

1995:29

#100436

## Underlag för åtgärder mot ventilationsbuller – inverkan av nivåfluktuationer på störningsupplevelse

Ulf Landström  
Lena Söderberg  
Bertil Nordström  
Anders Kjellberg

Enheten för teknik, Arbetslivsinstitutet Umeå  
Enhetschef: Ulf Landström

## Förord

Följande undersökning utgör del i ett mer omfattande projekt inriktat på att utreda hur åtgärdsinsatser mot ventilationsbuller bör utformas för att minimera störningsupplevelsen och därtill relaterade effekter. Forskningsprojektet avses att innefatta utvärderingar av tonkaraktär, bandbredd, ljudtrycksnivå och tidsfluktuationer. Följande rapport utgör beskrivning av försök inriktade på utvärdering av den effekt som nivåfluktuationer kan ha på störningsupplevelse.

Författarna framför ett särskilt tack till samtliga medverkande försökspersoner. Projektet har finansierats av Bygghälsorådet.

Författarna

# Innehåll

1. Inledning .....	1
2. Metod .....	2
2.1 Försökspersoner .....	2
2.2. Exponeringsrummet .....	2
2.3. Generering och inställning av ljud .....	2
2.4. Skattningar .....	8
2.5. Försöksdesign .....	8
3. Resultat .....	9
4. Diskussion .....	14
5. Sammanfattning .....	15
6. Summary .....	15
7. Referenser .....	16

## 1. Inledning

Frågeställningar kring vilka egenskaper i ett ventilationsbuller som är kritiska för störningseffekter och prestationspåverkan har studerats i ett antal forskningsprojekt. Resultat från ett flertal studier visar som väntat på ett samband mellan exponeringsnivå, mätt i dBA och störningupplevelse. Reduceringar av exponeringsnivån för ett ventilationsbuller med 5 dB visade sig ge signifikanta sänkningar av störningsupplevelsen (Landström m fl 1991a, 1991b). Andra undersökningar visar samtidigt att en sänkt exponeringsnivå inte alltid leder till minskad störning. Förändringar av ventilationsbullrets frekvenssammansättning har t ex visat sig kunna ge starka förändringar på störningsgraden även om ljudnivån hålls konstant (Holmberg m fl 1993). En förskjutning av frekvensen för en ton högre upp inom det lågfrekventa frekvensområdet har visat sig kopplat till en ökad risk för störningsupplevelse. I en nyligen rapporterad studie av toner inom frekvensområdet 35 –500 Hz påvisades således att tonen upplevdes som minst störande då den låg kring 60 Hz och som mest störande omkring 400 Hz (Landström m fl 1994). Motsvarande mönster visade sig föreligga för bredbandsexponeringar. 20 försökspersoner exponerades i en uppföljande undersökning (Landström m fl 1995) för ett ventilationsbuller, med uppgift att ställa in mittfrekvensen av en bredbandig komponent så att ljudet upplevdes som minimalt resp maximalt störande. Nivån hölls konstant vid 40 dBA. De genomsnittliga inställda frekvenserna var 129 resp 456 Hz. Den högre frekvensen upplevdes som mer störande och obehaglig. En korrekturläsningsuppgift upplevdes som mer ansträngande med detta buller och prestationen bedömdes vara sämre. Undersökningarna visar således att såväl lägre tonfrekvenser som lägre bredbandsmittfrekvenser upplevs mindre störande än högre vid samma dBA-nivå. A-vägningen tenderar således att överskatta störningsupplevelsen vid dessa typer av lågfrekvensexponering.

Av undersökningen från 1991 (Landström m fl 1991) framgick att ventilationsbullret spektralmässigt i flertalet fall "skär" hörperceptionströskelkurvan i ett intervall kring 30 - 50 Hz. Konsekvenserna av detta blir därmed att ventilationsbullret av matematiska och statistiska skäl kommer att fluktuera över och under hörperceptionströskeln. Vissa ljudfrekvenser kommer alltså ibland att vara hörbara, ibland ohörbara. En hypotes har framlagts om att dessa "on-off" effekter skulle kunna varar en bidragande orsak till de särskilda störningsreaktioner som förknippas med exponering för ventilationsbuller (muntlig kommunikation Thomas Lindwall och Tor Kihlman, 1995).

Föreliggande undersökning utgör en del av en ansats att på basis av systematiska laborieförsök, utarbeta säkrare riktlinjer för hur ett ventilationsbuller bör utformas för att eliminera riskerna för störningseffekter eller andra besvär. Exponeringarna sker under kontrollerade betingelser, där särskild vikt läggs vid att efterlikna en autentisk miljö. Den övergripande idén är att låta personer exponeras för olika typer av ventilationsbuller och att låta dem själva förändra eller ange de utseenden på ett ventilationsbuller som föredras för att minska effekterna på störningsupplevelse, försämrad komfort, sänkt prestation, etc. Undersökningen syftar i första hand därvid till att ge ett säkrare kunskapsunderlag för åtgärder och design baserade på parametrarna, ljudtrycksnivå, frekvenskaraktäristik och tidsfluktuationer. Följande rapport utgör beskrivning av försök inriktade på utvärdering av den effekt som nivåfluktuationer kan ha på störningsupplevelse.

