för bullernätter (B) jämfört med nätter med dämpning (D) (SEM inom parentes).

Försöks- person	Sömnstadium	\bar{t} (D) (min)	Relativa ändringen i \bar{t} (%)	p-värde ensidigt (t-test)	$\frac{\Delta t(D)}{\bar{t}}$ (%)	Relativa änd- ringen i $\Delta t/\bar{t}$ (%)	p-värde (tvåsidigt, t-test)
1 - 7	orto-1+21	2.5	+11(8)	0.12	82	+ 5(6)	
	orto-3+4	3.9	+ 2(11)		105	+ 3(8)	
	REM	7.2	+17(11)	0.09	161	+ 2(10)	
9, 10, 11, 13	orto-1+21	4.1	+ 9(11)		101	+ 6(14)	
	orto-3+4	3.1	+ 9(7)	0.12	144	-17(5)	0.04
	REM	7.0	- 6(11)		155	-10(12)	

Tabell X. Medelvärden av totala antal skift mellan olika sömnstadier per natt med SEM inom parentes för 17 nätter med dämpning (7 unga män).

Till	0	1	21	3	4	REM	22	23
Från								
0	-	4.2(0.7)	0.1(0.1)	0	0	0	0	0
1	1.9(0.4)	-	18.1(1.3)	0	0	7.4(1.2)	1.5(0.9)	0
21	0.9(0.3)	10.9(0.9)	-	0.53(0.15)	0	4.2(0.5)	19(3)	8.7(0.9)
3	0	0.4(0.2)	2.0(1.4)	-	7.1(1.0)	0	0	4.6(1.3)
4	0	0.5(0.2)	1.2(0.3)	5.1(1.2)	-	0	0	0.41(0.19)
REM	0.18(0.13)	10.4(1.4)	1.5(0.3)	0	0	-	0.1(0.1)	0
22	0.24(0.14)	1.9(0.8)	17(3)	0	0	0.5(0.2)	-	0.35(0.17)
23	0.12(0.08)	0.8(0.3)	4.2(0.7)	8.5(1.5)	0.2(0.2)	0	0.18(0.13)	-
Alla	3.5(0.7)	29(3)	44(4)	14(3)	7.3(1.1)	12.1(1.5)	20(4)	14(2)
								Summa 145(17)
								Summa med 21,22 och 23 sammanslagna 96(11)

Tabell XI. Medelvärden av totala antal skift mellan olika sömnstadier per natt med SEM inom parentes för 10 dämpade nätter (4 äldre män).

Till	0	1	21	3	4	REM	22	23
Från								
0	-	10.7(1.7)	0.1(0.1)	0	0	0.1(0.1)	0	0.1(0.1)
1	4.5(0.8)	-	20(3)	0	0.1(0.1)	5.8(1.9)	0	0
21	4.2(1.2)	10(2)	-	1.4(0.6)	0.1(0.1)	3.3(0.5)	0.2(0.2)	9(2)
3	0.4(0.2)	0.4(0.2)	2.5(1.3)	-	5.4(1.2)	0.2(0.1)	0	4.9(1.5)
4	0.3(0.2)	0.6(0.4)	0.9(0.3)	3.4(0.8)	-	0.4(0.2)	0	0.3(0.2)
REM	1.1(0.6)	8(2)	1.3(0.4)	0	0.1(0.1)	-	0	0
22	0	0	0.2(0.2)	0	0	0	-	0
23	0	0.9(0.4)	3.2(0.8)	9(2)	0.2(0.1)	0.5(0.2)	0	-
Alla	10.6(1.7)	30(4)	28(4)	14(3)	5.9(1.4)	10(2)	0.2(0.2)	14(3)
								Summa 114(15)
								Summa, med 21,22 och 23 sammanslagna 101(13)

Tabell XII. Medelvärde av de procentuella ändringarna i antalet sömnstadieskift per natt (SEM inom parentes) för 7 unga män och 4 äldre män samt p-värde för alla fall med $p \leq 0.10$.

SS ₁ - SS ₂	7 unga män		4 äldre män	
	Ändring i antalet sömnstadieskift (%)	p-värde (t-test, ensidigt)	Ändring i antalet sömnstadieskift (%)	p-värde (t-test, ensidigt)
1 - 21	-20(14)	0.09	-17(10)	0.09
21 - 1	-19(12)	0.08	-31(11)	0.03
21 - 23	-27(26)		-31(13)	0.05
23 - 21	-26(59)		-35(15)	0.08
23 - 3	-20(23)		-38(17)	0.05
3 - 21	-49(25)	0.05	+ 4(74)	
4 - 3	-38(23)	0.08	- 6(32)	
REM - 1	-10(18)		-41(16)	0.04
Alla- 21	-17(21)		-18(7)	0.03
Alla- 23	+ 4(24)		-38(15)	0.05
Alla- 3	-30(18)	0.08	-27(16)	0.09

Tabell XIII. Antal stora EMG-störningar (=EMG i flera registreringskanaler) per 7 timmar för 7 unga och 4 äldre män; medelvärde per försöksperson för bullernätterna (\bar{B}), nätter med dämpning (\bar{D}) samt de procentuella skillnaderna mellan buller och dämpade nätter ($\bar{B}-\bar{D}/\bar{D}$).

Försöks- person	Antal "stora" EMG-störningar			p-värde (t-test, ensidigt)
	\bar{B}	\bar{D}	$\bar{B}-\bar{D}/\bar{D}$ (%)	
1	64(3)	63	+2	
2	59(4)	57(3)	+3(9)	
3	54(6)	66(6)	-19(12)	
4	98(8)	111(11)	-12(11)	
5	114(16)	122(4)	- 6(9)	
6	52(10)	73(7)	-29(15)	
7	108(14)	108(11)	0(17)	
1-7			- 9(5)	0.05
8	163	332	-51	
9	188	231(33)	-19	
12	95(18)	114	-19	
13	140(19)	147(1)	- 5(13)	
8-13			-23(10)	0.07

Tabell XIV. Ratkvoten (RK) för sömnstadieskift 0-30 sek efter en bilpassage i relation till sömnstadieskift 0-30 sek innan bilpassagen med ensidigt p-värde för avvikelse från RK=1, för toppbullernivåer >40 dB(A) och >50 dB(A) inomhus.

Sömnstadieskift	Unga män (20 bullernätter)			Äldre män (13 bullernätter)					
	RK	p	>50 dB(A)	RK	p	>40 dB(A)	RK	p	>50 dB(A)
1 - 0	1.00		5.00	0.05	1.50		1.57		
21 - 1,0	0.94		1.15		1.30		1.22		
23 - 21,1,0	1.25		1.20		0.93		1.00		
3 - 23,21,1,0	1.14		2.29	0.03	0.88		0.77		
4 - 3,23,21,1,0	0.83		1.25		1.14		0.36		0.02
22 - alla	1.09		0.87		-		-		
alla - 22	0.73	0.03	0.65	0.04	-		-		
REM - alla	0.70	0.06	0.36	<0.01	0.61		0.60		
alla - REM	1.36		0.70		2.18	0.01	1.57		
2 - 1,0	1.02		1.16		1.23		1.37		
orto-mindre djup orto	1.00		1.40	0.04	1.16		0.93		

Tabell XV. Ratkvoten (RK) och p-värde (ensidigt) för förekomst av EMG-störningar efter fordonspassager i testintervall, jämfört med EMG-störningsfrekvensen för fordonspassager i två kontrollintervall, 10-20 sek och 20-30 efter EMG-störningen, för 7 unga män (20 bullernätter, bullernivå > 40 dB(A)).

