

Slutrapport til Arbejds miljø forskningsfonden

Støj og Stress i storrums kontorer

Projekt Nr. 14-2009-03

Marts 2013

Søren Peter Lund
Jesper Kristiansen
Roger Persson
Hitomi Shibuya
Jørn Toftum
Geo Clausen

NFA
&
Center for Indeklima og Energi, DTU



INDHOLDSFORTEGNELSE:

RESUMÉ.....	1
SUMMARY.....	2
PROJEKTETS FORMÅL.....	3
PROJEKTDELTAGERE.....	3
PROJEKTSTØTTE.....	4
PROJEKTETS METODER OG UDFØRELSE.....	4
RESULTATER.....	10
DISKUSSION OG KONKLUSION.....	19
BESVARELSE AF PROJEKTETS FORSKNINGSSPØRGSMÅL.....	20
FORMIDLING AF PROJEKTETS RESULTATER.....	21
REFERENCER.....	22

BILAG 1.

Cognitive test performance following exposure to noise in an open-office simulation study. Søren Peter Lund, Jesper Kristiansen, Roger Persson, Hitomi Shibuya, Jørn Toftum, Geo Clausen. Proceedings from BNAM 2012, Joint Baltic-Nordic Acoustic Meeting, 18th – 20th Juni, University of Southern Denmark (SDU), Odense.

BILAG 2.

Effect of open-plan office noise on occupant comfort and performance. Jørn Toftum, Søren Peter Lund, Jesper Kristiansen, Geo Clausen. Proceedings from Healthy Buildings 2012, the 10th International Conference, 8-12 July, Brisbane, Australien.

RESUMÉ

Titel: Støj og Stress i storrumskontorer

Baggrund: Støj er den hyppigst angivne årsag til klager over indeklimaet hos ansatte med arbejde i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber. Helt op til 60% af de ansatte i store åbne storrumskontorer klager over forstyrrelse fra støj mod kun 6% i almindelige cellekontorer. Det er især samtale blandt andre ansatte og ringen fra telefoner, der udgør de største kilder til forstyrrelse. Støj i åbne kontorlandskaber kan reducere trivsel, og ansatte i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber kan ydermere have større sygefravær end ansatte i cellekontorer.

Formål: Projektets formål har været udforskning af effekter ved udsættelse for baggrundsstøj fra åbne kontorlandskaber gennem en hel arbejdsdag, når man samtidig skal løse kognitivt anstrengende opgaver. Projektets hovedmål er at evaluere følgende hypoteser: 1) Kan der ved arbejde i storrumskontorer ved almindelige støjniveauer måles objektive tegn på akutte fysiologiske stressreaktioner og større mental træthed efter arbejde? 2) Er der forskel i akutte stressreaktioner og mental træthed hos ansatte, der angiver større grad af forstyrrelse, end hos ansatte, der angiver mindre grad af forstyrrelse fra støj?

Metoder: 56 forsøgsparticipanterne blev rekrutteret blandt ansatte med dagligt arbejde i åbne kontorlandskaber. En gruppe af personer, der rapporterede at være forstyrret af støj i 50% af arbejdstiden eller mere, blev matchet med en gruppe, der blev forstyrret i 25% af arbejdstiden eller mindre. 49 forsøgsparticipantere gennemførte hele forsøget med to arbejdsdage i laboratoriet, henholdsvis en dag med og en uden simuleret kontorbaggrundsstøj. På begge dage blev indhentet besvarelser af spørgeskemaer på deltagerens vurdering henholdsvis af støj, indeklima, koncentrationsevne, arbejdsevne og forskellige symptomer. Endvidere blev der gennemført objektive målinger af performance i kontorlignende arbejdsopgaver, af parametre for akut fysiologisk stressrespons, herunder puls, hjerte-rytmevariabilitet, hormonmålinger, samt udvikling af mental træthed med gennemførelse af kognitive test.

Resultater og anbefalinger: Forsøgsparticipanterne vurderede lyd- og støjforhold, koncentrationsevne og egen arbejdsevne mere negativt på dage med støj end på dage uden støj. Der kunne imidlertid ikke måles forskelle på de objektive parametre hos forsøgsparticipanterne, hverken med hensyn til nedsat performance i de simulerede arbejdsopgaver, øget akut stressrespons, eller ændringer i udfald i de kognitive test, og der var heller ikke forskel på grupperne med større eller mindre støjfølsomhed. Der kunne således konstateres en divergens mellem den negative subjektive vurdering af koncentrationsevne og nedsat accept af støjforholdene i forhold til de objektivt målte parametre. Generelt afkræfter undersøgelsen, at i støj i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber i sig selv er anledning til øget fysiologisk stressbetinget helbredsrisiko ved begrænsede støjniveauer ($L_{eq} < 55 \text{ dB(A)}$). Der var en lille forskel i testen vedrørende arbejdshukommelse i relation til selvrapporteret følsomhed, idet de mere støjfølsomme på begge forsøgsgange havde et lidt lavere antal korrekte udfald. Hvis det sammenholdes med forsøgsparticipanternes negative oplevelser af deres koncentrationsevne ved arbejdet i støj, er det sandsynligt at de negative oplevelser af støjen kan være psykologisk reaktion på temporær overbelastning af koncentrationsevne ved løsning af koncentrationskrævende opgaver i et arbejdsmiljø forstyrrende baggrundsstøj. Det må derfor anbefales at forskning i konsekvenser af støjudsættelse i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber ikke rettes mod helbredseffekter i relation til fysiologiske stressparametre, men knytter an til undersøgelser af psykologiske parametre i relation til trivsel og koncentrationsevne.

Projektstøtte: Projektet er gennemført med støtte fra Arbejdsmiljøforskningsfonden med projektnummer 14-2009-03.

SUMMARY

Title: Noise and stress in open-plan offices

Background: Noise in open-plan offices may reduce well-being and performance and occupants in such offices may even experience higher sickness absence than occupants in cellular offices. Up to 60% of the occupants in the very large open-plan offices may complain of noise disturbance, compared to only 6% in the cellular offices. Field studies have shown that noise is one of the most common causes of complaints in offices, and especially phones ringing at vacant workplaces and other people's conversation are rated as the most disturbing noise sources in open-plan offices.

Objectives: The objectives for the project have been exploring the effects of exposure to background noise in an open-plan office over a full working day when the participants must solve cognitively demanding tasks. The project was directed toward an evaluation of the following hypotheses: 1) Can working in open-plan offices at normal background noise levels decrease the outcome of objective measurements of performance, and increase acute physiological stress responses as well as subsequent mental fatigue? 2) Is there any difference in the performance, the acute stress responses or the mental fatigue of employees with greater self-reported disturbance from noise than in employees with less self-reported disturbance from noise?

Methods: 56 study participants were recruited among employees normally working in open-plan offices, and a group of people who reported being disturbed by the noise in 50% of the time or more were matched with the group that was disturbed in 25% of the time or less. 49 of the participants completed two full days of simulated working in the laboratory, one day with and one day without simulated office background noise. On both days responses to questionnaire on subjective acceptance of noise and indoor climate, concentration, workability as well as different subjective symptoms were collected, and objective measurements of performance in office-like task, of acute physiological stress responses including heart rate and heart rate variability, hormone levels, as well as measurements of development of mental fatigue in set of cognitive tests were performed.

Results and recommendations: The study participants assessed the sound level and noise acceptance, their concentration and workability more negative on days with noise than on days without noise. However, subjective reports on concentration and symptoms could not be confirmed, neither by the objective measurements of their performance in the simulated office tasks, the measurements of acute stress responses, nor changes in outcomes of the cognitive tests. There was also no difference in the measured outcome between the groups with more or with less noise sensitivity. There is a clear divergence between the negative subjective assessment of concentration and acceptance noise conditions in comparison to the objectively measured parameters. In general, the study does not support the hypothesis that moderate noise levels ($L_{eq} < 55$ dB (A)) in open-plan offices may cause increased health risks due to an increase in acute physiological stress response. There was a slight difference between the groups in test of working memory in relation to the specified sensitivity to noise in their everyday working environment. Compared with the negative experiences as study participants reporting at work in noise, it seems likely that the negative subjective experience reported to working in noise may be a psychological reaction to occasional overload of concentration in solution of tasks demanding a high degree of concentration. It is therefore recommended that continued research into the impact that noise exposure in open-plan offices should not focus on the possible the health effects from acute physiological stress responses, but will engage in wellbeing psychological parameters on the ability to concentrate.

Project support: This study was supported financially by the Danish Working Environment Research Foundation by grant 14-2009-03.

INDLEDNING

Støj er den hyppigst angivne årsag til klager over indeklimaet hos ansatte med arbejde i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber [1]. Det er især samtale blandt andre ansatte og ringen fra telefoner, der udgør de største kilder til forstyrrelse og gener fra støj [2]. Helt op til 60% af de ansatte i store åbne storrumskontorer klager over forstyrrelse fra støj i forhold til kun 6% i almindelige cellekontorer [3]. Støj i åbne kontorlandskaber kan reducere trivsel, og ansatte kan ydermere have større sygefravær end ansatte i cellekontorer [3,4].

Projektet bygger på tidligere eksperimentelle undersøgelser af støj i storrumskontorer [5,6], men adskiller sig ved at inddrage deltagere med dagligt arbejde i åbne kontorlandskaber, tillige med anvendelse af metoder til undersøgelse af såvel udvikling af mental træthed som akutte fysiologiske stressreaktioner, samt et undersøgelsesforløb over to hele arbejdsdage, henholdsvis med og uden udsættelse for simuleret kontorstøj. Projektet har haft særlig fokus på at belyse nedenstående sammenhænge:

- *Stressreaktioner og præstationsevne i forbindelse langvarig (adskillige timer) udsættelse for kontorbaggrundsstøj.* Hittidige undersøgelser har ikke omfattet kombinationen af (langvarige) kognitivt krævende opgaver og flere timers udsættelse for baggrundsstøj, hvilket kan have været årsag til at resultaterne i disse undersøgelser ikke har været overensstemmende, særligt mht. stressreaktioner.
- *Udvikling af mental træthed.* Løsning af krævende kognitive opgaver øger mental træthed målt i forskellige kognitionspsykologiske tests. Det er ikke tidligere blevet undersøgt, om udsættelse for kontorbaggrundsstøj under løsningen af de krævende kognitive opgaver kan forstærke mental træthed.
- *Betydningen af støjgener for stressreaktioner og udvikling af mental træthed i relation til kontorbaggrundsstøj.* Der kan være mange underliggende årsager til at opleve gene pga. støj. Resultater for trafikstøj tyder på, at oplevelse af støjgener kan være en indikator for øget fysiologiske reaktioner. Det har derfor været vigtigt at få belyst, om det samme er tilfældet for forstyrrelse og gene i relation til kontorbaggrundsstøj.

PROJEKTETS FORMÅL

Projektets formål har været udforskning effekter af udsættelse for baggrundsstøj fra åbne kontorlandskaber gennem en hel arbejdsdag, når man samtidig skal løse kognitivt anstrengende opgaver.

Projektets har som direkte mål er at evaluere følgende hypoteser:

- Kan der ved en simuleret kontorarbejdsproces med forsøgsdeltagere med normalt arbejde i storrumskontorer måles objektive tegn på en akut fysiologisk stressreaktion og efterfølgende mental træthed ved mentalt krævende arbejde i forbindelse med støjudsættelse?
- Er der forskel i akut stressreaktioner og mental træthed hos ansatte med større grad af selvrapportret forstyrrelse fra støj end hos ansatte med lavere grad af selvrapportret forstyrrelse fra støj?

PROJEKTDELTAGERE

Projektet er et samarbejdsprojekt mellem det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (NFA) og Center for Indeklima og Energi under Institut for Byggeri og Anlæg ved Danmarks Tekniske Universitet.

Projektdeltagere har været følgende:

Søren Peter Lund, seniorforsker, NFA, projektleder
Jesper Kristiansen, seniorforsker, NFA

Roger Person, seniorforsker, NFA, nu
Hitomi Shibuya, seniorforsker, ved NFA, nu Dong Energy
Jørn Toftum, Lektor, DTU Byg
Geo Clausen, Lektor, DTU Byg

PROJEKTSTØTTE

Projektet er gennemført med støtte fra Arbejdsmiljøforskningsfonden, projektnummer 14-2009-03.

PROJEKTETS METODER OG UDFØRELSE

Forsøgsdeltagere

Forsøgsdeltagerne blev rekrutteret blandt ansatte med dagligt arbejde i åbne kontorlandskaber fra en privat virksomhed (bank) og to offentlige arbejdspladser (sagsbehandling og generel logistik). De udvalgte grupper af ansatte modtog en e-mail med en beskrivelse af undersøgelsen og en invitation til at deltage ved at besvare et internetbaseret spørgeskema med spørgsmål til oplevelse det generelle arbejdsmiljø, samt baggrundsvariable (køn, alder, rygning, fysisk aktivitet mv.). Det initiale screeningsspørgeskema indeholdt endvidere spørgsmål til karakterisering af de ansattes oplevelser af deres psykosociale arbejdsmiljø, med centrering på emner omkring oplevelser af trivsel og tilfredshed med arbejdet og arbejdsmiljøet. Det er kendt, at jobtilfredshed er associeret med en mængde andre oplevelser i arbejdsmiljøet f.eks. jobusikkerhed, konflikter, ledelse, tillid, organisatorisk retfærdighed og personlighedsfaktorer, som selvfølelse og tro på sig selv. I alt 225 personer gennemførte besvarelsen af det initiale spørgeskema.

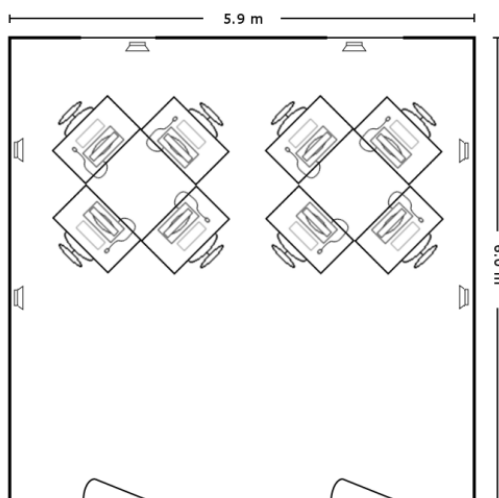
Projektet blev gennemført i et kontrolleret eksperimentelt design, hvor forsøgsdeltagerne blev rekrutteret blandt de kontoransatte, der i det initiale spørgeskema havde rapporteret at være generet af støj i det deres daglige arbejdsmiljø. En gruppe af personer, der rapporterede at være forstyrret af støj i 50% af arbejdstiden eller mere blev matchet med gruppe, der blev forstyrret i 25% af arbejdstiden eller mindre. Blandt de udvalgte accepterede 56 personer at deltage i den påfølgende laboratorieundersøgelse, og 52 personer gennemførte den første dag, mens 49 gennemførte begge dage i laboratoriet. Deltagelse i forsøget har været frivillig, og forsøgsdeltagerne har frit kunne forlade forsøget uden at blive bedt om en forklaring. De Videnskabetiske Komiteer for Region Hovedstaden godkendt projektet, herunder projektets protokol (nr. H-1-2010-024), den udfærdigede deltagerinformation og samtykkeerklæring til dokumentation af frivillig deltagelse. Deltagerne, der gennemførte begge forsøgsg dage, fordelte sig med hensyn til køn på 32 kvinder (aldersgennemsnit på 44 ± 11 s.d. år) og 17 mænd (aldersgennemsnit på 44 ± 10 s.d. år).

Faciliteter og eksponering

Undersøgelsen fandt sted i en eksperimentel opstilling med 8 kontorarbejdspladser i et laboratorium med kontrolleret indeklima på Center for indeklima og energi på DTU. Arbejdspladserne var omkranset af et surround-sound højtalersystem med 6 højttalere som blev anvendt til at simulere lydbilledet fra et storrums kontor gennem optagelser foretaget i et kontor. Optagelserne indeholdt støj fra typiske kontoraktiviteter, herunder dialog mellem medarbejdere, telefonsamtale, telefoner, der ringer, gangstøj, raslen med papir, etc. En detaljeret beskrivelse af den simulerede kontorbaggrundsstøj kan findes i referencen *Witterseh et al. (2004)* [5]. Lydsporet er til undersøgelsen blevet mikset til at kunne gengives i Dolby surround sound [6].

Lyden i lokalet blev målt løbende hvert sekund, og de løvende målinger blev midlet til gennemsnitsværdier (Leq) for hvert minut. Som kontrol blev der lavet målinger på hver enkelt arbejdsplads med og uden

simuleret kontorstøj, og forskellen i lydniveau på de enkelte pladser var i gennemsnit mindre end 1,0 dB. Baggrundsstøjen i det tomme lokale lå i gennemsnit (Leq) på ca. 42 dB(A).



Figur 1. Opstilling af 8 arbejdspladser i to "øer".



Figur 2. Billede fra kontorarbejdspladserne i laboratoriet på DTU.

Den gennemsnitlige daglige støjbelastningen under forsøget (~ Leq6timer) med deltagere i lokalet, men uden simuleret kontorstøj, var i gennemsnit $50,7 \pm 1,2$ dB(A) (middel \pm s.d.), og med både deltagere og simuleret kontorbaggrundsstøj var den daglige støjbelastning $55,0 \pm 1,2$ dB(A) (middel \pm s.d.), se tabel 1.

Luft temperaturen og den relative luftfugtighed blev logget med 10 minutters intervaller. Laboratoriet blev mekanisk ventileret med en fast flowrate gennem hele undersøgelsen, og temperaturen blev kontrolleret med en kombination af radiatorer placeret på ydervæggen og kontrol af lufttemperaturen i luftforsyningen. Afhængig af antallet af deltagere i rummet, varierede den målte CO₂ koncentration fra ca. kl. 10 til kl. 15 mellem koncentrationen i udeluften og 600 ppm. Temperaturen med forsøgsdeltagere i lokalet steg fra 23.4

$\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (middel \pm s.d.) indenfor den første time til $24.4 \pm 0.8^{\circ}\text{C}$ (middel \pm s.d.) under den sidste time. Den gennemsnitlige luftfugtighed var $41\% \pm 9\%$ rh (middel \pm s.d.).

Dag	Uden	
	Med Støj	Støj
	Leq dB(A)	Leq dB(A)
1	54,4	49,8
2	55,7	52,2
3	52,7	51,2
4	56,2	49,4
5	56,3	52,9
6	54,5	49,4
7	53,7	51,0
8	55,2	49,9
9	54,6	50,9
10	56,3	50,0
middel	55,0	50,7
s.d.	1,2	1,2

Tabel 1. Den gennemsnitlige daglige støjbelastning målt på forskellige dage under forsøget (ca. 6 timer ~ Leq6timer) med og uden simuleret kontorbaggrundstøj. Målingerne omfatter kun selve forsøgsperioderne, men ikke pauser, under frokost, eller perioder, hvor forsøgsdeltagerne forlod lokalet.

Forsøgsdesign og eksperimentel procedure

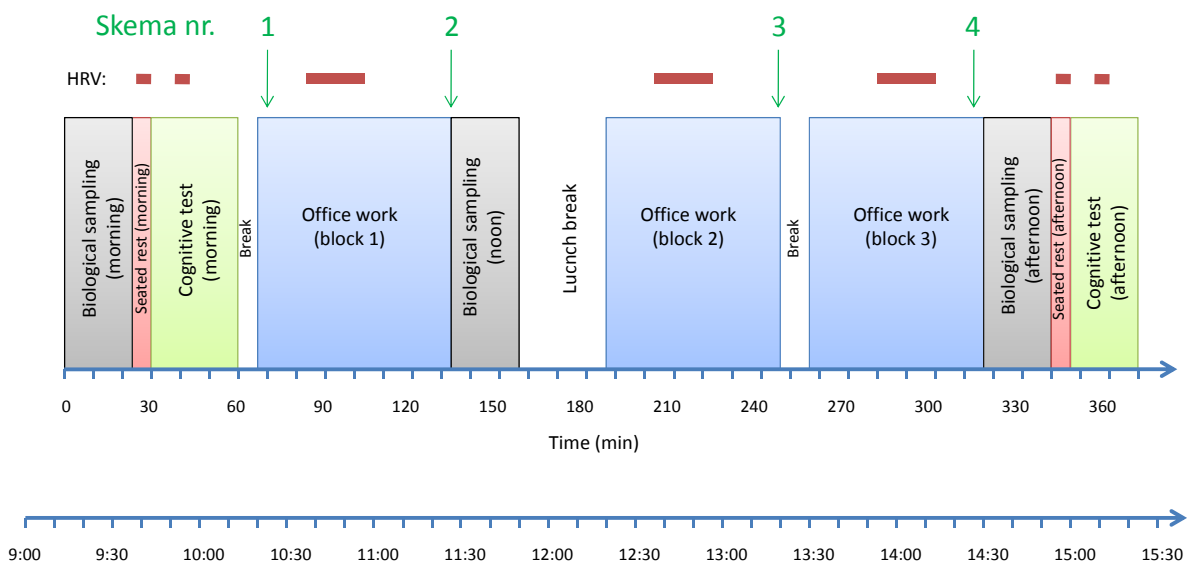
Forsøget blev gennemført i et balanceret design med 49 forsøgsdeltagere blev fordelt i to lige store grupper, hvor den ene gruppe først gennemførte en arbejdsdag med udsættelse for simuleret kontorstøj, mens den anden gruppe gennemførte en arbejdsdag uden udsættelse for simuleret kontorstøj, og vice versa på den anden forsøgsdag. Ved undersøgelsen i laboratoriet blev der målt følgende: (A) Præstationsevne ved løsning af kognitivt anstrengende opgaver henover arbejdsdagen. (B) Udvikling af stressreaktioner i løbet af arbejdsdagen ved måling af hjerterytmevariationer (Heart Rate Variability, HRV) samt ved måling af ændringer i udskillelsen af kortisol, adrenalin og noradrenalin.

En forsøgsdag startede kl. 8:30 med en kort introduktion givet af den daglige forsøgsleder. Herefter afgav deltagerne spyt- og urinprøver og fik påmonteret en måler på brystet til registrering hjerterytme. Deltagerne fik derefter en vejledning til den første serie kognitive test, og påbegyndte efter disse test det første af tre 1-timers moduler med en kombination af simulerede kontorarbejdsopgaver og besvarelser af spørgeskemaer (se figur 1). Ved afslutningen af det første modul blev der igen afgivet spyt- og urinprøver, og deltagerne havde en halv times frokostpause. Mellem anden og tredje modul havde deltagerne igen en 15 min. pause, og efter det tredje modul afleverede deltagerne igen urin og spytpøver, og gennemførte dagens sidste kognitive test inden afslutningen forsøgsdagen ca. kl. 15.30.

Simulerede kontorarbejdsopgaver og besvarelse af spørgeskemaer

Simulerede kontorarbejdsopgaver

Til måling af deltagerne performance i kontorlignede opgaver anvendtes forskellige elektroniske versioner af simulerede kontoropgaver, som tidligere er blevet anvendt i laboratorie- og feltundersøgelser forsøg. De simulerede arbejdsopgaver havde hovedvægt på kreativ tænkning (fx at beskrive så mange alternative anvendelser af et kendt objekt som muligt), tekstbehandling, korrekturlæsning og forskellige aritmetiske opgaver.



Figur 3. Diagram med afbildning af de forskellige undersøgelser og opgaver i løbet af de to forsøgsg dage med angivelse af varigheden af de enkelte dele. Nederst er angivet det omtrentlige klokkeslæt for dagens forløb. Heart rate variability (HRV) blev målt ved de røde tidspunkter over figuren, og spørgeskemaer med spørgsmål om oplevelse af indeklima, støj og egen præstation, træthed, mv. blev besvaret ved markeringen af de grønne pile øverst i figuren.

Opgaverne omfattede almindelig tekstbehandling, korrekturlæsning, hovedregning, diktat (hvor en lydoptagelse af en tekstoplæsning blev afspillet, mens deltageren læser den samme tekst, og markerer fejl, der men overlæg er blevet indsat i den skrevne version af teksten), logisk tænkning (hvor tre konsonanter blev vist én efter én med 0,5 s mellemrum efter hvilke deltagerne havde 12 sekunder til at afgøre, om et udsagn om to tilfældigt valgte bogstaver var sandt eller falsk, fx "k kommer ikke efter z"). Varigheden af de forskellige tests lå mellem 7 min og 19 min. I hvert modul var rækkefølgen af de forskellige tests den samme, dvs. forsøgspersoner oplevede de samme test på samme del af undersøgelsen med og uden støj, samtidig med at prøvens indhold var anderledes. Rækkefølgen af de nævnte test i de forskellige test-moduler var endvidere balanceret mellem deltagerne.

Besvarelse af spørgeskemaer

Det første spørgeskema blev besvaret ved starten (spørgeskema # 1) og efter slutningen (spørgeskema # 2) af første blok med simulerede arbejdsopgaver, samt ved slutningen af henholdsvis anden (spørgeskema # 3) og tredje blok (spørgeskema # 4). De 4 spørgeskemaer havde særlig fokus på oplevelsen af komfort og negative symptomer. Desuden blev det forsøgt at indhente besvarelser af et spørgeskema for selvrapporteret træthed (Swedish Occupational Fatigue Inventory-20, SOFI-20) [7], der er udviklet at karakterisere og beskrive oplevelsen af træthed. Dette spørgeskema besvarede deltagerne ved dagens begyndelse såvel som ved dagens slutning. På grund af en programmeringsfejl blev besvarelsen af SOFI-20 kun gemt for den sidst gennemførte forsøgsg dag, da besvarelsen fra den første forsøgsg dag ved en fejl blev slettet (overskrevet med) af besvarelserne fra den sidste forsøgsg dag. De gemte besvarelser er således fordelt med ca. halvdelen på undersøgelsesdagen med simuleret kontorbaggrundsstøj og den anden halvdel af besvarelserne på dagen uden støj. Det har desværre ikke muligt at anvende disse besvarelser til meningsfulde analyser af den selvoplevede mentale træthed.

Dataanalyse

De indsamlede data for performance er blevet analyseret for effekt af støjudsættelse ved en variansanalyse for simpel lineær effekt i en mixed model med forskel mellem deltagerne som tilfældig effekt og

støjudsættelse som fast hovedeffekt. Deltagernes forstyrrelse fra støj i det daglige arbejde blev inkluderet sammen med støjudsættelse in den fulde model. Ved ikke normalfordelte data anvendtes i stedet en non-parametrisk χ^2 test.

Fysiologiske målinger

Der er blevet målt hjerterytmevariabilitet (HRV), katekolamin-udskillelse i urin og kortisol-udskillelse i spyt på 52 personer (17 mænd, 35 kvinder). HRV blev målt kontinuerligt under hele forsøgsperioden. Pga. tekniske problemer mangler HRV for 2 personer (begge kvinder) og kortisol for én person (mand). I nærværende analyse er HRV beregnet for en periode på 5 min (med mindre andet er anført) for følgende 7 aktiviteter i den rækkefølge de forekom i forsøget: Siddende hvile om morgenen, SART om morgenen, arbejdsaktivitet 1 (4 perioder á 5 min), arbejdsaktivitet 2 (4 perioder á 5 min), arbejdsaktivitet 3 (4 perioder á 5 min), siddende hvile om eftermiddagen, og SART om eftermiddagen. Hormoner blev målt 3 gange i løbet af forsøget: Morgen, middag og eftermiddag.

Ud fra målingerne af HRV blev beregnet følgende variable:

RRmean: Den gennemsnitlige tid mellem to på hinanden efterfølgende hjerteslag. Dette mål er også udtryk for den gennemsnitlige puls i perioden ($RRmean = 1/\text{gennemsnitlig puls}$).

Ln(TP): Den totale HRV udtrykt som den totale power, der måles som arealet under PSD-funktionen fra 0,003-0,5 Hz, og logariteret med den naturlige logaritme. Ln(TP) er et udtryk for sympatisk modulering af hjerterytmen, dvs. lav Ln(TP) er en indikator for forhøjet sympatisk modulering.

Ln(HFP): HRV i det højfrekvente område, der måles som arealet under PSD-funktionen fra 0,15-0,4 Hz, og logariteret med den naturlige logaritme. Ln(HFP) er et udtryk for parasympatisk modulering af hjerterytmen, dvs. høj Ln(HFP) er en indikator for forhøjet parasympatisk modulering

Ln(LF/HF): Ratioen mellem lavfrekvent og højfrekvent HRV, hvor HF er det samme som HFP nævnt herover, og LF er tilsvarende arealet under PSD-funktionen fra 0,04-0,15 H. Ln(LF/FP) er et udtryk for den autonome balance, dvs. høj Ln(LF/HF) er udtryk for relativ høj sympatisk modulering af hjerterytmen i forhold til parasympatisk modulering, og vice versa.

Adr/krea: Adrenalin-koncentrationen i urin korrigeret for kreatinin-indholdet. Adr/krea er et mål for adrenalin-udskillelsen fra sympatisk nerveaktivitet relateret til fysisk aktivitet.

Nora/krea: Noradrenalin-koncentrationen i urin korrigeret for kreatinin-indholdet. Nora/krea er et mål for noradrenalin-udskillelsen fra sympatisk nerveaktivitet relateret til mental aktivitet.

Kort: Kortisol-koncentrationen i spyt. Kort er et mål for aktiveringen af HPA-aksen, f.eks. som følge af "negativ stress". Kortisol i spyt har en tydelig døgnrytmeprofil, med maksimal udskillelse om morgenen/formiddagen.