Testperiod i sekunder relaterad till EMG-störningen

EMG i sömn- stadium:	-30 - -20 sek		-20 - -10 sek		-10 - 0 sek		0 - 10 sek	
	RK	p	RK	p	RK	p	RK	p
1	0.8	0.03	1.0		1.0		0.9	
21	1.0		0.8		1.2		1.1	
22	0.4	0.01	0.8		0.9		0.6	
23	0.8		0.9		0.5	0.05	0.8	
2	0.9		0.8	0.04	1.1		1.0	
3+4	1.4		0.9		1.3		1.2	
23+3+4	1.1		0.9		0.9		1.0	
REM	1.1		1.2		1.4	0.04	1.2	
ej vaken	0.9		0.9		1.1		1.0	

Tabell XVI. Ratkvoten (RK) och p-värde (ensidigt) för förekomst av EMG-störningar efter fordonspassager i testintervall, jämfört med EMG-störningsfrekvensen för fordonspassager i två kontrollintervall; 10-20 sek och 20-30 sek efter EMG-störningen, för 7 unga män (17 nätter med dämpning, bullernivå >40 dB(A)).

Testintervall i relation till EMG-störningen

EMG i sömn- stadium:	-30 - -20 sek		-20 - -10 sek		-10 - 0 sek		0 - 10 sek	
	RK	p	RK	p	RK	p	RK	p
1	1.6	0.005	1.4	0.02	1.4	0.03	1.6	0.005
21	0.8		1.1		0.9		1.0	
22	0.7		3.4	0.04	1.4		1.0	
23	2.7		2.2		1.7		3.1	0.05
2	0.8		1.2		0.9		1.0	
3+4	1.0		1.2		0.6		0.7	
23+3+4	1.2		1.4		0.7		0.9	
REM	1.4		1.2		1.7	0.01	1.4	
ej vaken	1.1		1.3	0.02	1.1		1.2	0.03

Tabell XVII. Ratkvoten (RK) och p-värde (ensidigt) för förekomst av EMG-störningar efter fordonspassager i testintervallet, jämfört med EMG-störningsfrekvensen för fordonspassager i två kontrollintervall; 10-20 sek och 20-30 sek efter EMG-störningen, för 7 unga män (37 nätter med och utan dämpning, bullernivå > 40 dB(A)).

Testintervall i relation till EMG-störningen

EMG i sömn- stadium:	-30 - -20 sek		-20 - -10 sek		-10 - 0 sek		0 - 10 sek	
	RK	p	RK	p	RK	p	RK	p
1	1.0		1.1		1.1		1.1	
21	0.9		0.9		1.1		1.1	
22	0.4	0.005	1.0		1.0		0.7	
23	1.2		1.1		0.7		1.1	
2	0.9	0.05	0.9		1.0		1.0	
3+4	1.2		1.0		1.0		0.9	
23+3+4	1.2		1.0		0.9		1.0	
REM	1.2		1.2		1.5	0.002	1.3	0.05
ej vaken	1.0		1.0		1.1	0.04	1.1	

Tabell XVIII. Ratkvoten (RK) och p-värde (ensidigt) för förekomst av EMG-störningar efter fordonspassager i testintervallet, jämfört med EMG-störningsfrekvensen för fordonspassager i två kontrollintervall, 10-20 sek och 20-30 sek efter EMG-störningen, för 4 äldre män (7 bullernätter, bullernivå >40 dB(A)).

Testintervall i relation till EMG-störningen									
EMG i sömn- stadium:	-30 - -20 sek		-20 - 10 sek		-10 - 0 sek		0 - 10 sek		p
	RK	p	RK	p	RK	p	RK	p	
1	1.1		1.2		1.2		1.5		0.01
21	1.0		0.9		1.1		0.8		
23	2.5	0.01	1.5		1.2		1.7		
2	1.1		1.0		1.1		0.9		
3+4	1.2		0.6		1.6		1.3		
REM	1.2		1.0		2.3	0.001	0.9		
ej vaken	1.1		1.0		1.3	0.01	1.1		

Tabell XIX. Medelvärde för antalet fordonspassager per natt för 7 unga män och 6 äldre män
(standardavvikelse inom parentes).

Inomhus- buller (dB (A))	7 unga män		6 äldre män	
	icke dämpad	dämpad	icke dämpad	dämpad
40-44	137(64)	122(71)	62(54)	124(83)
45-49	127(61)	59(34)	182(182)	94(118)
50-54	81(54)	24(20)	163(140)	18(26)
≥ 55	71(135)	10(12)	74(62)	3(5)
Summa	444(157)	215(120)	481(397)	239(191)

Tabell XX. Medelvärde för antalet fordonspassager per natt under olika sömnstadier samt insomningsfasen för sju unga män för bullernätter (B) och nätter med dämpning (D).

Inomhus- buller (dB(A))	Insomning		W + 1 + MT		2		3 + 4		REM	
	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D
40-44	9	5	19	19	68	50	24	23	27	27
45-49	10	2	17	9	63	25	19	10	28	14
50-54	6	1	14	3	39	12	12	4	16	6
≥55	2	1	13	1	36	4	10	2	12	1
Summa	27	9	63	32	206	91	65	39	73	48

Tabell XXI. Medelvärde för antalet fordonspassager per natt under olika sömnstadier samt insomningsfasen för 6 äldre män för bullernätter (B) och nätter med dämpning (D).

Inomhus- buller (dB(A))	insomning		W + 1 + MT		21		23 + 3 + 4		REM	
	B	D	B	D	B	D	B	D	B	D
	40-44	5	8	20	26	21	49	12	19	5
45-49	10	10	61	15	78	47	18	9	16	14
50-54	13	4	51	2	70	9	11	1	17	2
≥55	7	1	25	0	30	1	5	0	8	0
Summa	35	23	157	43	199	106	46	29	46	38

Tabell XXII. Effektiv helnattsekvivalentnivå L_{Teq} som definierad i ref. 14 för gruppen unga och äldre män för bullernätter (\bar{B}), nätter med dämpning (\bar{D}) och skillnaden mellan dessa ($\overline{B-D}$) (Standardavvikelsen inom parentes).

Försöks- personer	"Effektiv" helnattsekvivalentnivå L_{Teq}		
	\bar{B} (σ)	\bar{D} (σ) (dB(A))	$\overline{B-D}$ (σ)
1-7	37.3(3.6)	31.0(4.9)	6.3(4.0)
8-13	38.1(7.7)	27.1(8.7)	11.0(7.6)

Tabell XXIII. Medelvärde per försöksperson för antalet "stora" EMG per 7 timmar för referensnätterna i 2 laboratorieförsök (I, II) samt de procentuella ändringarna jämfört med referensnätterna för nätter med olika typer av bullerexponering (SEM inom parentes)

Försöks- person	Antal stora EMG/7 h ref.nätter (dB(A))	Relativa ändringen antal stora EMG/7 timmar			
		$\hat{55}$	$\bar{45}$	$\bar{45}+\hat{55}$	$\hat{45}$
(%)					
B _I	80(2)	16	-	24	15
C _I	49(5)	28	3	15	15
D _I	69(7)	- 8	- 10	22	- 29
E _I	47(3)	- 6	36	- 7	38
F _I	59(2)	36	2	27	9
G _I	61(5)	5	7	20	20
H _I	62(4)	29	- 3	- 11	12
I _I	52(3)	20	48	17	75
A _{II}	96(5)	29	- 32	12	
B _{II}	90(3)	0	6	10	
E _{II}	56(5)	11	- 11	4	
F _{II}	61(3)	19	3	18	
G _{II}	75(5)	- 10	-	- 1	
H _{II}	76(5)	4	- 26	- 24	
Medelvärde	67(4)	12.3(4.0)	1.9(6.5)	9.0(4.0)	19.3(10.3)
p (t-test, ensidigt)		0.004		0.02	0.05

Figursammanställning

- Fig 1. Elektrodpacering för EEG, EOG och EMG.
- Fig 2. Schema på apparaturuppställning.
- Fig 3. Medelaudiogram för försöksgruppen 21-27-åriga män och försöksgruppen 63-74-åriga män.
- Fig 4. Tre olika tidsschemata för försökens genomförande.
- Fig 5. Sömnstadieförlopp för en natt utan bullerdämpning för försöksperson 3 (22 år). I figurens nedersta del anges antal fordonspassager per halvtimme med (A) toppnivå 40-44 dB(A), (B) toppnivå 45-49 dB(A), (C) toppnivå 50-54 dB(A) och (D) toppnivå ≥ 55 dB(A).
- Fig 6. Som Fig 5 men för en natt med bullerdämpning.
- Fig 7. Som Fig 5 för försöksperson 9 (70 år).
- Fig 8. Som Fig 7 men för en natt med bullerdämpning.
- Fig 9. Medelfrekvensfördelningarna för durationen av enstaka perioder i olika sömnstadier för alla nätter (17) med bullerdämpning för försöksgruppen unga män. Fördelningen för orto-1+21-, orto-3+4- samt REM-sömn visas.
- Fig 10. Som Fig 9 för försöksgruppen äldre män (10 nätter).
- Fig 11. Schema på övergångar mellan olika sömnstadier. Antalet skift mellan två sömnstadier är medelvärdet för försöksgruppens "unga män" nätter med dämpning.
- Fig 12. Medelfrekvensfördelningar för tidsintervallet mellan fordonspassager för bullernätter och nätter med dämpning för försöksgruppen unga män.
- Fig 13. Som Fig 12 för försöksgruppen äldre män.