Prædiktorvariable, som blev anvendt i de statistiske analyser var:

Støj: Forsøgsdag med baggrundsstøj fra kontormiljø versus forsøgsdag uden baggrundsstøj.

Aktivitet: Variabel, der koder for de 7 forskellige aktiviteter i HRV analyserne. Aktiviteterne er: Siddende hvile om morgenen, SART om morgenen, arbejdsaktivitet 1, arbejdsaktivitet 2, arbejdsaktivitet 3, siddende hvile om eftermiddagen, og SART om eftermiddagen.

Tidsperiode: Variabel, der koder for indsamlingstidspunktet for de urin- og spytprøverne til analyse for hhv. katekolaminer og kortisol. Tidsperioderne er: Morgen, middag og eftermiddag.

For at undersøge betydningen af at være støjfølsom, blev anvendt scoringen af graden af forstyrrelse pga. støj fra kollegaer, telefoner, møbler osv. i spørgsmål 21 i screeningsspørgeskemaet. Spørgsmålet lød: "Hvor kommer den forstyrrende støj fra, og hvor forstyrrende oplever du støjen?". Herunder var angivet en række

forskellige støjkloder, der kunne scores på en kontinuert akse fra 0-100 med aksemærker ved 0 (ikke forstyrrende), 33 (lidt forstyrrende), 67 (meget forstyrrende) og 100 (næsten uudholdelig). Til analysen blev valgt scoringen af støjkloden "Fra kollegaer (f.eks. tale, telefonsamtale, telefonringen, skramlen med møbler, etc.)" (variabel: S2). Variablen blev dikotomiseret ved S2=50. Lav værdi angiver de personer, som bliver mindst forstyrrede af støj fra kollegaer på arbejdet.

Analysen af effekt af støj blev udført med "repeated measures mixed models" i SPSS. Afhængige variable var HRV og hormonmålingerne, og de uafhængige variable var *Støj* og *Aktivitet* (HRV) eller *Tidsperiode* (hormonmålinger) og deres interaktion. Interaktionsledet blev elimineret hvis det ikke var signifikant ($P > 0,2$). Forsøgspartagerens køn og alder indgik ikke i modellerne, da forsøgspartagerne er deres egne kontroller (repeated measures).

Analysen af effekter af støjfølsomhed: For hver person blev beregnet forskellen mellem dagen med og uden støj for alle sammenhørende fysiologiske målinger (f.eks. morgenkortisolmåling på støjdag minus morgenkortisolmåling på ikke-støjdag). Forskellen mellem støj og ikke-støj blev modelleret i "repeated measures mixed models" med *S2_dik* (støjfølsomhed) og *Aktivitet* (HRV) eller *Tidsperiode* (hormonmålinger) som uafhængige variable, og deres interaktion. Interaktionsledet blev elimineret hvis det ikke var signifikant ($P > 0,2$).

Kognitive test til vurdering af mental træthed

Ændring mht. stabilitet af opmærksomhed og effektivitet ved monitorering og opdatering af arbejdshukommelse før og efter arbejde blev målt ved hjælp af en simpel reaktionstidstest (Choice Reaction Time; CRT), Sustained Attention to Response Test (SART) og to-tilbage test (Two-Back test ; TBT).

Mental træthed (*cognitive fatigue*) er knyttet til nedsat effektivitet af central eksekutive kognitive funktioner (*Central Executive Functions*) og påvirker dermed arbejdshukommelsen (working memory). Når effektiviteten af arbejdshukommelsens styringssystem er nedsat, opstår der bl.a. :1) en nedsættelse af evnen til at styre sit respons, fx evnen til at vælge det passende respons på en given stimulus, eller evnen til at undertrykke en automatisk, men upassende, respons, dvs., "slip of action"¹; og 2) en større variation af tidsforbruget ved udførelse af kognitive opgaver, samt 3), en nedsat effektivitet ved monitorering og opdatering af indholdet af arbejdshukommelsen. Det første af de nævnte symptomer på præstationspåvirkning blev vurderet vha. SART. I den anvendte udgave af testen blev forsøgspartageren vist en række skiftende tal på computerens skærm, og skulle efter hvert tal hurtigst muligt trykke på tastaturet, bortset fra de tilfælde hvor tallet var "3", hvor forsøgspartageren skal undlade at røre tastaturet. Højere mental træthed fører generelt til højere antal fejl, dvs. et respons, hvor der ikke burde være et respons, samt højere variation i af responstider (dvs. andet symptom på mental træthed). Det tredje symptom på præstationspåvirkning blev vurderet ved Two-Back testen (TBT). I denne test blev forsøgspartageren præsenteret en rækkefølge af bogstaver (et ad gangen), og forsøgspartagerens opgave var at vurdere om det viste bogstav på skærmen er det samme bogstav, som blev vist 2 gange før. I denne test fører øget mental træthed til højere responstid i de tilfælde, hvor forsøgspartageren tager fejl.

Alle kognitive test blev gennemført om morgenen inden starten på det simulerede kontorarbejde, og igen ved dagens slutning. De indsamlede data for performance er blevet analyseret for effekter af støjudsættelse ved en variansanalyse for simpel lineær effekt i en mixed model med forskel mellem deltagerne som tilfældig effekt og støjudsættelse som fast hovedeffekt. Hvis en forsøgspartager helt åbenlyst ikke havde gennemført en test på korrekt vis, herunder ved for eksempel konsekvent at have trykket på responsknappen hver anden eller tredje gang, blev alle test i denne gruppe (CRT, SART eller TBT) i fjernet fra analysen.

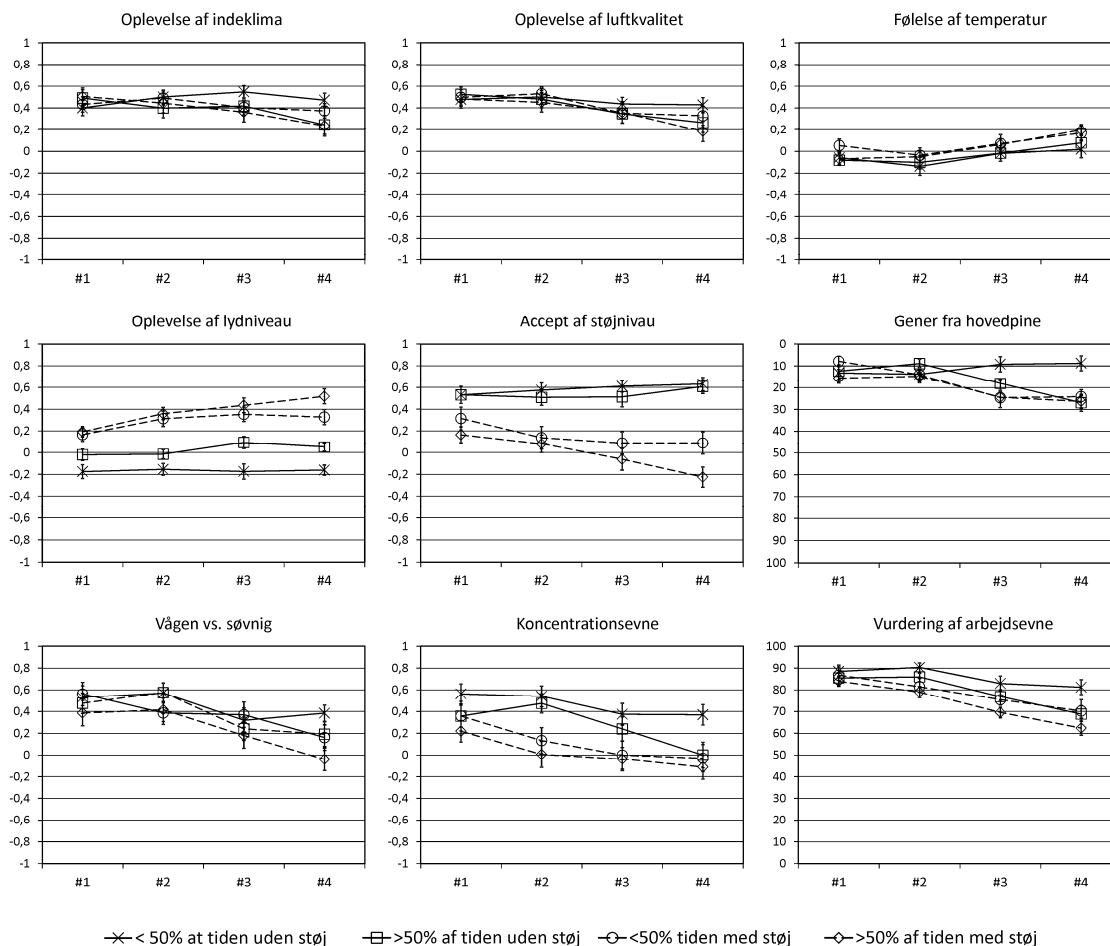
Analysen af effekter af tidspunkt på dage (morgen el. eftermiddag), alder, køn, støjfølsomhed: Forskellen mellem støj og ikke-støj blev modelleret i en mixed model variansanalyse for gentagne målinger med forstyrrelse for støj i det daglige arbejde i 50% eller mere (>50% af tiden) imod 25% af tiden eller mindre

(<50% af tiden). I disse statistiske modeller indgik alle korrekt gennemførte test, og kun de enkeltvis åbenlyst fejlagtige test blev fjernet.

Test af hørevne

Hørelsen kan have stor betydning for oplevelsen af støj, idet en nedsat hørevne kan være forbundet med lydoverfølsomhed, større anstrengelse for at følge en samtale i baggrundsstøj og tab af evne til lokalisere en lydkilde. For ikke at begrænse tiden til undersøgelserne ved måling af hørevne, blev deltagernes hørevne begrænset til måling ved oto-akustisk emission for høretab ved frekvenser mellem 700 og 10.000 Hz. Undersøgelsen kunne på denne måde gennemføres på ca. 15 minutter for, og kunne foretages i pauser og i ventetiden ved eksempelvis afgivelse af spyt- og urinprøver. Hvert øre blev der målt to gange ved 30 frekvenser, og resultaterne blev herefter midlet over et frekvensområde af f2 (svarende til høretærskler ved frekvenser omkring f2) i tre frekvensbånd: Under 2 kHz (lav til middelfrekvenser, 2-4 kHz (diskant), og over 4 kHz (høj diskant).

RESULTATER

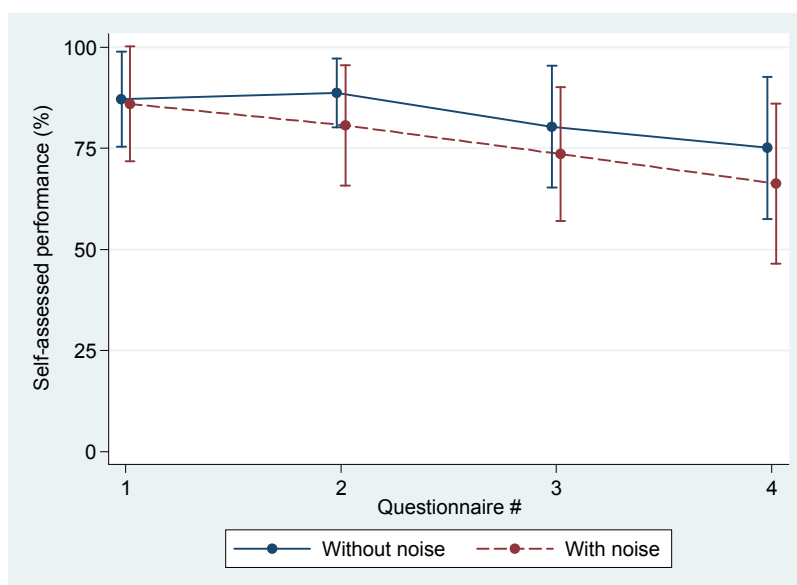


Figur 4. Oplevelse af indeklima, luftkvalitet, temperatur, lydniveau, accept af støjniveau, gener fra hovedpine, oplevelse af vågenhedsgrad, egen vurdering af koncentrationsevne og arbejdsevne hos henholdsvis de støjfølsomme (forstyrrelse af støj i det daglige arbejde i 50% af tiden eller mere) og de mindre støjfølsomme (forstyrrelse af støj i 25% af tiden eller mindre) på de to dage i laboratoriet henholdsvis med (~55 dB(A)) og uden støj (~50 dB(A)).

Forsøgsdeltagernes selvrapporterede oplevelser

Deltagerne i laboratorieundersøgelsen kunne, som vist i figur 4, klart adskille det oplevede lydniveau i det simulerede kontorarbejds miljø med og uden baggrundsstøj allerede ved starten af det første testmodul med kontorarbejdsopgaver ($p < 0,05$). Accepten af støjniveauet var signifikant lavere ($p < 0,05$) med, end uden simuleret kontorstøj. Samtidig påvirkede støjen ikke oplevelsen af det generelle indeklima, luftkvaliteten eller temperaturen i lokalet, der stort set havde samme størrelse henholdsvis med og uden støj.

Derimod var der forskel på oplevelsen af symptomer på dage med og uden støj ved slutningen af eftermiddagen. I relation til den selvoplevede koncentrationsevne var der ikke forskel mellem de to grupper med større og mindre støjfølsomhed på dagen med støj, men på dagen uden støj ligger de mindst støjfølsomme klart over de mere støjfølsomme både om morgenen ved spørgeskema #1 og om eftermiddagen ved spørgeskema #4. Endvidere angav deltagerne at have større grad af hovedpine efter nogle timers arbejde med kontorbaggrundsstøj, selvom forskellen kun er statistisk signifikant ved spørgeskema #3.



Figur 5. Bedømmelse af egen performance (middel \pm s.d.) ved begyndelsen af den første (#1) af de simulerede arbejdsopgaver samt ved de øvrige opgavemoduler.

Performance i simulerede kontorarbejdsopgaver

Figur 5 viser den subjektivt oplevede performance henholdsvis før og ved slutningen af de tre opgavemoduler. Under udsættelse for kontorstøj falder den selvvaluerede performance fra begyndelsen af det første opgavemodul, mens det den uden støjudsættelse først falder fra slutningen af det andet opgavemodul. Denne forskel i selvrapporteret performance ikke afviger dog ikke statistisk signifikant. Der er derimod statistisk signifikant forskel i, hvordan deltagerne selv føler de er i stand til at arbejde (se figur 4; $p < 0,01$ ved spørgeskema #2, #3, and #4), ligesom der er forskel i den selvrapporterede grad af hovedpine ved skema #3 (se figur 4).

Tabel 2 viser performance i de simulerede kontorarbejdsopgaver, som deltagerne var beskæftiget med i undersøgelsen. På trods af den subjektive oplevelse af nedsat performance påvirkede støjudsættelsen ikke den målte performance statistisk signifikant i nogen af opgaverne, hvilket kan ses i tabel 2.

Tabel 2. Deltagernes performance i forskellige simulerede kontorarbejdsopgaver henholdsvis med og uden udsættelse for kunstig kontorbaggrundsstøj

Test	Resultat	Støj	middel	median	s.d.	p ¹⁾	Unit
Logisk tænkning	hastighed	u	13.7	13.4	3.6	0.55	korrekte per min.
		m	13.0	12.4	3.4		
	fejl	u	1.6	1.2	1.2	0.52	inkorrekte per min.
		m	1.8	1.4	1.6		
Multiplikation	hastighed	u	1.9	1.9	0.9	0.60	korrekte per min.
		m	1.9	1.9	0.8		
	fejl	u	0.4	0.3	0.3	0.66	fejl per min.
		m	0.4	0.3	0.3		
Diktat	hastighed	u	0.5	0.5	0.2	0.14	fraktion ²⁾
		m	0.4	0.4	0.2		
	fejl	u	0.6	0.6	0.2	0.40	fraktion ³⁾
		m	0.6	0.7	0.2		
Tekst-skrivning	hastighed	u	163	171	44	0.89	karakterer per min.
		m	164	159	44		
	fejl	u	2.2	1.7	2.3	0.90	korrekte per min. ⁴⁾
		m	2.0	1.4	1.5		
Læse forståelse	korrekte	u	5.8	6	2.0	0.31	korrekte svar
	svar	m	5.4	5	2.1		

¹⁾ Sandsynlighed (p-værdi) for the effekt ved støjudsættelse fundet ved linear mixed analyse, undtaget tekstskrivning, hvor der blev anvendt en χ^2 test.

²⁾ Forhold mellem korrekt detekterede ord og summen af korrekt detekterede og mistede korrekte ord.

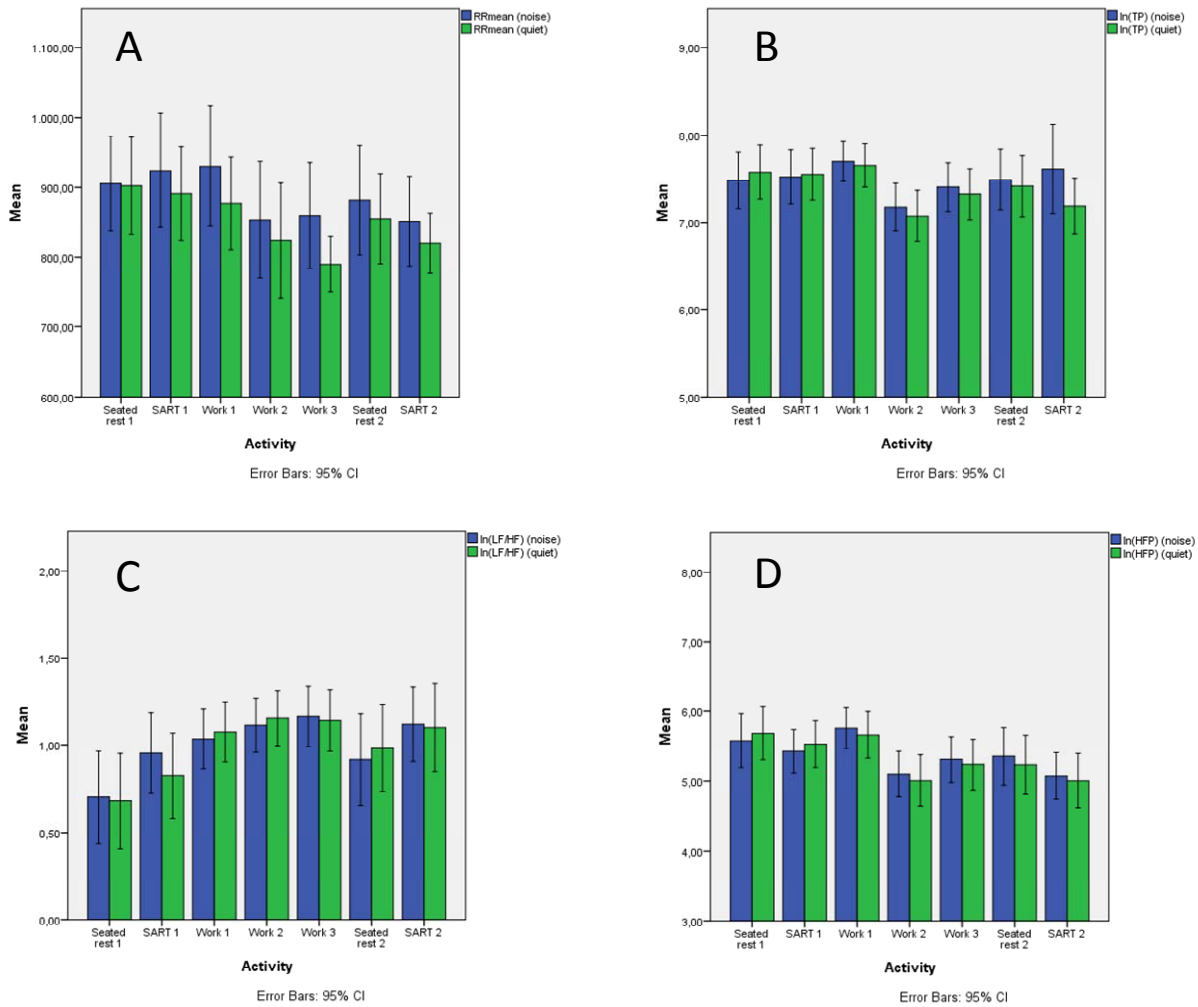
³⁾ Forhold mellem ukorrekt detekterede ord + mistede korrekte ord og korrekte + ukorrekte + mistede korrekte ord

⁴⁾ Vurderet ved Levenshtein's afstand, der er det mindste antal nødvendige udeladelser, indskud eller erstatninger for at transformere en skreven tekst til en korrekt formuleret tekst.

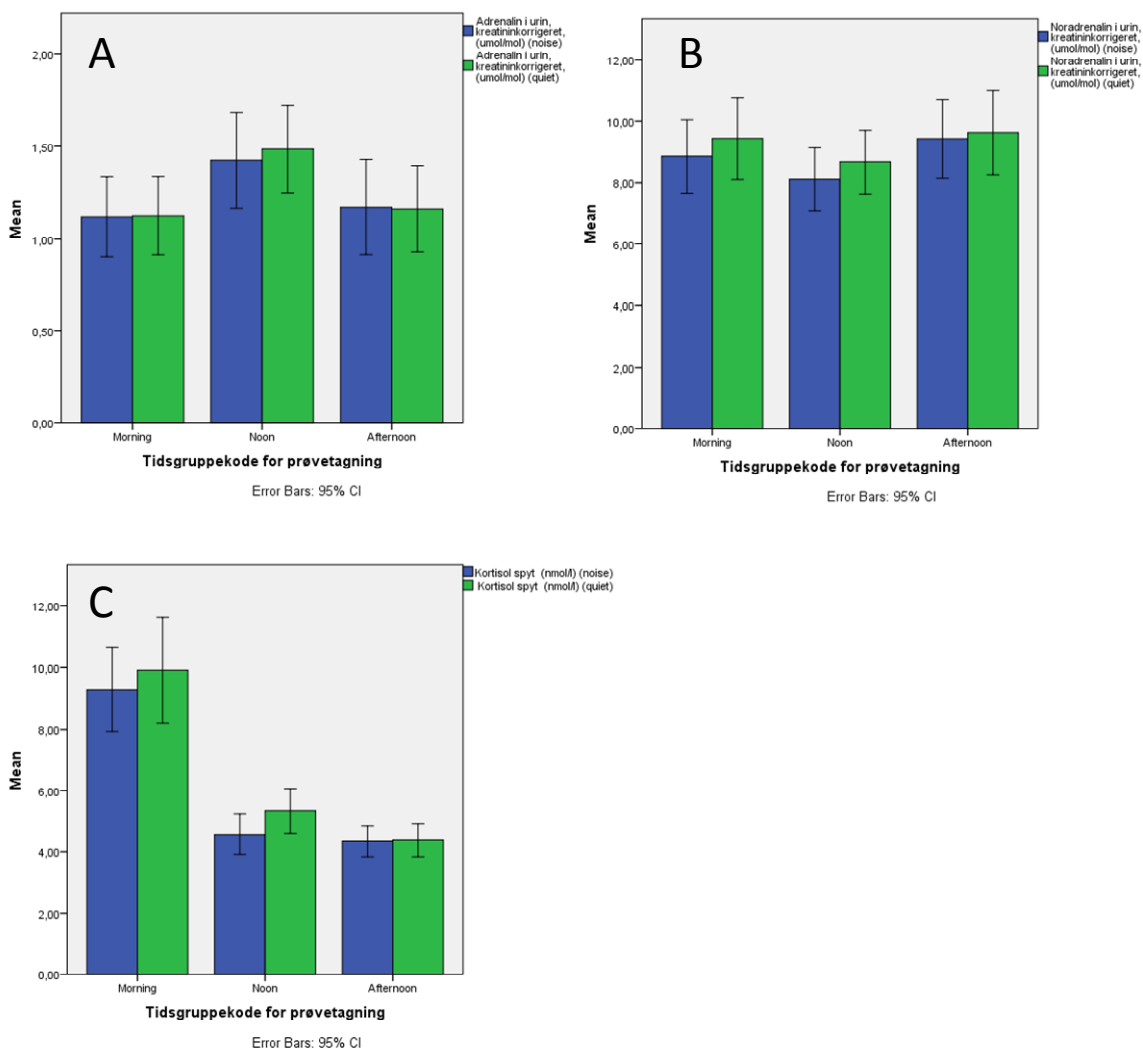
Resultater af fysiologiske målinger

Effekt af støj på HRV

Der blev kun fundet een statistisk sikker sammenhæng mellem støjbetingelsen (støj versus ikke-støj) og HRV: RRmean var 10.7 ms (SD=2.9, P>0.001) større på støjdagen end på dagen uden støj. Dvs. at pulsen i gennemsnit var lidt lavere med kontorbaggrundsstøjen i forhold til uden baggrundsstøj, hvilket er modsat vores hypotese om øget sympatisk aktivitet under støj.



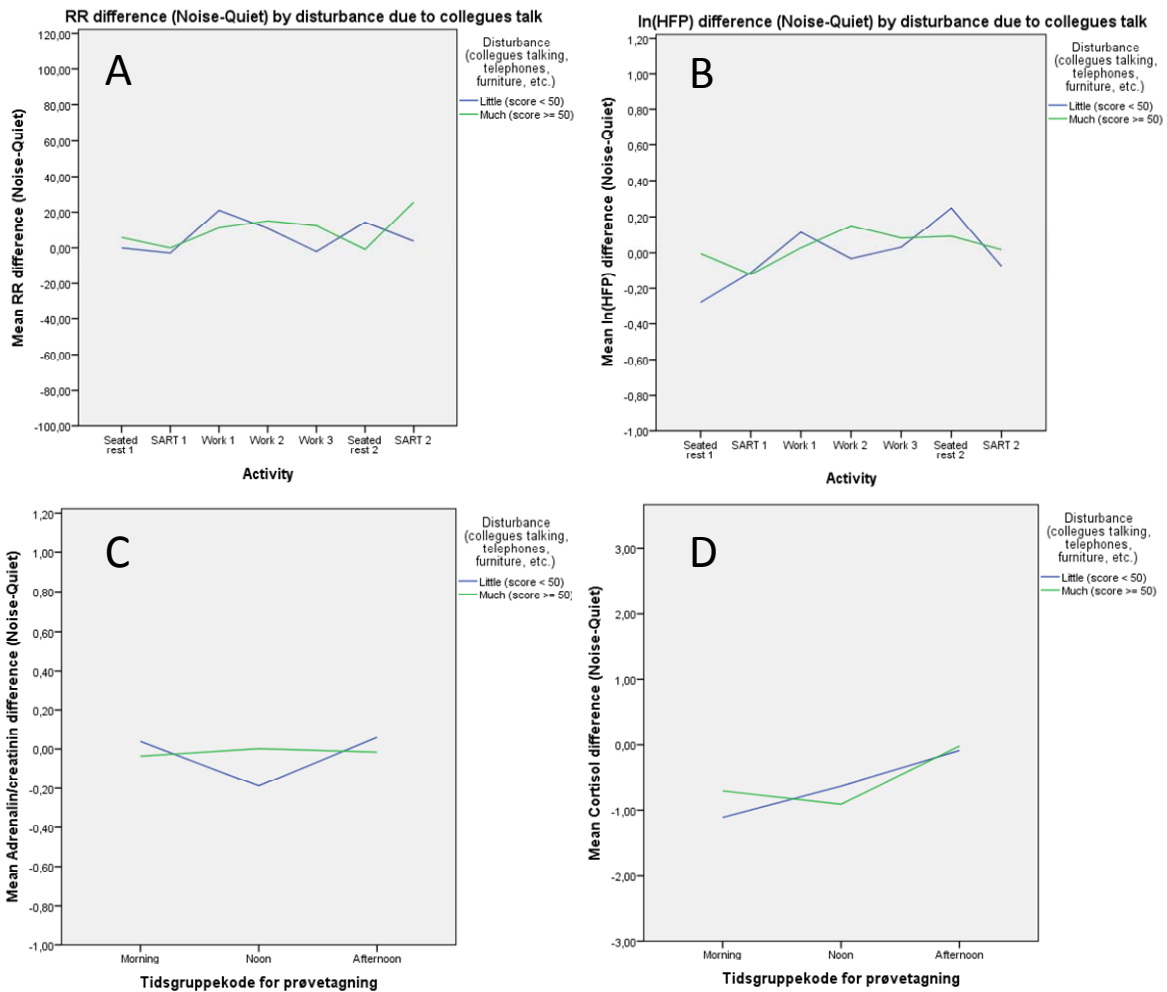
Figur 6. HRV (med 95% CI) målt på forsøgsdage med (blå) og uden baggrundsstøj (grøn) under 7 forskellige aktiviteter. A: RRmean; B: $\ln(TP)$; C: $\ln(LF/HF)$; D: $\ln(HFP)$.



Figur 7. Hormonudskillelse (med 95% CI) målt på forsøgsdage med (blå) og uden baggrundsstøj (grøn) om morgenen, middagen og eftermiddagen. A: Adrenalin i urin (kreatininkorrigeret) (umol/mol) B: Noradrenalin i urin (kreatininkorrigeret) (umol/mol); C: Kortisol i spyt (nmol).

Effekt af støjfølsomhed på HRV og hormoner

Forskellene mellem udvalgte fysiologiske mål med og uden baggrundsstøj er vist i figur 8. For alle de fysiologiske mål er det klart, at støjfølsomheden ikke havde nogen effekt på forskellen mellem målingerne, dvs. støjfølsomme personer reagerede lige så meget (eller lidt) på kontorbaggrundsstøj som personer, der ikke var støjfølsomme.