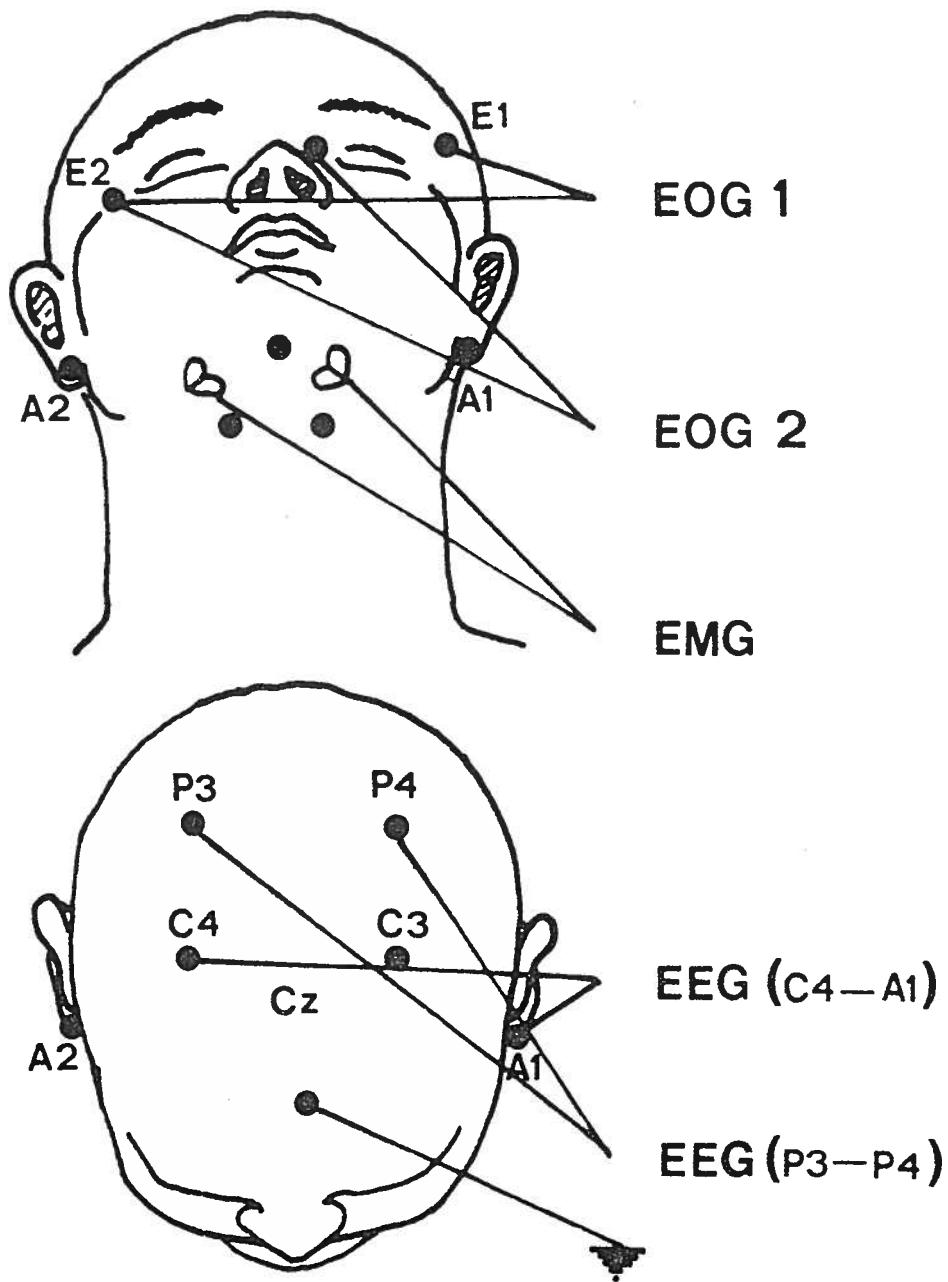


Fig 1

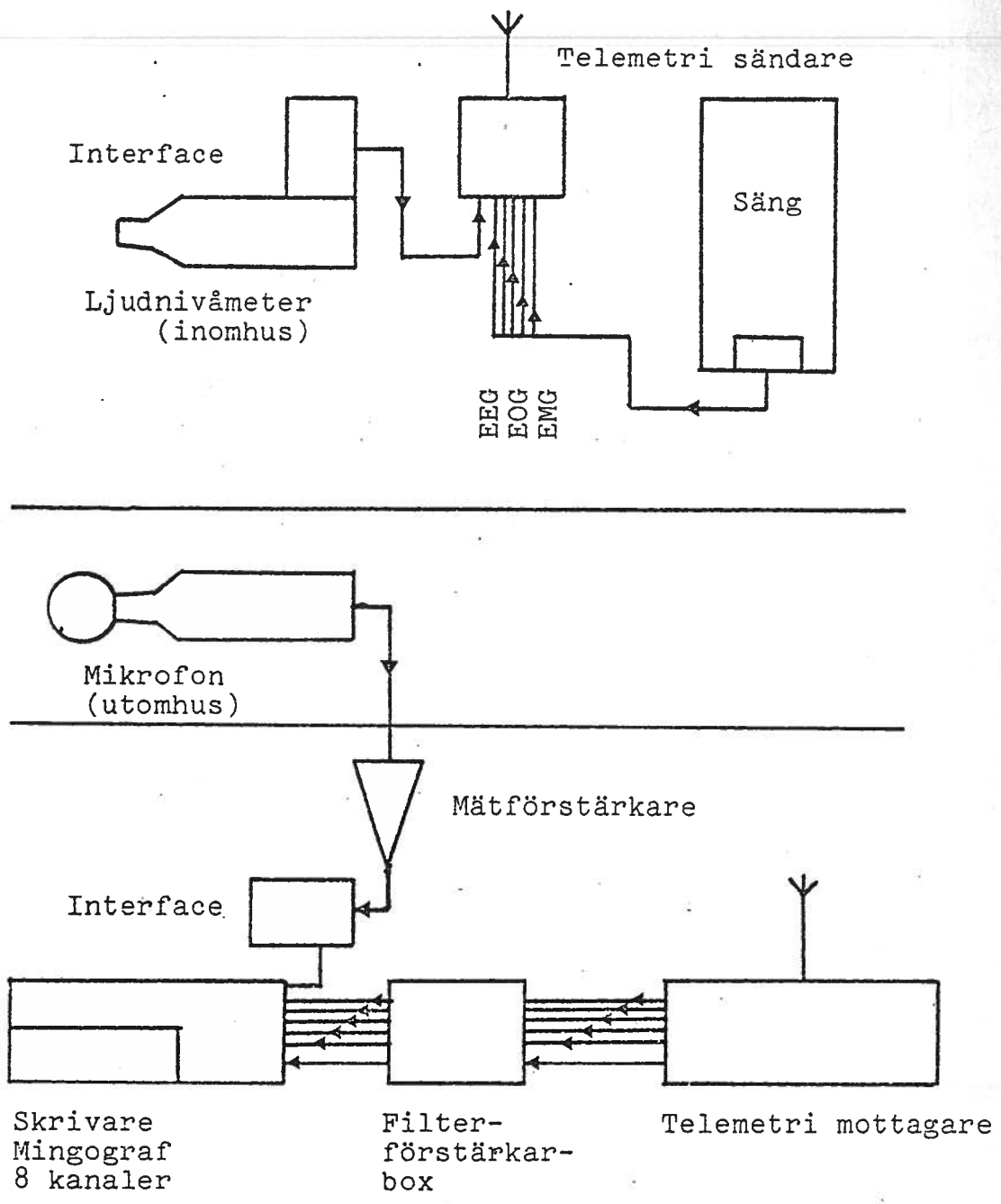
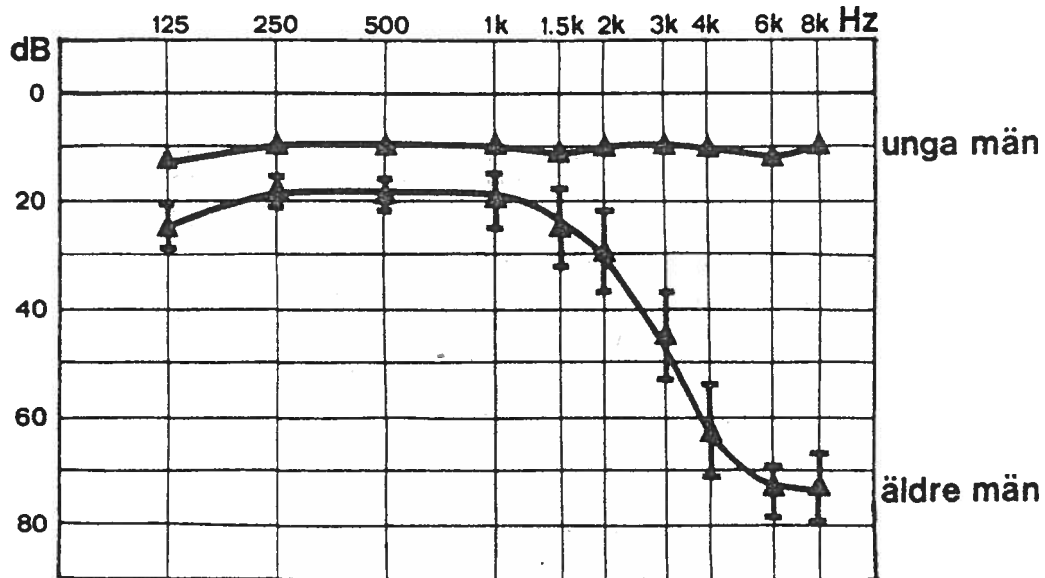