Figur 8. Forskel i fysiologiske målinger på dag med og uden kontorbaggrundsstøj for personer med lav støjfølsomhed (blå) og høj støjfølsomhed (grøn). A: RRmean; B: ln(HFP); C: Adrenalin i urin (kreatininkorrigeret) (umol/mol) D: Kortisol i spyt (nmol).

Kognitive test

Tabel 3. viser gennemsnitværdier fordelt på grupper med større og mindre forstyrrelse fra støj i det daglige arbejde. Der er ingen forskelle i hverken de kognitive testresultater på dage henholdsvis med og uden støj, men der er en klar tendens til kortere reaktionstider om eftermiddagen i alle de tre test. Gruppen med den lave angivelse af den daglige forstyrrelse fra støj (<50% af tiden) har statistisk signifikant flere korrekte respons i TBT begge eftermiddage, uanset støjudsættelse, end gruppen med høj forstyrrelse fra støj.

Tabel 3. Resultater i de anvendte kognitive test. De opgivne resultater er det gennemsnitlige antal korrekte besvarelser (kor. rsp.) og middelfejl i simpel reaktionstidstest (CRT) og test af arbejdshukommelsen (TBT), og antal fejl i koncentrationstest (SART), samt de gennemsnitlige reaktionstider og standard afvigelse på reaktionstider i ovennævnte kognitive test. Resultaterne er fordelt på grupper med forstyrrelse i 50% af tiden eller mere (<50%) eller 25% af tiden eller mindre (<50%) om morgenen eller om eftermiddagen på dage henholdsvis med eller uden støj, og n angiver antallet af gennemførte test for deltagere i de enkelte grupper. *) angiver statistisk signifikans er under 0,05.

Choice reaction time test (CRT)					
		n	Korrekt respons	middel RT (msek)	s.d. RT (msek)
<i>Ingen støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50%	20	49.4 ± 0.2	375.0 ± 9.8	77.8 ± 6.0
	> 50%	19	48.6 ± 0.3	384.0 ± 10.6	83.9 ± 6.0
	All	43	48.5 ± 0.2	378.4 ± 6.7	80.4 ± 3.5
<i>Eftermiddag</i>	< 50%	20	48.7 ± 0.3	363.3 ± 8.7	78.7 ± 7.2
	> 50%	19	48.3 ± 0.6	365.8 ± 7.7	87.2 ± 8.5
	Alle	43	48.6 ± 0.3	362.9 ± 5.4	81.6 ± 5.1
<i>Støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50%	20	48.6 ± 0.3	370.3 ± 10.3	74.3 ± 5.8
	> 50%	19	48.5 ± 0.4	378.4 ± 12.5	84.7 ± 8.4
	All	43	48.5 ± 0.3	373.0 ± 7.3	80.2 ± 4.4
<i>Eftermiddag</i>	< 50%	20	48.3 ± 0.3	364.6 ± 7.8	81.7 ± 4.8
	> 50%	19	48.6 ± 0.2	374.0 ± 10.5	83.7 ± 5.7
	Alle	43	48.5 ± 0.2	367.5 ± 5.9	80.4 ± 3.4
Two-Back test (TBT)					
		n	Korrekt respons	middel RT (msek)	s.d. RT (msek)
<i>Ingen støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50%	20	21.2 ± 0.4	652.3 ± 32.2	170.1 ± 9.0
	> 50%	20	21.1 ± 0.7	686.7 ± 39.0	199.3 ± 14.4
	All	43	21.0 ± 0.4	674.5 ± 23.6	184.9 ± 8.1
<i>Eftermiddag</i>	< 50%	20	22.2 ± 0.4 *)	575.0 ± 25.5	157.1 ± 10.2
	> 50%	20	21.1 ± 0.7	607.3 ± 38.3	187.4 ± 15.8
	Alle	43	21.6 ± 0.3	599.6 ± 20.5	171.7 ± 8.5
<i>Støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50%	20	21.5 ± 0.4	619.8 ± 25.5	166.6 ± 11.1
	> 50%	20	21.5 ± 0.7	634.9 ± 29.9	198.0 ± 18.3
	All	43	21.5 ± 0.4	633.4 ± 18.2	186.1 ± 9.7
<i>Eftermiddag</i>	< 50%	20	22.6 ± 0.4 *)	592.6 ± 30.9	168.4 ± 14.6
	> 50%	20	20.8 ± 0.6	586.7 ± 27.7	207.7 ± 16.5
	Alle	43	21.8 ± 0.4	597.4 ± 19.4	194.0 ± 11.0
Sustained attention to response test (SART)					
		n	Fejl	middel RT (msek)	s.d. RT (msek)
<i>Ingen støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50%	18	7.5 ± 1.3	338.7 ± 12.9	77.1 ± 5.8
	> 50%	22	9.3 ± 1.3	335.0 ± 10.3	75.6 ± 5.0
	All	43	8.2 ± 0.9	338.3 ± 7.6	75.5 ± 3.5
<i>Eftermiddag</i>	< 50%	18	8.2 ± 1.7	324.4 ± 13.8	73.2 ± 4.8
	> 50%	22	10.2 ± 1.3	319.7 ± 9.2	69.1 ± 5.0
	Alle	43	9.0 ± 1.0	322.1 ± 7.7	69.7 ± 3.2
<i>Støj</i>					
<i>Morgen</i>	< 50 %	18	7.8 ± 1.5	333.0 ± 10.6	72.9 ± 4.4
	> 50%	22	10.5 ± 1.1	328.0 ± 8.7	76.3 ± 4.6
	All	43	8.9 ± 0.9	332.0 ± 6.6	75.0 ± 2.8
<i>Eftermiddag</i>	< 50 %	18	10.3 ± 1.7	310.2 ± 10.9	68.8 ± 3.6

> 50%	22	11.5 ± 1.4	315.2 ± 10.0	76.1 ± 6.2
Alle	43	10.5 ± 1.0	314.3 ± 6.9	71.9 ± 3.4

Ved analyserne af forskelle i differencerne mellem resultater og reaktionstider i de kognitive fra morgen og eftermiddag på henholdsvis dage med og dage uden støj, er der kun en statistisk signifikant forskel, nemlig et mindre fald i antallet af korrekte udfald i to-tilbage testen på dagen uden støj. Dette skyldes dog ikke en større ændring i løbet af dagen, men derimod at der er et lavere antal korrekte udfald om morgenen på dagen uden støj end på dagen med støj. Dette kan også aflæses også aflæses, hvor de viste gennemsnit er lavere om morgene på dagen uden støj end på dage med støj (se tabel 3).

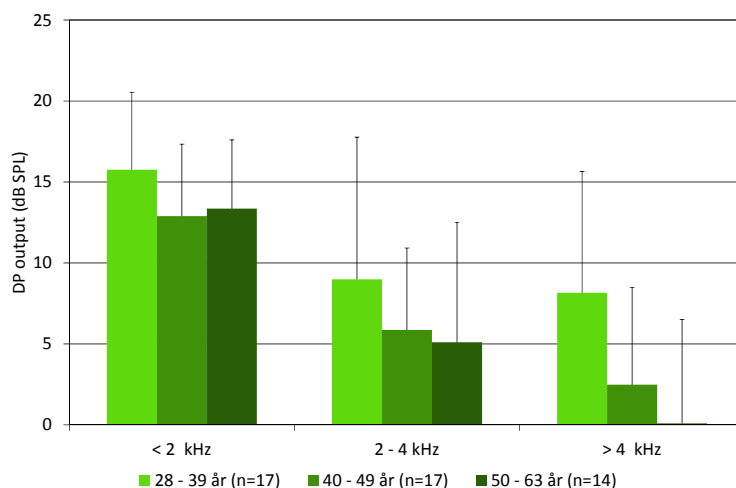
*Tabel 4. Effektestimater, konfidens intervaller (95% CI) og antal frihedsgrader (df) i en variansanalyse (linear mixed model analyse, SPSS 20) af henholdsvis respons og reaktionstider af henholdsvis simpel reaktionstidstest (Choice reaction Time; CRT) og test af arbejdshukommelsen (Two-Back Test; TBT) og antal fejl i koncentrationstest (Sustained Attention to Response Test; SART). Variationen er fordelt på henholdsvis køn (reference = mænd), alder (pr. år), tidspunkt på dagen (reference = eftermiddag) og forstyrrelse af støj i det daglige arbejde (reference = forstyrrelse i mindre eller lig med 50% af tiden). *) angiver statistisk signifikans <0,05; **) angiver statistisk signifikans <0,01; ***) angiver statistisk signifikans < 0,001.*

Choice reaction time test (CRT)		
	korrekt respons	RT (msec)
	middel (95% CI; df)	middel (95% CI; df)
Intercept	48.0 (47.0 - 49.0; 162.1) ***)	304.1 (275.7 - 332.5; 153.6) ***)
Kvinder	0.3 (-0.2 - 0.8 ; 161.7)	17.1 (4.2 - 30.1; 159.6) ***)
Alder (pr. år)	0.0 (-0.0 - 0.0; 161.7)	1.1 (0.5 - 1.7; 159.4) ***)
Morgen	0.3 (-0.2 - 0.7; 162.7)	8.7 (-3.8 - 21.1; 159.5)
>50 %	-0.3 (-0.1 - 0.8; 162.2)	4.6 (-7.6 - 16.8; 159.5)
Two-Back test (TBT)		
	korrekt respons	RT (msec)
	middel (95% CI; df)	middel (95% CI; df)
Intercept	23.0 (21.2 - 24.8; 158.0) ***)	433.1 (336.7 - 529.6; 150.0) ***)
Kvinder	0.4 (-0.4 - 1.1; 159.4)	21.9 (-19.4 - 63.1; 147.2)
Alder (pr. år)	-0.0 (-0.1 - 0.0; 159.6)	3.3 (1.3 - 5.3; 149.9) ***)
Morgen	-0.3 (-1.1 - 0.4; 159.6)	42.9 (3.1 - 82.6; 148.8) *)
>50 %	-0.8 (-1.6 - 0.1; 159.4) *)	11.6 (-28.2 - 51.4; 148.8)
Sustained attention to response test (SART)		
	antal fejl	RT (msec)
	middel (95% CI; df)	middel (95% CI; df)
Intercept	20.3 (15.9 - 24.7; 167.6) ***)	212.2 (182.6 - 241.9; 160.0) ***)
Kvinder	-2.0 (-4.0 - -0.1; 170.3) *)	20.8 (7.8 - 33.8; 165.4) ***)
Alder (pr. år)	-0.2 (-0.3 - -0.1; 169.7) ***)	2.0 (1.5 - 2.7; 163.8) ***)
Morgen	-1.2 (-3.1 - 0.6; 170.5)	15.9 (3.4 - 28.3; 165.8) *)
>50 %	1.6 (-0.3 - 3.5 ; 170.6)	-5.6 (-6.8 - 18.1; 165.6)

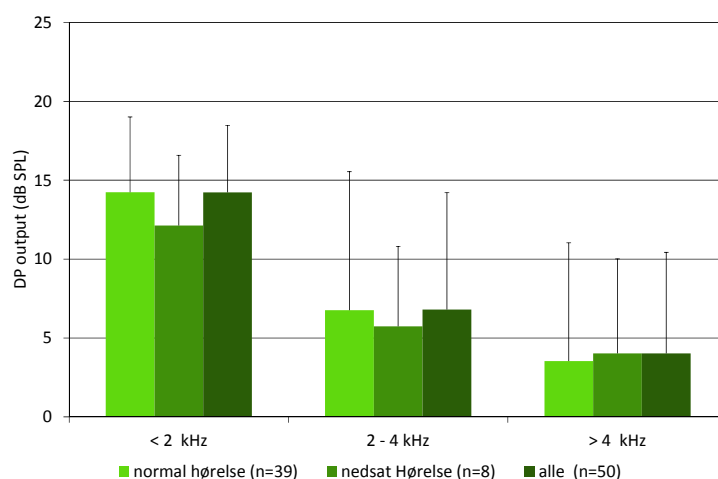
Tabel 4 viser effektestimater af henholdsvis køn, alder, tidspunkt på dagen (morgen eller eftermiddag) i de gennemførte kognitive test. Med hensyn til reaktionstider er der overbevisende statistisk signifikant effekt af alder i alle tre test. Endvidere er der effekt af køn i simpel reaktionstidstest (CRT) og koncentrationstesten (SART), men ikke i testen vedr. arbejdshukommelse (TBT). Desuden er der statistisk signifikant forskel i antal korrekte respons i TBT i forhold til forstyrrelse fra støj i det daglige arbejde, således at dem der angiver forstyrrelse i 50% af tiden eller mere (> 50%) har færre korrekte (p < 0,05) end de, der angiver at blive forstyrret i 25% af tiden eller mindre (< 50%).

Deltagernes høreevne

Alle de målte forskelle i hørevene er generelt meget små. I det primære område for taleforståelse under 2 kHz og diskantområdet 2-4 kHz er der mindre aldersbetingede tab af hørelse, der ikke i gennemsnit overstiger 5 dB (se figur 9). I det højfrekvente område over 4 kHz er der små, men tydelige aldersmæssige forandringer i hørevenen hos næsten alle over 40.



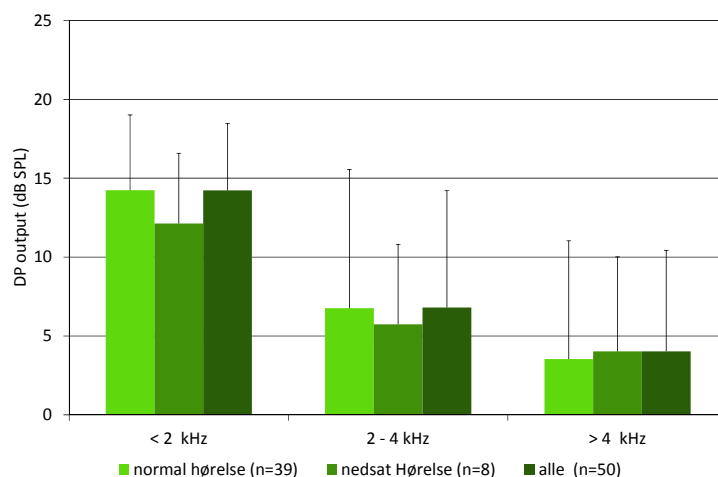
Figur 9. Deltagernes gennemsnitlige høreevne i tre frekvensbånd, henholdsvis lave til middel frekvenser (< 2 kHz), høje frekvenser (2-4 kHz) og de meget høje frekvenser (>4 kHz) fordelt på aldersgrupper fra 20-39 år, 40-50 år og over 50 år. Modsat høretærskler udtrykker større vibrationer fra de ydre hårceller i det indre øre (cochlea), og højere værdier dermed et udtryk for bedre høreevne.



Figur 10. Deltagernes gennemsnitlige høreevne i tre frekvensbånd, henholdsvis lave til middel frekvenser (< 2 kHz), høje frekvenser (2-4 kHz) og de meget høje frekvenser (>4 kHz) fordelt på deltagernes egne opgivelser af nedsat hørelse ("Har du nedsat hørelse: Ja/Nej").

Med hensyn til deltagernes egen angivelser af nedsat hørevæne ("Har du nedsat hørelse: Ja/Nej"; Ja: n=7), som er afbildet i figur 10, er der tendens til en svagere hørevæne (ca. 2 dB) ved frekvenser under 2 kHz, men denne forskel er lille og er ikke statistisk signifikant. Der er en tendens til, at de mindst støjfølsomme (<50%) hører lidt dårligere i området op til 2 kHz, men forskellen er igen ikke statistisk signifikant (P=0,068).

Figur 11 afbilder forskellen mellem hørevænen hos de to grupper med forskelle i forstyrrelse fra støj i det daglige arbejde, henholdsvis 50% af tiden eller derover (>50%) versus 25% af tiden eller derunder. Der er en tendens til at de mindst støjfølsomme (<50%) høre lidt dårligere i området op til 2 kHz, men forskellen er ikke statistisk signifikant (P=0,068).



Figur 11. Den gennemsnitlige hørevæne i tre frekvensbånd, henholdsvis af til middel frekvenser (< 2 kHz), høje frekvenser (2-4 kHz) og de meget høje frekvenser (>4 kHz) fordelt på deltagernes egne opgivelser forstyrrelse for støj i deres daglige arbejde i enten 50% af tiden eller mere (>50%) eller 25% af tiden eller mindre (<50%).

De meget små forskelle i hørevæne giver ikke anledning til at anvende disse data til særskilte analyser af forskelle i graden af forstyrrelse fra støj.

DISKUSSION OG KONKLUSION

Der med projektet gennemført en undersøgelse af ca. 50 forsøgsdeltagere med dagligt arbejde i et storrumskontor i et balanceret design med arbejdsdage med og uden udsættelse for simuleret kontorbaggrundsstøj. Den gennemsnitlige støjbelastning uden støjudsættelse lå på ca. 50.7 dB(A), mens den gennemsnitlige støjbelastning ved støjudsættelse lå 55,0 dB(A). Undersøgelsen er lavet i et balanceret design af måling parametre for akut fysiologisk stressbelastning, selvrapporterede symptomer og performance, måling af performance i simulerede kontorarbejdsopgaver, samt kognitive test for udvikling af mentaltræthed før og efter arbejde.

Deltagerne rapporterede, at de følte lydniveauet i kontorlokalet på dage med udsættelse for simuleret kontorbaggrundsstøj var højt. Samtidig faldt accepten af støjen i lokalet henover arbejdsdagen, og accepten endte under det acceptable niveau ved slutningen af dagen på dage med støjudsættelse. Deltagerne rapporterer endvidere flere symptomer i form af hovedpine, ringere trivsel, ringere selvoplevet arbejdsevne, og ringere koncentrationsevne på dage med støj end på dage uden støj.

Vores hypotese om, at støj medførte en højere sympatisk aktivering kunne derimod ikke bekræftes. Tværtimod var der antydning af, at der i dette forsøg var højere parasympatisk aktivering på dagen med

baggrundsstøj end på dagen uden baggrundsstøj. Vores hypotese om, at støjfølsomme personer reagerede med stærkere sympatisk aktivering under støj kunne heller ikke bekræftes.

I de kognitive test kunne der heller ikke måles tegn på øget mental træthed ved arbejde under udsættelse for simuleret kontorbaggrundsstøj. Når man undtager testen for arbejdshukommelse, kunne der heller ikke måles forskel på forsøgsdeltagere, der føler sig mere eller mindre forstyrret af støj. I testen for arbejdshukommelse var der dog statistisk signifikant forskel mellem mere støjfølsomme i forhold til de mindre støjfølsomme. Dette sammenholdt med forskelle i deltagernes vurdering af deres koncentrationsevne giver anledning til at betragte koncentrationsevne under støjbelastning som en særlig betydningsfuld i relation til støjudsættelse i storrumskontorer.

Det er bemærkelsesværdigt, at der er en så relativ klar divergens mellem den oplevede accept af lyd- og støjforhold i forhold til de klare mangler på udfald i objektive målte parametre for performance i de simulerede arbejdsopgaver, de akutte fysiologiske stressparametre og mental træthed i de kognitive test. Undersøgelsen peger således ikke på udtalte fysiologiske stressreaktioner med risiko for helbredseffekter ved begrænset udsættelse for støj i åbne storrumskontorer og åbne kontorlandskaber. Det må konstateres, at der er en divergens mellem negative oplevelser i relation til det oplevede støjniveau, der måske skal sættes i forbindelse tidligere, måske lejlighedsvis, negative oplevelser i relation et øgede krav om koncentration ved svære arbejdsopgaver.

BESVARELSE AF PROJEKTETS FORSKNINGSSPØRGSMÅL

Projektets har som direkte mål var som tidligere nævnt at vurdere følgende hypoteser:

- Kan der ved en simuleret kontorarbejdsproces med forsøgsdeltagere med normalt arbejde i storrumskontorer måles objektive tegn på en akut fysiologisk stressreaktion og efterfølgende mental træthed ved arbejde ved forhøjet støjudsættelse?
- Er der forskel i akut stressreaktioner og mental træthed hos ansatte med større grad af selvrapportret forstyrrelse fra støj end hos ansatte med mindre selvrapportret forstyrrelse fra støj?

Projektet kan ikke bekræfte de opstillede hypoteser. Projektet har ikke haft det som sit primære mål at afkræfte ovenstående hypoteser, tværtom var det projektdeltagernes forventning at der ville kunne skaffes en evidens for hypotesernes validitet. Der er imidlertid flere observationer, der modsiger de opstillede hypoteser, specielt at der rent faktisk blev målt en øget parasympatisk aktivering og nedsat sympatisk aktivering på dage med øget kontorbaggrundsstøj. Der foreligger således en divergens mellem den subjektive oplevelse ved arbejdet i støj i relation til de rent objektive målte parametre. Der kunne heller ikke måles objektive forskelle på projektdeltagere med større støjfølsomhed i det daglige arbejde i forhold til deltagere med mindre forstyrrelse fra støj, selvom der var klare forskelle i de subjektive besvarelser af spørgsmålene vedrørende accept af støj, tendens til hovedpine og oplevet koncentrationsevne ved arbejdet i støj. Særligt udtalt var der forskel i den oplevede koncentrationsevne mellem grupperne. Endvidere blev der målt en lille forskel i deres udfald testen vedrørende arbejdshukommelse (to-tilbage testen, TBT), hvilket måske kan tolkes som en indikation af, at personer med større arbejdshukommelse lettere kan fungere i mere støjbelastede storrumskontor og åbne kontorlandskaber med høj grad af forstyrrelse fra støj.

Generelt synes undersøgelsen at afkræfte, at støjen i sig selv anledning til øget helbredsrisiko i et miljø med relativt højt, men dog ikke excessivt højt baggrundsstøjniveau ($L_{eq} < 55 \text{ dB(A)}$). De negative oplevelser som ansatte rapporterer ved arbejde i støj kan måske betragtes som psykologisk reaktion på lejlighedsvis overbelastning af koncentrationsevne ved løsning af særligt koncentrationskrævende opgaver i et generelt støjfyldt arbejdsmiljø.

PERSPEKTIVERING

Støj vil sandsynligvis vedblive med at være en af de hyppigst angivne årsag til klager over indeklimaet hos ansatte med arbejde i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber, og der er næppe tvivl om at støj i åbne kontorlandskaber fortsat vil bidrage til reduktion i trivsel for mange kontoransatte.

Projektet bidrager særligt til afklaring af, af begrænset støjudsættelse i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber ikke ser ud til at bidrage til akut stressbetinget helbredsrisiko for de ansatte. Metoder med fokusering på øgede akutte stressreaktioner og fysiologiske ændringer i balancen i det autonome nervesystem kan sandsynligvis ikke frembringe robuste, overbevisende forskningsresultater i forbindelse med kontorarbejde, hvor støjniveauet i de fleste tilfælde ligger på niveau med almindelig tale.

Fremadrettet bør ny forskning anvende eller frembringe nye metoder til kvantificering af effekter ved udsættelse for støj, der kan bidrage med resultater til intervention mod de negative effekter. Der kan i denne sammenhæng peges på resultater fra en gruppe omkring Valtteri Hongisto fra det finske arbejdsmiljøinstitut (Finnish Institute of Occupational Health), der i en lignende eksperimentel undersøgelse har vist, at udsættelse af forsøgspersoner for støj med stigende taleforståelighed medfører øget forstyrrelse af både subjektiv komfort og performance[9]. Endvidere finder den nævnte undersøgelse at subjektiv komfort er lettere at forstyrre end performance, hvilket synes at bekræfte divergensen mellem den oplevede accept af støj og manglen på objektive målte effekter i den foreliggende undersøgelse.

Løsningen på støjproblemer i storrumskontorer ligger ikke i en fokusering på stressreaktioner og heraf afledte helbredsproblemer. Såfremt det er korrekt at støjproblemer primært er psykologiske reaktioner på lejlighedsvis problemer med koncentration i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber, bør fremtidige undersøgelser kunne bekræfte dette ved at undersøge effekter som motivation og trivsel. Hertil skal der sandsynligvis anvendes metoder med særligt fokus på de psykologiske aspekter ved at arbejde i støj.

FORMIDLING AF PROJEKTETS RESULTATER

Projektets resultater er formidlet ved nedenstående præsentationer:

1. Cognitive test performance following exposure to noise in an open-office simulation study. Søren Peter Lund, Jesper Kristiansen, Roger Persson, Hitomi Shibuya, Jørn Toftum, Geo Clausen. BNAM 2012, Joint Baltic-Nordic Acoustic Meeting, 18th – 20th Juni, University of Southern Denmark (SDU), Odense. (Artikel vedlagt som bilag 1)
2. Effect of open-plan office noise on occupant comfort and performance. Jørn Toftum, Søren Peter Lund, Jesper Kristiansen, Geo Clausen. Healthy Buildings 2012, 10th International Conference, 8-12 July, Brisbane, Australien. (Artikel vedlagt som bilag 2)
3. Støj og stress i storrumskontorer. Søren Peter Lund. Præsentation ved Arbejdsmiljø-forskningsfondens Årskonference 2012, 31. oktober 2012, Park Inn Radisson, København S.
4. Støj og stress i åbne kontorlandskaber. Præsentation givet af Søren Peter Lund ved møde i Danske Forsikringsfunktionærers Landsforening, 5. november 2012, Applebys Plads, København.

PLANLAGT VIDENSKABELIG FORMIDLING AF PROJEKTETS RESULTATER

Udover de to allerede publicerede artikler har det været hensigten at publicere tre fulde videnskabelige artikler i tidskrifter med peer review. De to af artiklerne har haft foreløbige titler svarende til præsentationerne ved de ovennævnte konferencer, og herudover var det påtænkt at publicere en artikel på basis af resultaterne fra de målte fysiologiske parametre for akut stressrespons. Det er imidlertid erfaringsmæssigt vanskeligt at få optaget videnskabelige artikler med negative resultater, og det overvejes om ikke alle resultater skal samles i til publikation i en enkelt eller to videnskabelige artikler. Efter publikation af en videnskabelig artikel vil projektet resultater blive formidlet ved populærvideenskabelige artikler med fokus på den ringe sundhedsrisiko ved udsættelse for støj i storrumskontorer og åbne kontorlandskaber.

REFERENCER

- [1] J.H. Pejtersen, L. Allermann, T.S. Kristensen, O.M. Poulsen, Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, *Indoor Air*, 16, 2006, 392-401.
- [2] S. Banbury & D.C. Berry, Disruption of office-related tasks by speech and office noise, *British Journal of Psychology*, 89, 1989, 499-517.
- [3] J.H. Pejtersen, H. Feveile, K.B. Christensen, H. Burr, Sickness absence associated with shared and open-plan offices - a national cross sectional questionnaire survey, *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 2011, 37, 376-382.
- [4] H. Jahncke, S. Hygge, N. Halin, A.M. Green, K. Dimberg, Open plan office noise: Cognitive performance and restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 2011, 373-382.
- [5] J. Kristiansen, L. Mathiesen, P.K. Nielsen, Å.M. Hansen, H. Shibuya, H.M. Petersen, S.P. Lund, J. Skotte, M.B. Jørgensen MB, K. Søgaard. Stress reactions to cognitively demanding tasks and open-plan office noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82, 2009, 631-641.
- [6] T. Witterseh, D.P. Wyon, G. Clausen. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air*, 14 (suppl. 8), 2004, 30-40.
- [7] E. Åhsberg, F. Gamberale & A. Kjellberg. Upplevd trötthetskvalitet vid olika arbetsuppgifter. *Arbete och Hälsa*, 20, 1995, 1-20.
- [8] M. Haka, A. Haapakangas, J. Kenen, J. Hakala, E. Keskinen, V. Hongisto. Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types - a laboratory experiment. *Indoor Air* 19, 2009, 454-467.

Cognitive test performance following exposure to noise in an open-office simulation study

Søren Peter Lund, Jesper Kristiansen, Roger Persson, and Hitomi Shibuya
National Research Centre for the Working Environment, Lersø Parkallé 105, DK-2100, Denmark, spl@nrcwe.dk

Jørn Toftum, and Geo Clausen
International Centre for Indoor Environment and Energy, Nils Koppels Allé, DK-2800, Lyngby, <mailto:jt@byg.dtu.dk>

Objective: Noise in open-plan offices may increase mental fatigue of the employees at the end of the day. **Measurements:** 225 employees completed a screening questionnaire. Of these, 50 persons (33 females) who normally worked in open-plan offices agreed to participate in the experiment. All who participated completed two counter balanced experimental sessions, one with exposure to simulation of office noise ($L_{eq}=55$ dB(A)) and one without noise ($L_{eq}=50$ dB(A)). To simulate a workday, each session lasted about 7 hours, where the participants engaged in different computerised work tasks. Before and after each simulated workday, the participants performed different tests, including Choice Reaction Time (CRT) test, Sustained Attention to Response Task (SART) test, and a Two-Back Task (TBT) test. **Results:** Working in noise did not affect the number of correct trials in the cognitive test after work. Yet, there were differences in performance between subgroups that were defined with respect to the degree of disturbance to noise they experienced in their normal work conditions. **Conclusion:** There were no signs of increased mental fatigue during the experimental sessions. However, there were slight differences in test performance between groups reporting being disturbed by noise for more or less than 50% of the time in their normal open office environment.