Fig 2

MEDEL AUDIOGRAM FÖR UNGA OCH ÄLDRE MÄN

VÄNSTER ÖRA



HÖGER ÖRA

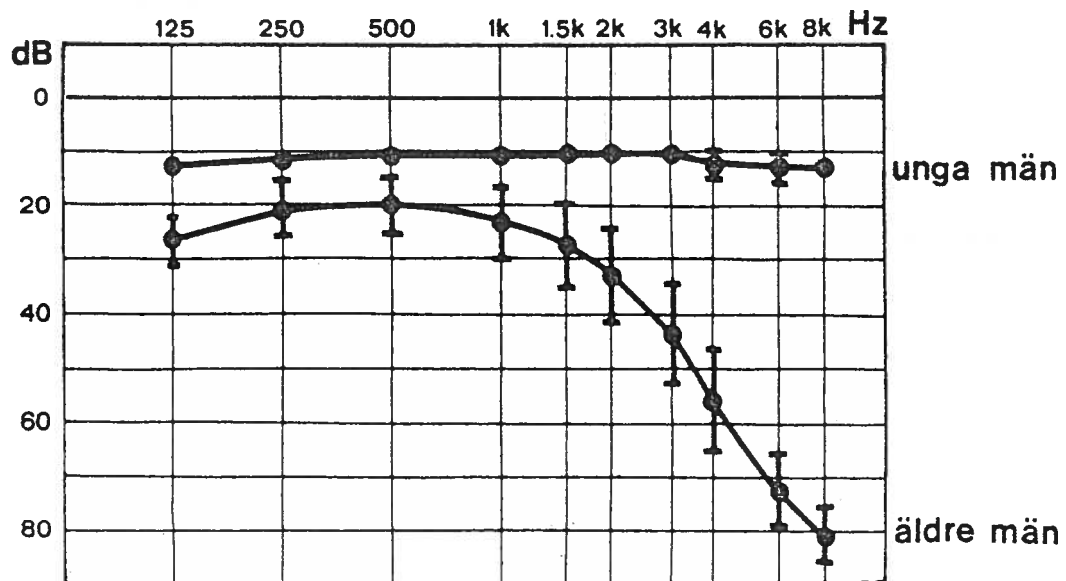


Fig 3

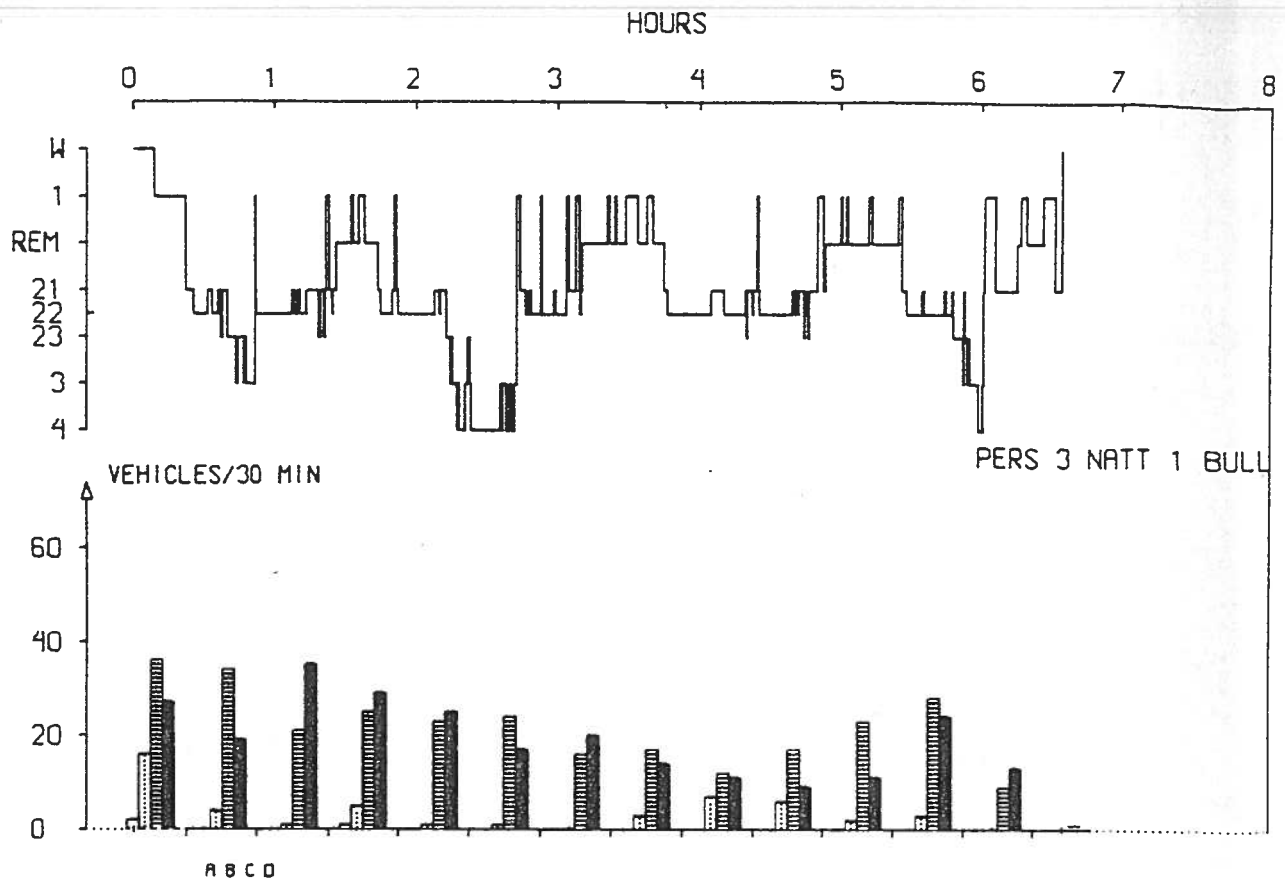


Fig 5