1. Introduction

The most frequent complaints about open-plan office environments are background noise [1], with people talking in the background and phones ringing at vacant desks being the most annoying sources of noise [2]. Up to 60% of the occupants in the very large open-plan offices have complained about noise compared with only 6% in the cellular offices [3]. Noise in open-plan offices may reduce well-being, and occupants in such offices may even experience higher sickness absence than occupants in cellular offices [3, 4]. There is also evidence that open workplaces intensifies cognitive workload [5], and signs of physiological stress reactions to noise has been shown in a 3 hour study entailing clerical workers who performed office-like tasks [6]. This was, however, not observed in a smaller short-term study (~35 min.) with volunteers [7]. The present study was undertaken in order to test whether noise in a simulated open office environment would reduce performance and increase fatigue of subjects normally working in an open offices. To elucidate whether differences in noise disturbance during simulated office work was associated with differences in mental fatigue, test in cognitive tasks were performance before and after working in noise for a full working day. Only a limited dataset of the entire the study is presented here.

2. Materials and methods

2.1 Settings

In balanced order, subjects participated in two experimental sessions simulating an ordinary workday. On one of the sessions the participants were subjected to pre-recorded office noise and in the other sessions there was no pre-recorded

noise The experiments were carried out at the Technical University of Denmark in a controlled environment that were designed to resemble an office with eight computer workplaces. Digital recordings of office noise were played from a surround sound amplifier by six loudspeakers located in pairs along three of the walls. The sound track consisted of typical office noises such as people talking on telephone, people engaged in conversations, occasional laughter, telephones ringing, fax and printer sounds, etc. A detailed description of the sound track can be found in Witterseh et al. 2004 [8]. The sound track had been re-sampled and digitized in order to support the surround effect [9]. The background sound level measured in the empty office was 42 dB(A). With subjects present but without playing the office noise it was 50.7 ± 1.2 dB(A) and with noise exposure it was 55.0 ± 1.2 dB(A). Mean sound levels included only the exposure periods and excluded the break periods when subjects moved around, talked, and the door between the office and the adjacent corridor was open. The office was mechanically ventilated with a fixed flow rate in all experiments and the temperature was controlled by a combination of radiators located along the exterior facade and the temperature of the supply air. One to eight subjects participated in an experiment at the same time and the CO₂ concentration measured during the exposure time from approximately 10:00 to 15:00 hrs varied between the outdoor concentration and 600 ppm. The thermal load with subjects present in the office caused an increase in the hourly mean temperature (across all experiments) from $23.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$ (mean \pm sd) during the first hour to $24.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$ during the final hour. The relative humidity was $41\% \pm 9\%$ RH.

2.2 Participants

The selected groups of employees within the three companies first received a mail with a description of the study and an invitation to visit a web site with a comprehensive pre-screening questionnaire. They were recruited among employees working in open-plan offices in one private (bank) and two public companies (industrial injuries processing and logistics). Altogether, 225 employees completed the screening questionnaire and of these 49 persons (32 females aged 44.3 ± 11 years (mean \pm sd; range 20-63 years) and 17 males aged 44.4 ± 10 years (range 28-63 years) agreed to participate in the experiments and completed both experimental sessions, while two persons only participated in one of the experimental sessions.

2.3 Noise disturbance

Noise disturbance was addresses in the pre-screening questionnaire by several items, but the one used in the analysis was the following question:

- "Are you exposed to noise that disturbs you during work?" (1 = *Never*, 2 = *rarely or very little*, 3 = *approximately 1/4 of the time*, 4 = *approximately 1/2 of the time*, 5 = *approximately 3/4 of the time*, 6 = *Almost all of the time*)

In the analysis, the participants were divided in two groups of approximately equal size according to dichotomizing the answers into being *disturbed less than 50% of the time* (1+2+3; n=24) or *approximately 50% of the time or more* (4+5+6; n=22). Four participants did not answer this question.

2.4 Cognitive test

All the cognitive tests was administered while subjects were seated in the LAB in front of their individual desktop computer with a 14" LCD monitor and were performed using the E-Prime 2.0 computer program and E-prime PST Serial Response Boxes.

The Choice Reaction Time task (CRT) consisted of 50 trials, each with participants pushing left or right hand buttons on the response box when shown either a "0" or a "1" on the screen. Subjects were given one or more practice blocks of 0 trials to become familiar with the task. The data calculated was the geometric mean of the reaction time (RT) and number of correct responses.

In the Sustained Attention to Response Task (SART), digits were presented from "1" through "9" 450 times in random order and in different sizes. The participants were required to respond to the digits with a key press with the exception of the number "3" which required no response. The 50 target digits were distributed throughout the 450 trials in a random fashion, and the all 450 trials were presented in a single, continuous block. Reaction times of all key presses relative to digit onset were collected. The primary outcome measure of the SART is the total error score, consisting of

key presses when no key should be pressed (i.e. after a "3", a so-called "no-go" trial: commission errors), and absent presses when a key should have been pressed (i.e. after anything but a "3", the so-called "go" trials: omission errors). [4, 10, 11]. Each session was preceded by one or more practice blocks of 36 trials, four of which were "no-go" trials. The following measures of response accuracy were assessed: the number of commission errors, with a maximum of 50; the number of omission errors, with a theoretical maximum of 400 errors. The geometric mean RT in ms was calculated over correct response trials.

For working memory assessment, we used a Two-Back Task test. Participants were required to monitor a series of sequentially presented consonants and to indicate for each letter, if it was the same (a so-called "target" stimulus) or different (i.e. a so-called "non-target" stimulus) from the letter presented two times earlier. The subjects were instructed to press different buttons for each type of stimulus (i.e. "target" versus "non-target" stimuli) [12]. Each session consisted of 3 blocks of 24 stimuli presentations, where only the last 22 were used for data collection, including 8 "target" and 14 "non-target" stimuli, presented in a pseudo-randomized order. The 72 stimuli presented, including 24 "target trials" and 42 "non-target" trials", was preceded by one or more practice blocks of 15 stimulus presentations, of which 5 were "target" trials and 8 were "non-target" trials. The data calculated was the number of correct trials and the geometric mean RT in ms for both "target" and "non-target" stimulus presentations.

2.5 Analysis

All the cognitive test sessions were examined for unsatisfactory performance of the subjects, i.e. like systematic response every at second or third presentation, and the data from these sessions was discharged. The effects of exposure to noise and time of day were estimated in repeated measures mixed models with these variables as fixed factors and the participants as random intercept. The participants were also divided in two subgroups according to their answer to the pre-screening questionnaire regarding disturbance to noise in their normal work place, i.e. being disturbed less than or more 50% of the time or more. Effects of noise disturbance were estimated in repeated measures mixed models with adjustments for age, gender and time of day. Posthoc analysis revealed differences in of the group with less noise disturbance when TBT sessions from the afternoon in a t-test were compared to the sessions in the morning. All effect estimates were adjusted for multiple comparisons where appropriate, and probability of the null-hypothesis (P) less than or equal to 0.05 were considered significant. Statistical computations were made with IBM SPSS version 20.

Table 1: Correct responses (mean \pm SEM) in Choice Reaction Time task (CRT), Sustained Attention to Response Task (SART), and Two-Back Task test (TBT) performed in the morning and the afternoon on both the day with and the day without exposure to pre-recorded office noise. The participants are divided in two subgroups according to their answer to the pre-screening questionnaire regarding disturbance to noise in their normal work place, i.e. being disturbed less than or more 50% of the time or more. The figures in parantheses are the number of accepted tests for each group.

		CRT (total: n=50 trials)		SART (total: n=50 trials)		TBT (total: n=24 trials)	
		Morning	Afternoon	Morning	Afternoon	Morning	Afternoon
Noise	< 50 %	48.7 \pm 0.3 (20)	48.5 \pm 0.3 (21)	41.8 \pm 1.4 (20)	40.0 \pm 1.5 (21)	21.5 \pm 0.4 (20)	22.6 \pm 0.4 (20)*
	> 50 %	48.5 \pm 0.4 (22)	48.3 \pm 0.3 (22)	39.1 \pm 1.1 (22)	37.6 \pm 1.4 (22)	21.5 \pm 0.6 (21)	21.3 \pm 0.6 (20)
No noise	< 50 %	49.3 \pm 0.2 (21)	48.8 \pm 0.3 (21)	41.3 \pm 1.5 (22)	40.4 \pm 1.9 (22)	21.2 \pm 0.4 (20)	22.2 \pm 0.4 (20)*
	> 50 %	48.5 \pm 0.4 (23)	48.6 \pm 0.4 (20)	40.5 \pm 1.3 (24)	38.9 \pm 0.9 (23)	21.0 \pm 0.6 (23)	21.0 \pm 0.6 (22)

Note : * posthoc t-test $p < 0.05$ for performance in the afternoon when compared to performance in the morning.

3. Results

Table 1 shows the number of correct responses in the cognitive test performed in the morning before start of the simulated working day in the laboratory, and again in the afternoon with and without the simulated office noise during the day. The data presented shows no differences between the performances in the cognitive test with respect to the exposure to office noise, i.e. there were no consistent differences in the performances between the cognitive tests from the days working with (~55 dB(A)) or without (~50 dB(A)) simulated office noise.

The group that reported being disturbed for more than 50 % of the work time in their ordinary work had on average a lower score (estimate: 38.9; 95% CI: 37.6 - 40.2; $P=0.04$) in the "no-go" trials compared to the group that reported disturbance for less than 50 % of their ordinary working time (estimate: 40.9; 95% CI: 39.5 - 42.3). Hence, the group

with more noise disturbance made a higher number of commission errors in the SART test. There was also a difference between the groups in the performance in the TBT tests (estimate of >50 % of the time: 21.1; 95 % CI: 20.6 - 21.6; estimate of <50% of the time: 22.0; 95 % CI: 21.4 - 22.5; P=0.02). However, this difference in performance seems primarily to be caused by a better performance of the lesser disturbed group during the afternoon testing (see Table 1).

4. Summary

The hypothesis of the study was that the exposure to low-level of noise (~55 dB(A)) in a simulated open-office environment may induce mental fatigue, which could be detected by cognitive test of sustained attention and working memory. However, this hypothesis was not supported. On the other hand, there were slight differences in test performance between groups reporting being disturbed by noise for more or less than 50% of the time in their normal open office environment.

5. Funding

This study was supported by the National Working Environment Fund (Project no. 14-2009-03).

References

- [1] J.H. Pejtersen, L. Allermann, T.S. Kristensen, and O.M. Poulsen, Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices, *Indoor Air*, 16, 2006, 392-401.
- [2] S. Banbury, and D.C. Berry, Disruption of office-related tasks by speech and office noise, *British Journal of Psychology*, 89, 1989, 499-517.
- [3] J.H. Pejtersen, H. Feveile, K.B. Christensen, and H. Burr, Sickness absence associated with shared and open-plan offices - a national cross sectional questionnaire survey, *Scandinavian Journal of Work and Environmental Health*, 2011, 37, 376-382.
- [4] H. Jahnce, S. Hygge, N. Halin, A.M. Green, and K. Dimberg, Open plan office noise: Cognitive performance and restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 2011, 373-382.
- [5] E. De Croon, J. Sluiter, P. Kuijer, M. Frings-Dresen, The effect of office concepts on worker health and performance: a systematic review of the literature, *Ergonomics*, 48, 2005, 119-134.
- [6] G.W. Evans and D. Johnstone, Stress and open office noise, *Journal of Applied Psychology*, 2000, 85, 779-783.
- [7] J. Kristiansen, L. Mathiesen, P.K. Nielsen, Å.M. Hansen, H. Shibuya, H.M. Petersen, S.P. Lund, J. Skotte, M.B. Jørgensen MB, and K. Søgaard 2009. Stress reactions to cognitively demanding tasks and open-plan office noise. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82, 2009, 631-641.
- [8] T. Witterseh, D.P. Wyon, and G. Clausen. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air*, 14(suppl. 8), 2004, 30-40.
- [9] I.H. Robertson, T. Manly, J. Andrade, B.T. Baddeley, And J. Yiend, 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects, *Neuropsychologia*, 35, 1997, 747-758.
- [10] T. Manly, I.H. Robertson, M. Galloway, K. Hawkins, The absent mind: further investigations of sustained attention to response, *Neuropsychologia*, 37, 1999, 661-670.
- [11] A.M. Owen, K.M. McMillan, A.R. Laird, and E. Bullmore, N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies, *Human Brain Mapping*, 25, 2005, 46 -5

Effect of open-plan office noise on occupant comfort and performance

Jørn Toftum¹, Søren Peter Lund², Jesper Kristiansen², Geo Clausen¹

¹International Centre for Indoor Environment and Energy, Dept. Civil Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark

²National Research Center for the Working Environment, Copenhagen, Denmark

*Corresponding email: jt@byg.dtu.dk

SUMMARY

This study investigated effects on comfort, symptoms, and office work performance of exposure to office noise. Forty-nine subjects who were employees working in open-plan offices participated in two full-day experiments simulating an ordinary work day; one day with and one day without exposure to pre-recorded office noise. Exposure to office noise affected negatively ratings of adverse perceptions, selected symptoms, and self-assessed performance, but not the performance of the simulated office tasks. Occupants who in their daily work were disturbed by open-plan office noise were more sensitive to the noise exposure than those who were not.

KEYWORDS

Noise exposure, simulated office work, laboratory study

1 INTRODUCTION

Noise in open-plan offices may reduce well-being and performance and occupants in such offices may even experience higher sickness absence than occupants in cellular offices (Pejtersen et al. 2011, Jahncke et al. 2011). Field studies have shown that noise is one of the most common causes of complaints in offices and especially phones ringing at vacant workplaces and other people's conversation are rated as the most disturbing noise sources in open-plan offices (Pejtersen et al. 2006, Jensen et al. 2005). It has been suggested that acoustic distraction caused especially by irrelevant speech impedes cognitive performance as it may disturb concentration (Liebl et al. 2012, Jahncke et al. 2011). However, only modest knowledge exists on the effects of noise on mental tiredness, stress reactions and performance. Most studies until now have used rather specialised cognitive tasks to quantify effects on performance of exposure to noise in open-plan offices and have typically used university students as subjects.

The aim of this study was to investigate effects on comfort, symptoms, office work performance, and stress responses during exposure to office noise with subjects who were employees working in open-plan offices.

2 MATERIALS/METHODS

In balanced order, subjects participated in two full-day experiments simulating an ordinary work day; one day with and one day without exposure to pre-recorded office noise. They were recruited among employees working in open-plan offices in one private (bank) and two public companies (industrial injuries processing and logistics). The selected groups of employees within the three companies first received a mail with a description of the study and an invitation to visit a web site with a comprehensive pre-screening questionnaire, which, among

others, contained questions regarding noise exposure and -perception during the usual work day.

Participants

Altogether, 225 employees completed the screening questionnaire and of these 49 persons (32 females aged 44.3 ± 11 years (mean \pm sd) (range 20-63 years) and 17 males aged 44.4 ± 10 years (range 28-63 years)) agreed to participate in the experiments and completed both experimental sessions. On one of the two exposure days, participants' hearing ability was assessed by measurement of distortions product oto-acoustic emission, which showed that their hearing in general was better than could be expected for their age. However, the screening questionnaire also showed that seven of the participants thought their hearing was reduced.

Facilities

The experiments were carried out in a controlled environment office with eight computer workplaces as shown in Figure 1. The office was located at the Technical University of Denmark.