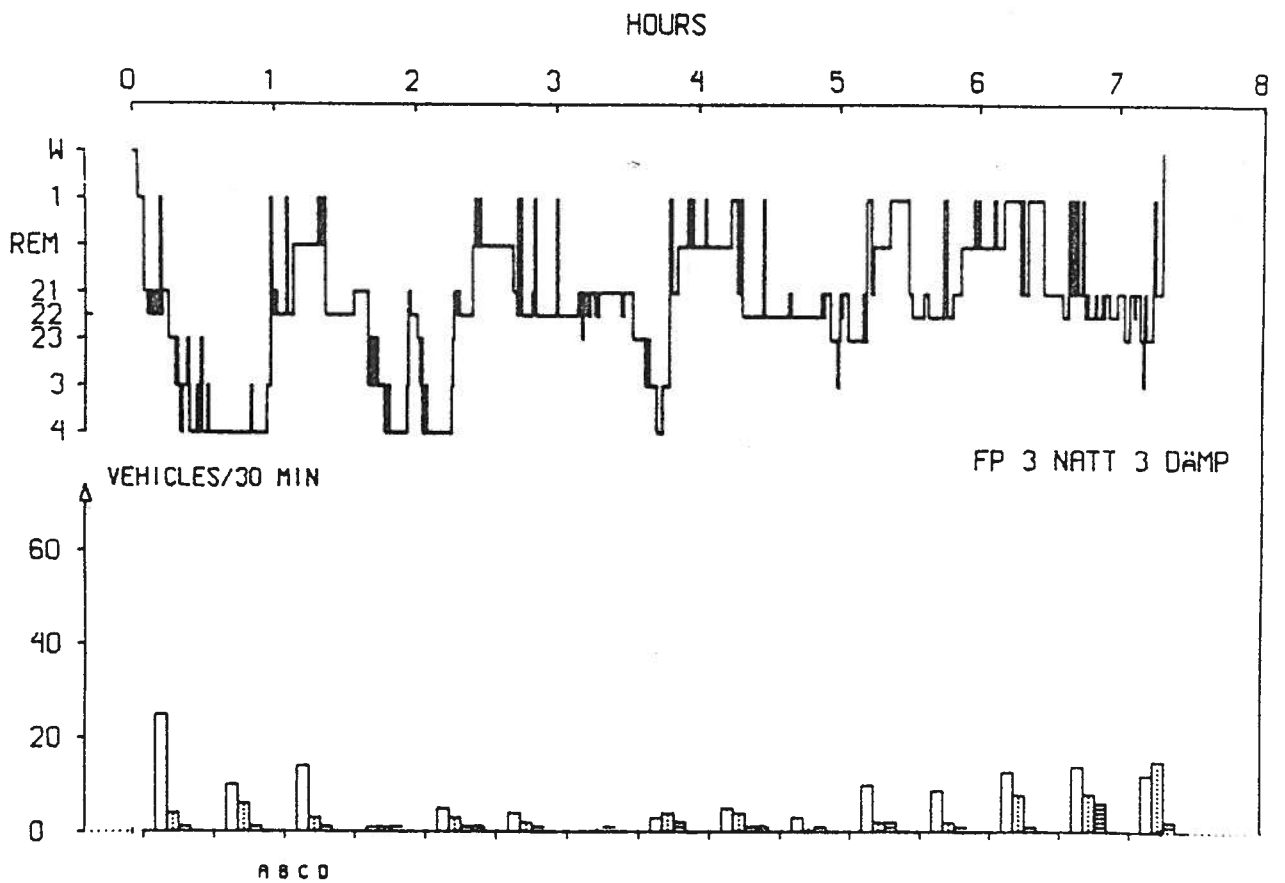


Fig 6

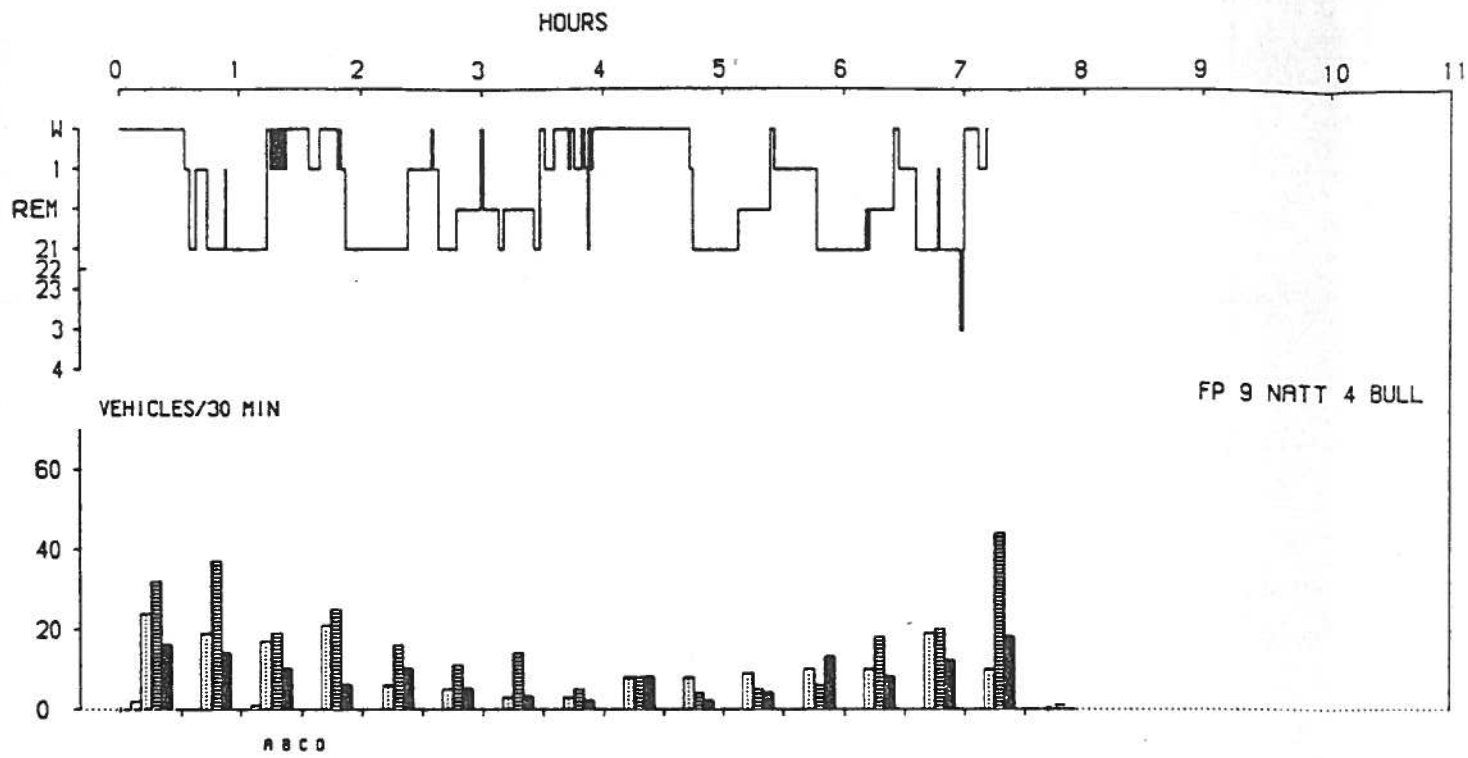


Fig 7

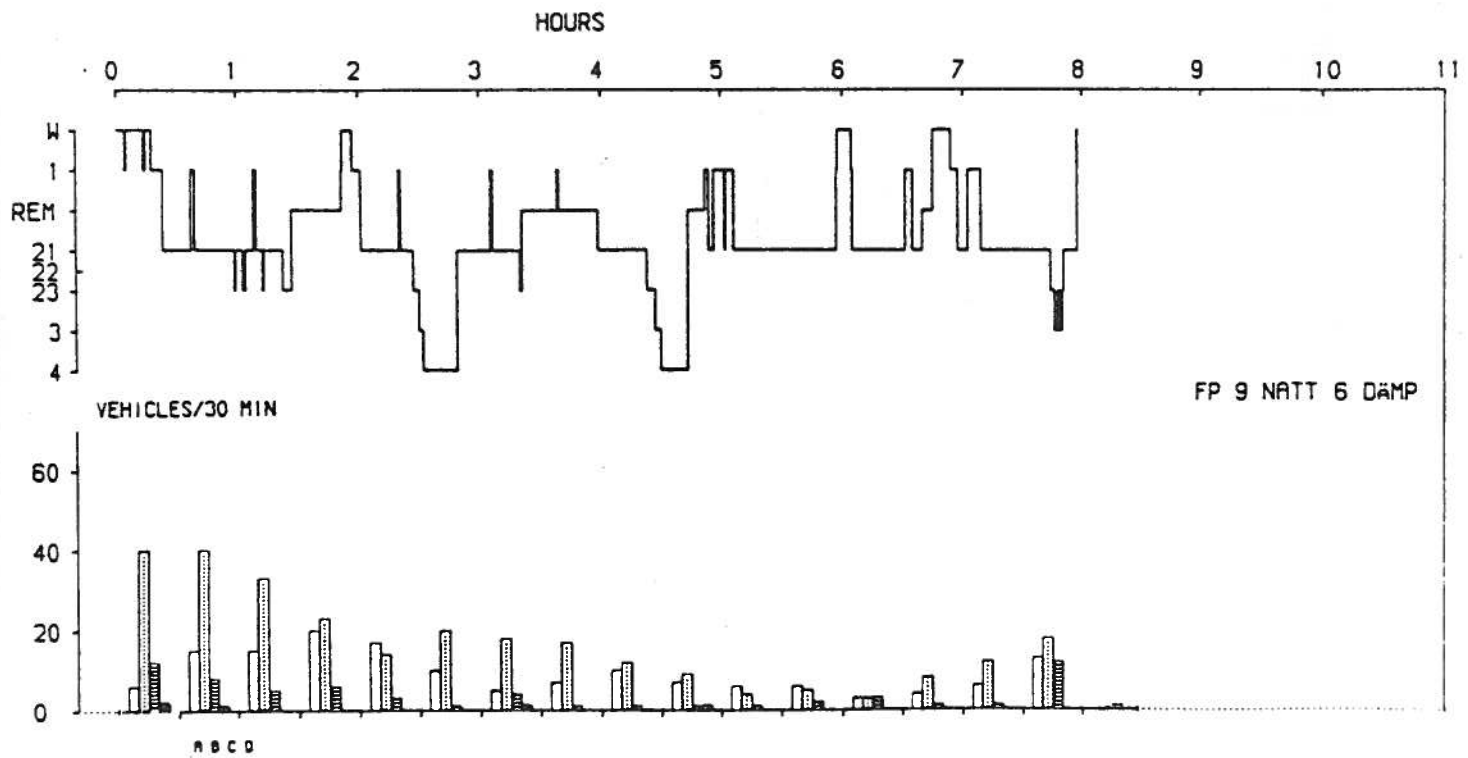


Fig 8

SJU UNGA MÄN NÄTTER MED DÄMPNING

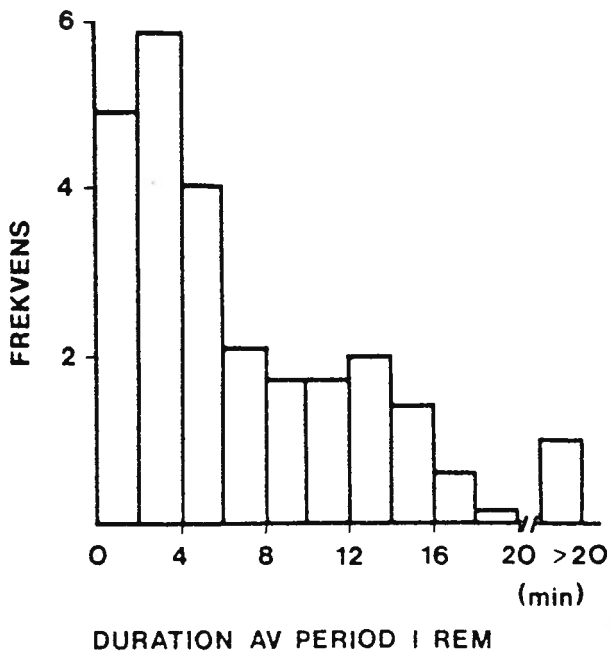
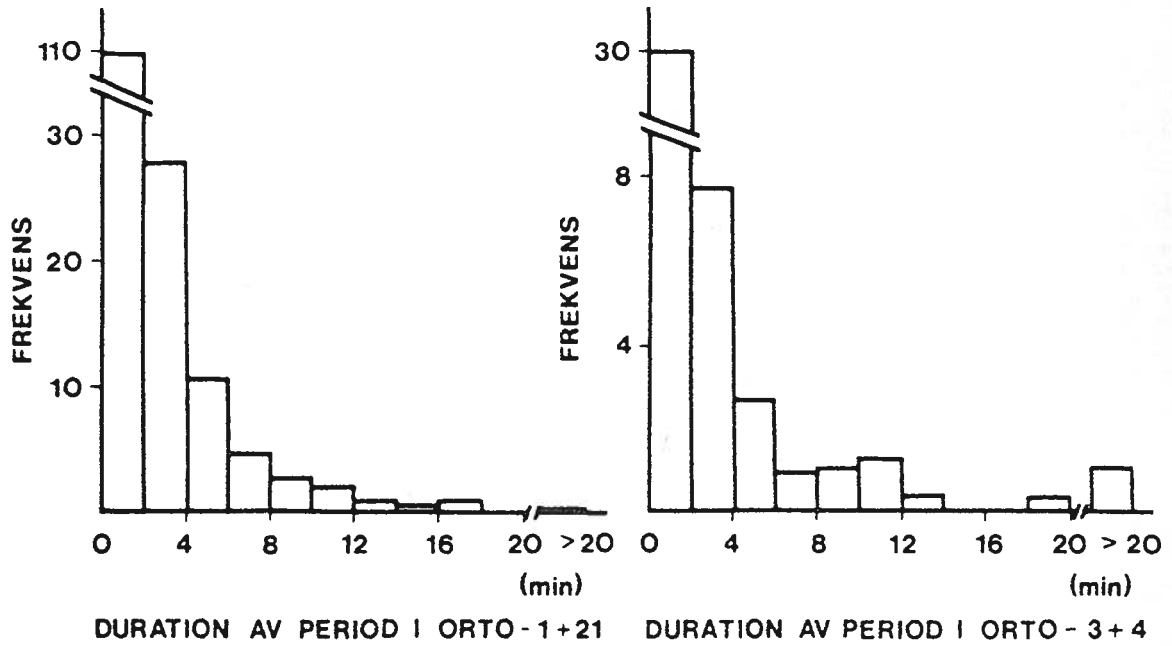
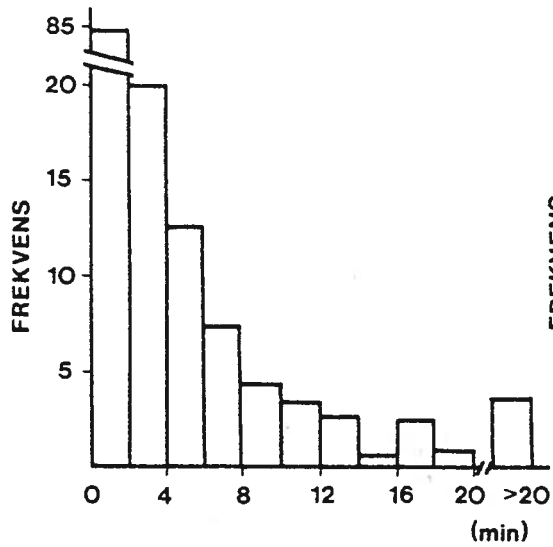
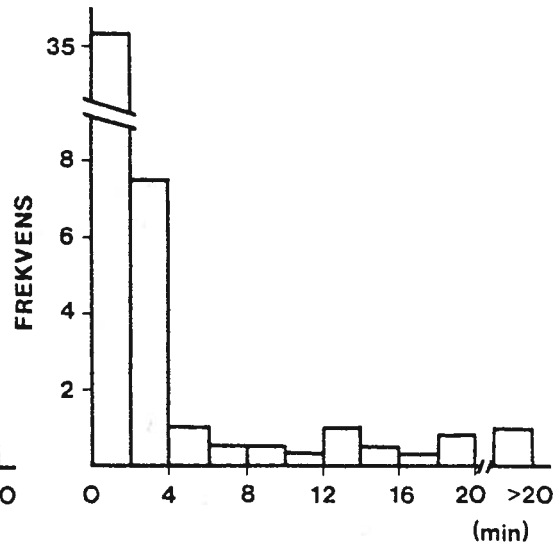