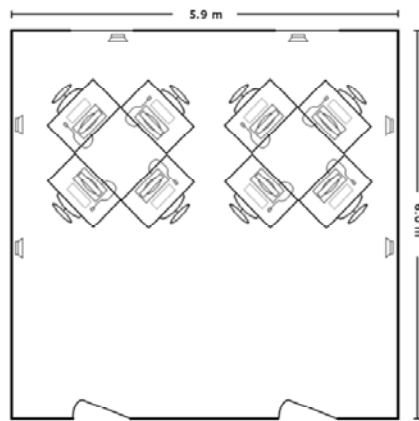


Figure 1. Layout of the office with eight workplaces arranged in two "desk islands".

Air temperature, relative humidity, and CO₂ concentration were logged at 10 min intervals with a small measurement station comprising a HOBO data logger model U12-012 with built-in temperature and humidity sensors and a Vaisala CO₂ transducer model GMW22. The office was mechanically ventilated with a fixed flow rate in all experiments and the temperature was controlled by a combination of radiators located along the exterior facade and the temperature of the supply air. One to eight subjects participated in an experiment at the same time and the CO₂ concentration measured during the exposure time from approximately 10:00 to 15:00 hrs varied between the outdoor concentration and 600 ppm. The thermal load with subjects present in the office caused an increase in the hourly mean temperature (across all experiments) from $23.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$ (mean \pm sd) during the first hour to $24.4 \pm 0.8^\circ\text{C}$ during the final hour. The relative humidity was $41\% \pm 9\%$ rh.

Digital recordings of office noise were played from a surround sound amplifier by six loudspeakers located as shown in Figure 1. The sound track consisted of typical office noises such as people talking on telephone, people engaged in conversations, occasional laughter, telephones ringing, fax and printer sounds, etc. A detailed description of the sound track can be found in Witterseh et al. (2004). The sound track had been re-sampled and digitized in order to support the surround effect (Kristiansen et al. 2009).

The background sound level measured in the empty office was 42 dBA. With subjects present but without playing the office noise it was 50.7 ± 1.2 dBA and with noise exposure it was 55.0 ± 1.2 dBA. Mean sound levels included only the exposure periods and excluded the break periods when subjects moved around, talked, and the door between the office and the adjacent corridor was open.

Experimental procedure

An experimental day started at 8:30 hrs with a brief introduction by one of the experimenters after which subjects collected saliva in sampling tubes, delivered a urine sample and fixed the heart rate transmitter. Results on biomarkers will not be reported in this paper and these measurements are only referred to as they were an integrated part of the overall experimental procedure. Subjects then entered the office and carried out initial cognitive tests after which three one-hour modules with combinations of simulated office tasks and questionnaires commenced. After the first module, biological sampling was repeated and then subjects had a 30 min lunch break. Between the second and third modules subjects had a 15 min break and after the third module biological sampling and cognitive testing were repeated before the day ended at around 16:00 hrs.

Simulated office tasks and questionnaires

The performance test battery combined simulated office tasks involving different component skills. The tasks included text typing; proof reading; mental arithmetic; dictation, in which a recording of a text was played while subjects read the same text and marked errors that deliberately were inserted in their version of the text; logical reasoning, in which three consonants were shown one-by-one at 0.5 s intervals after which subjects had 12 seconds to decide if a statement on two of the letters (randomly selected) was true or false, e.g. "k did not appear after z". The duration of the different tests varied from 7 min to 19 min. Within each module the order of the different tests was the same, i.e. subjects experienced the same tests at the same stage with and without noise, but the test content was different. The order of presentation of the two test batteries was balanced between subjects. Only the performance of some tasks are included in this paper.

Several questionnaires were completed throughout the day. A comprehensive questionnaire filled in before the first and after the third block of simulated office tasks focused on tiredness and the mental state of the subject. At the beginning (questionnaire #1) and end (questionnaire #2) of the first block and at the end of the second (questionnaire #3) and third blocks (questionnaire #4), an indoor environment questionnaire, which focused on comfort and the intensity of adverse perceptions and symptoms, was presented to the subjects. All tasks and questionnaires were completed in a standard web browser.

Data analysis

The effect of noise exposure was first tested in a simple linear mixed effects model with participant as random and noise exposure as a deterministic main effect. Then participants' daily disturbance to colleagues' noise was included together with noise exposure in a full model. With non-normally distributed data, a non-parametric χ^2 test was used.

3 RESULTS

As shown in Figure 1, subjects' could clearly discriminate between the condition with and without noise exposure, even from the start of the first simulated office task module ($p < 0.05$). Also, the acceptability of the noise was significantly lower with noise than without ($p < 0.05$). However, the noise exposure did not in the same way affect their perception of the

general indoor environment conditions, which was the same with and without noise exposure (not shown). Noise acceptability decreased with time with noise exposure, maybe as a result of increased annoyance caused by increased tiredness.

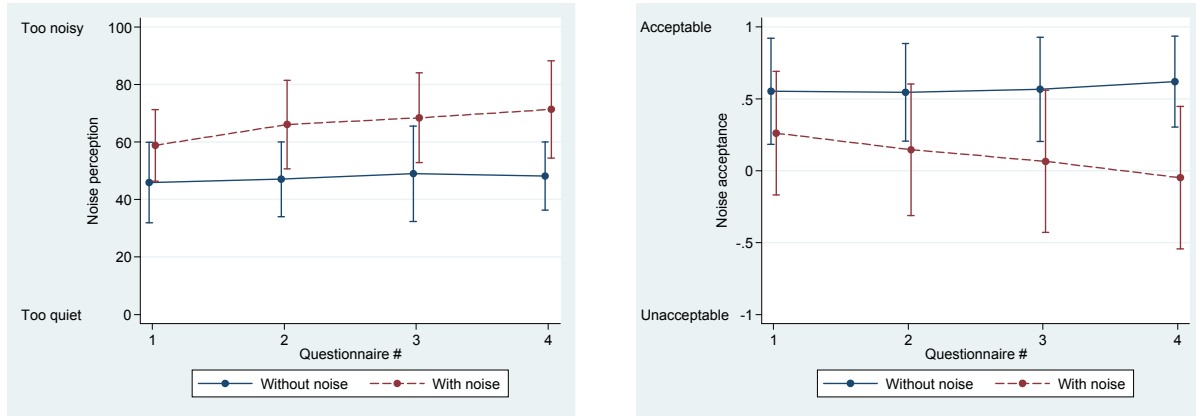


Figure 1. Ratings of the perception of noise (mean±sd) (left) and noise acceptability (right) at the beginning of the first simulated office task module (#1) and at the end of each of all three one-hour task modules (#2, #3, and #4).

Table 1 shows the performance of some of the simulated office tasks, subjects engaged in during the exposure. Office noise did not affect significantly the performance of any of the tasks shown in the table.

Table 1. Performance of the simulated office tasks.

Test	Outcome	Exposure	Mean	Median	s.d.	p ¹⁾	Unit
Logical reasoning	speed	w/o	13.7	13.4	3.6	0.55	correct per min
		w	13.0	12.4	3.4		
	errors	w/o	1.6	1.2	1.2	0.52	incorrect per min
		w	1.8	1.4	1.6		
Multipli- cation	speed	w/o	1.9	1.9	0.9	0.60	correct per min
		w	1.9	1.9	0.8		
	errors	w/o	0.4	0.3	0.3	0.66	errors per min
		w	0.4	0.3	0.3		
Dictation	correct	w/o	0.5	0.5	0.2	0.14	fraction ²⁾
		w	0.4	0.4	0.2		
	errors	w/o	0.6	0.6	0.2	0.40	fraction ³⁾
		w	0.6	0.7	0.2		
Text typing	speed	w/o	163	171	44	0.89	characters per min
		w	164	159	44		
	errors	w/o	2.2	1.7	2.3	0.90	incorrect per min ⁴⁾
		w	2.0	1.4	1.5		
Reading comp.	correct answers	w/o	5.8	6	2.0	0.31	correct answers
		w	5.4	5	2.1		

¹⁾ Linear mixed effects analysis p-value for the effect of the noise exposure, except for text typing where a χ^2 test was used

²⁾ Ratio of correctly detected words and the sum of correctly detected and missed correct words

³⁾ Ratio of incorrectly detected + missed correct words and correctly + incorrectly + missed correct words

⁴⁾ Evaluated by Levenshtein's distance - the smallest number of deletions, insertions, or substitutions required to transform the typed text into the correct text

With noise self-assessed performance decreased from the beginning of the first module of simulated office tasks, whereas without noise the decrease in self-assessed performance was apparent after the second module (Figure 2). Even though no significant difference in the performance of the simulated office tasks was observed, there was a difference in how subjects themselves felt they were able to perform ($p < 0.01$ at questionnaire #2, #3, and #4). Subjects' ratings indicated a higher intensity of headache after some hours' exposure to office noise, although the difference was significant only at questionnaire #3.

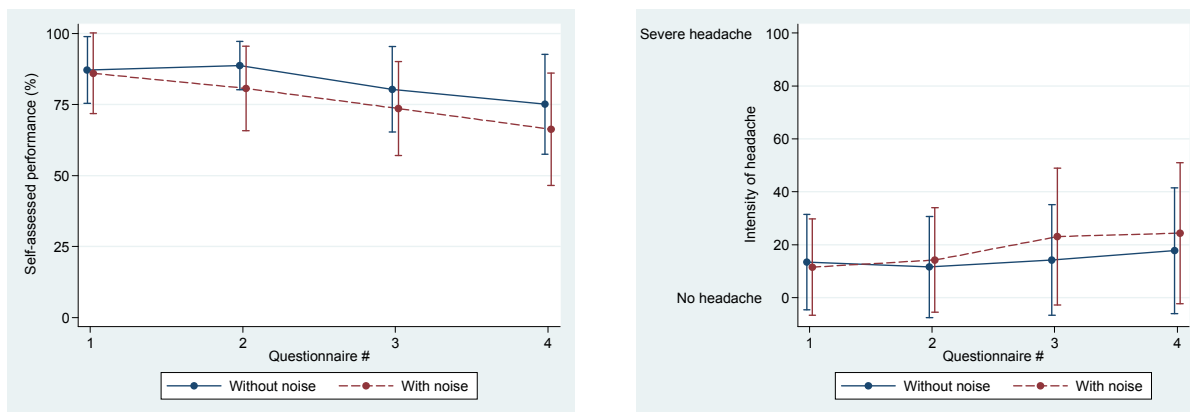


Figure 2. Ratings of self-assessed performance (mean±sd) (left) and intensity of headache (right) at the beginning of the first simulated office task module (#1) and at the end of each of all three one-hr task modules (#2, #3, and #4).

One aim of the study was to compare responses to open-plan office noise from employees who are often disturbed by noise and those who are not. Two items in the screening questionnaire were used to classify these sub-populations; the affected were those who were disturbed by noise more than 25% of the working hours and at the same time perceived the noise from colleagues' activities (internal and phone conversation, etc.) to be very disturbing or even intolerable. This group counted 25 of the 49 participants. With noise exposure, noise acceptability and self-estimated performance were lower and the intensity of headache higher among the subjects who were disturbed by noise in their daily work, i.e. they responded stronger to the exposure than the other group. However, this significant interaction between group and exposure was not seen with the performance of the simulated office tasks.

4 DISCUSSION

In our study, subjective responses were clearly affected by exposure to office noise, whereas the first analyses of the performance of the simulated office tasks did not reveal any clear effects of the exposure. In contrast, Witterseh et al. (2004) reported that the performance of mentally demanding tasks such as mental arithmetic or proof reading were reduced during exposure to the same noise as used in the current study, but the performance of less demanding tasks was not affected. Jahncke et al. (2011) found that the memory performance of their study participants declined with exposure to noise and Liebl et al. (2012) found that increased background sound (intelligible background speech) increased the error rates for some tests, e.g. grammatical reasoning, but not for others. Likewise, Banbury and Berry (1998) found that the performance on memory for prose and mental arithmetic was reduced by exposure to background irrelevant speech. Kristiansen et al. (2009), however, did not detect an effect of office noise exposure on mousework (drawing) or logical reasoning. Thus, the performance of some tasks, particularly those requiring a great deal of concentration, were

affected by noise in several other studies, although we did not observe this effect. One possible explanation is that the duration of the applied performance tasks was too short or the difference in the noise levels between the two exposures was insufficient. This will be studied further in continued analyses.

One interesting finding was that participants who in their daily work were disturbed by colleagues' noise responded stronger to the noise exposure. However, the increased noise sensitivity did not result in decreased task performance for these participants, even though they assessed their performance as being lower.

This study included also the measurement of parameters related with physiological stress reactions, including heart rate variability and cortisol in saliva and urine. These and additional performance and psycho-physiological parameters will be analysed and reported in future publications.

5 CONCLUSIONS

Exposure to office noise affected negatively ratings of adverse perceptions, selected symptoms, and self-assessed performance, but not the performance of the simulated office tasks included in the analysis. Occupants who in their daily work were disturbed by open-plan office noise were more sensitive to noise than those who were not. In addition to other studies in the literature, our study showed that the design and layout of office work environments affect the wellbeing of the employees and that everyday exposure to noise disturbance even may affect their perception thresholds.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported financially by the Danish Working Environment Authority.

6 REFERENCES

- Liebl A, Haller J, Jödicke B, Baumgartner H, Schlittmeier S, Hellbrück J. 2012. Combined effects of acoustic and visual distraction on cognitive performance and well-being. *Applied Ergonomics*, 43, 424-434.
- Banbury S, Berry D.C. 1998. Disruption of office-related tasks by speech and office noise. *British Journal of Psychology*, 89, 499-517.
- Jahncke H, Hygge S, Halin N, Green AM, Dimberg K. 2011. Open plan office noise: Cognitive performance and restoration. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 373-382.
- Pejtersen JH, Fèveile H, Christensen KB, Burr H. 2011. *Scand J Work Environ Health*, 37(5), 376-382.
- Kristiansen J, Mathiesen L, Nielsen PK, Hansen ÅM, Shibuya H, Petersen HM, Lund SP, Skotte J, Jørgensen MB, Søgaard K. 2009. Stress reactions to cognitively demanding tasks and open-plan office noise. *Int Arch Occup Environ Health*, 82, 631-641.
- Jensen KL, Arens E, Zagreus L. 2005. Acoustical quality in office workstations as assessed by occupant surveys. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Indoor Air Quality and Climate – Indoor Air '05, Beijing*, pp. 2401-2405.
- Pejtersen JH, Allermann L, Kristensen TS, Poulsen OM. 2006. Indoor climate, psychosocial work environment and symptoms in open-plan offices. *Indoor Air*, 16, 392-401.
- Witterseh T, Wyon DP, Clausen G. 2004. The effects of moderate heat stress and open-plan office noise distraction on SBS symptoms and on the performance of office work. *Indoor Air*, 14(suppl. 8), 30-40.