Fig 9

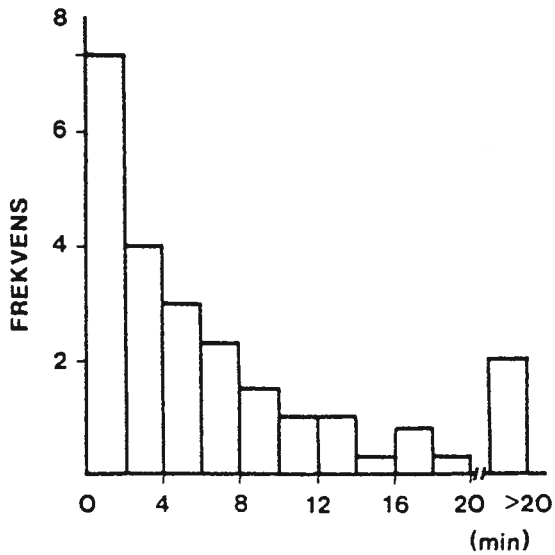
FYRA ÄLDRE MÄN NÄTTER MED DÄMPNING



DURATION AV PERIOD I ORTO-2+21



DURATION AV PERIOD I ORTO-3+4



DURATION AV PERIOD I REM

Fig 10

MEDELVÄRDE FÖR ANTAL ÖVERGÅNGAR PER NATT MELLAN OLIKA SÖMNSTADIER FÖR SJU UNGA MÄN

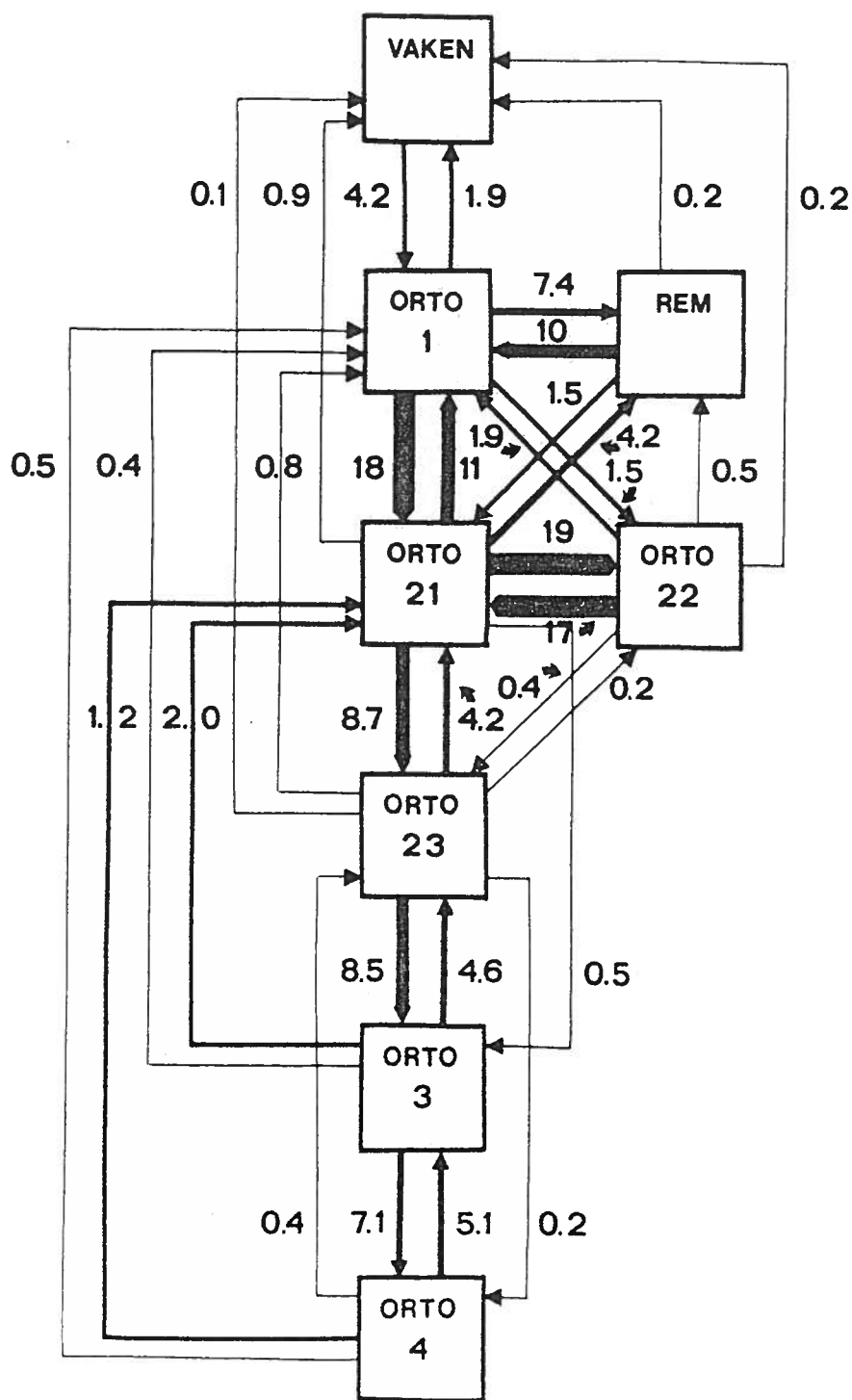


Fig 11

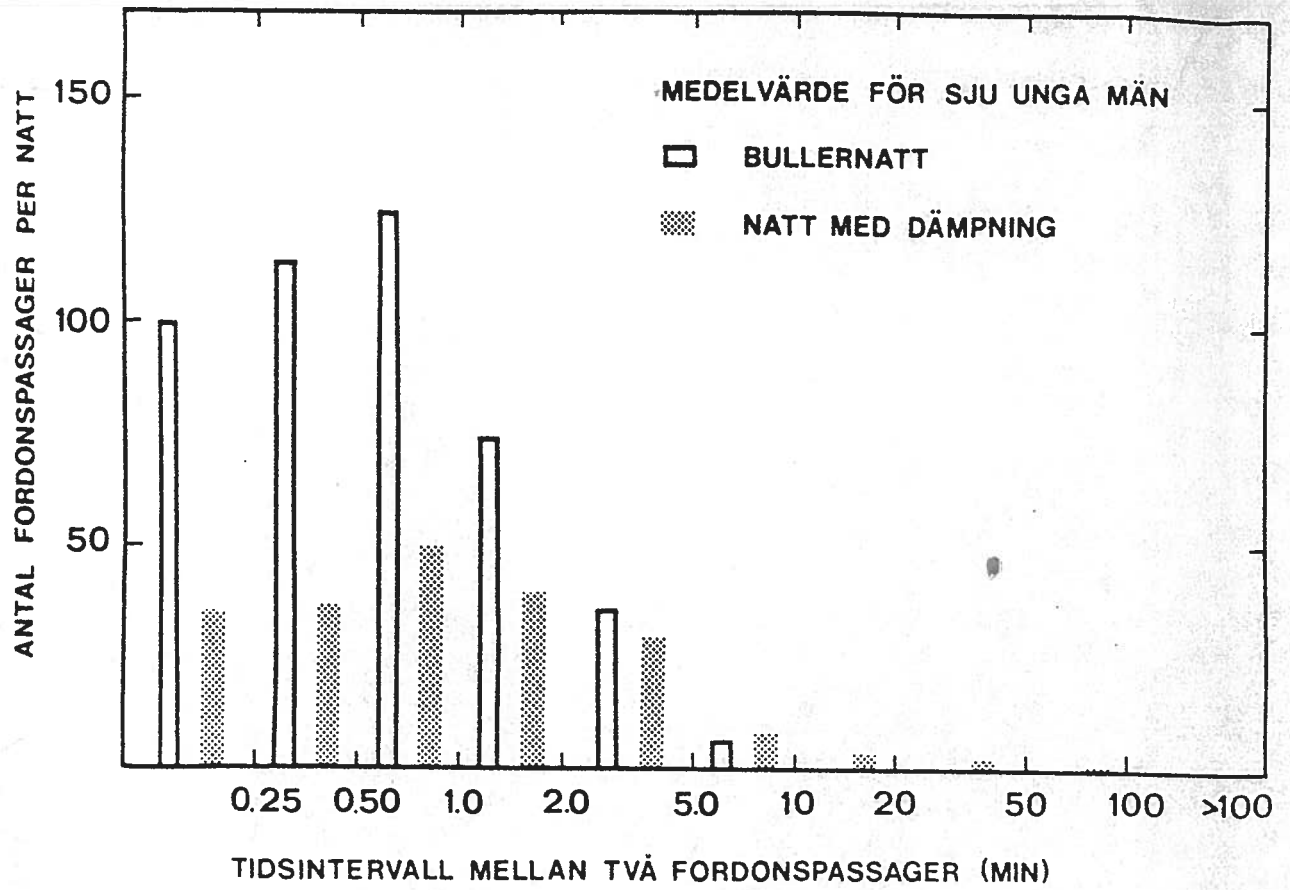


Fig 12

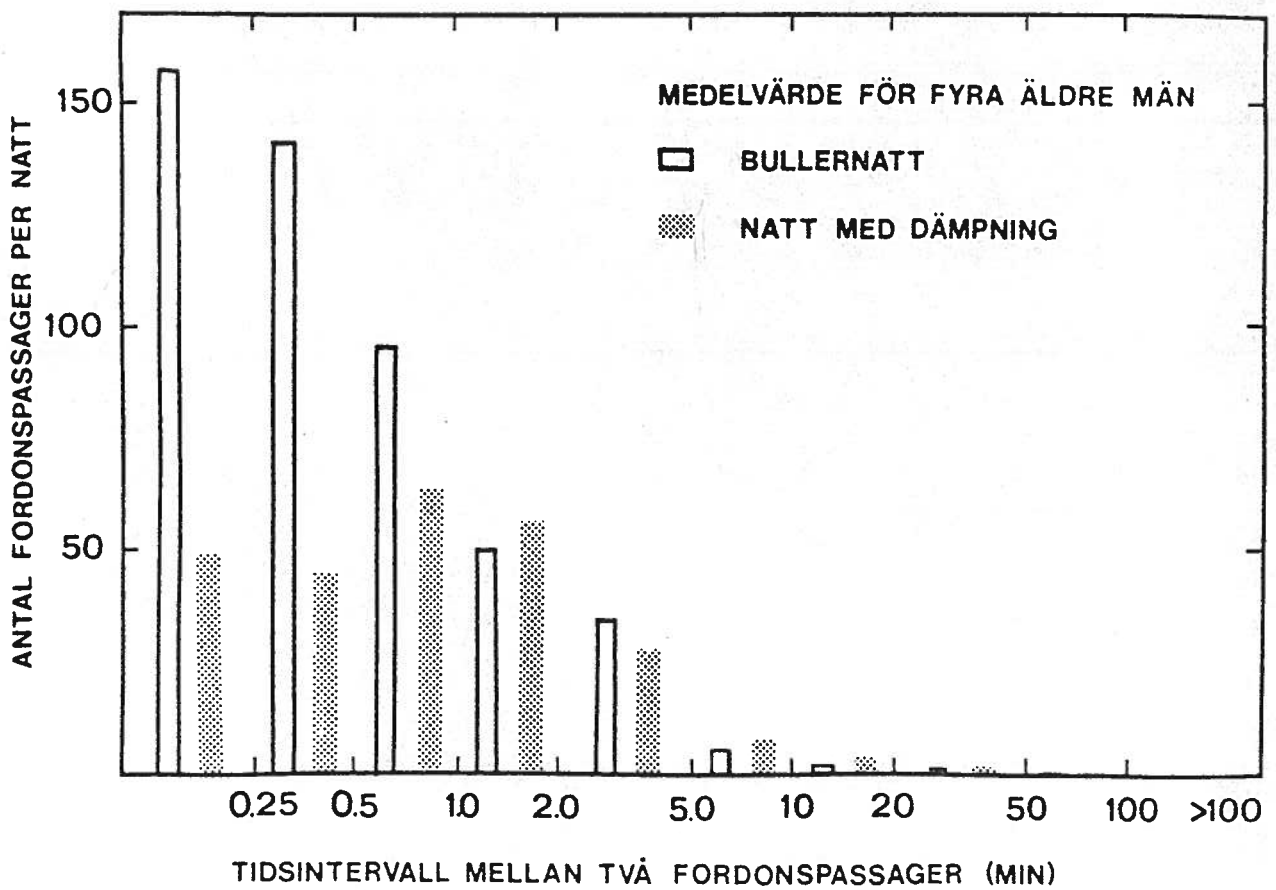


Fig 13