## 2. Metod

### 1 Försökspersoner

12 försökspersoner (6 män och 6 kvinnor) med en medelålder av 24 år (variationsvidd 20–34 år) deltog i försöket.

### 2. Exponeringsrummet

Försökspersonerna exponerades i ett ljudisolerat rum med dimensionerna; längd 3,5 m, bredd 2,5 m och höjd 2,3 m. Bakgrundsnivån i rummet låg under 20 dB(A) och 60 dB(lin). Temperaturen balanserades vid 22°C. Fullgod läsbelysning ombesörjdes av tak- samt bordslampa (250 Lux). Rummet var försett med tak-, golv- och väggbeklädnad för att erhålla en lämplig rumsakustik. Möblering och övrig utrustning var vald för att eliminera "laboratorieatmosfären". Högtalare och övrig teknisk utrustning var av dessa skäl på olika sätt omsorgsfullt dolda. Försökspersonerna placerades under försöken vid ett skrivbord med uppgift att rangordna två exponeringsljud med avseende på störningsupplevelse samt genomföra skattningar med avseende på detta (se följande metodbeskrivningen).

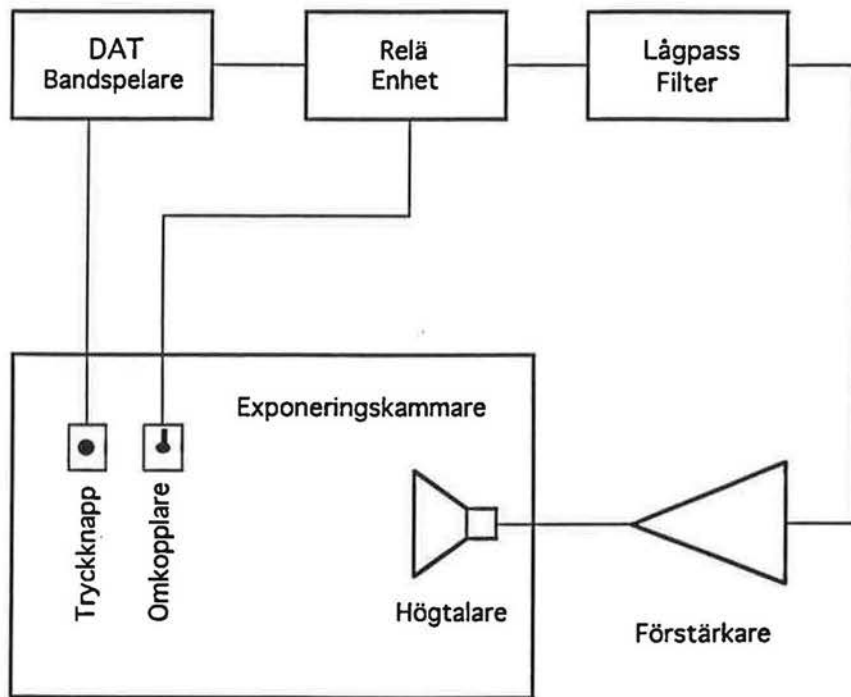
### 3. Generering och inställning av ljud

Försökspersonerna exponerades för toner med nivå fluktuerande över/under eller över hörperceptionströskeln. Exponeringsljudet hade konstruerats på följande sätt:

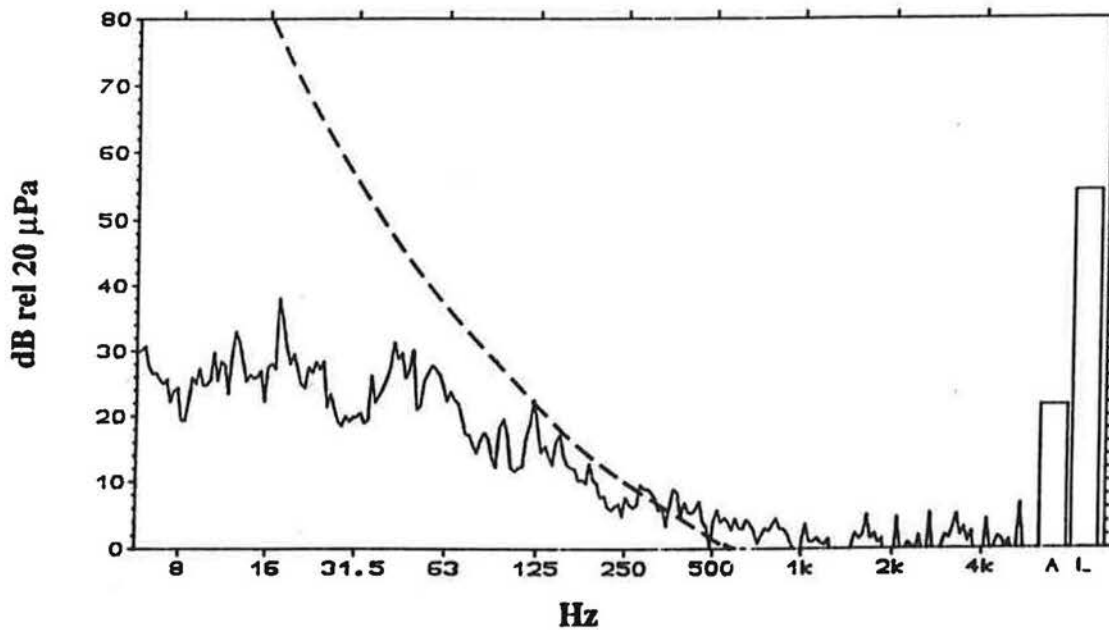
För att erhålla ljudsignaler med fluktuerande nivåer utnyttjades en tongenerator med amplitudmoduleringsfunktion (HP 33120A). Med hjälp av en FFT analysator (B&K 2033) inställdes modulationsgraden så att önskade max- och min-nivåer på de fluktuerande ljudsignalerna erhöles. Därefter gjordes inspelningar på en tvåkanalig DAT-bandspelare (TASCAM DA-30). På den ena kanalen lagrades signalerna, avsedda för hörtröskelpassage, med större skillnad mellan högsta och lägsta nivå och på den andra kanalen fans signaler med mindre nivåskillnad. Inspelningar gjordes på fyra ljudband med frekvenserna 40, 50, 60 och 70 Hz. Varje band innehöll ettantal två minuter långa avsnitt med ljudpar av varierande nivåskillnad. Bandspelarens båda utgångar var anslutna till en reläenhet, som möjliggjorde för försökspersonen att med en vippomkopplare växla mellan de två ljud som skulle rangordnas. Från reläenheten leddes ljudsignalen via lågpasfilter och förstärkare till en högtalare i exponeringskammaren. Filtrets uppgift var att eliminera störande högfrekventa ljud som alstrades av reläer och omkopplare. Med en tryckknapp kunde försökspersonen fjärrmanövrera bandspelarens bandspolningsfunktion och därmed växla till ett nytt ljudpar.

Kopplingsschema för generering och styrning av ljud visas översiktligt i Figur 1.

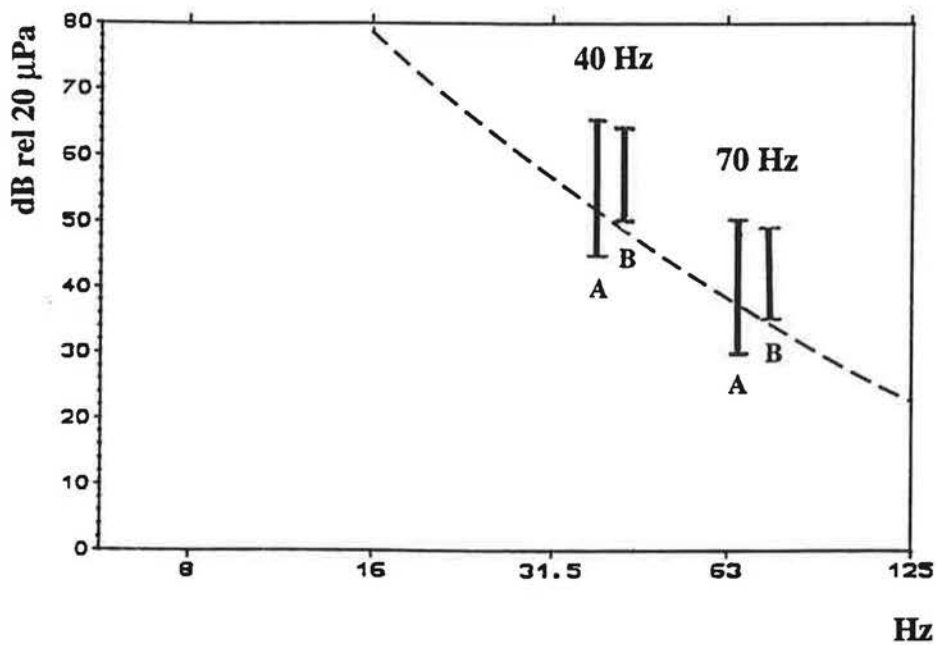
Frekvenskaraktäristiken för bakgrundsbullret, samt exempel på nivåfluktuationer för några ljudpar redovisas i figur 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 och 10.



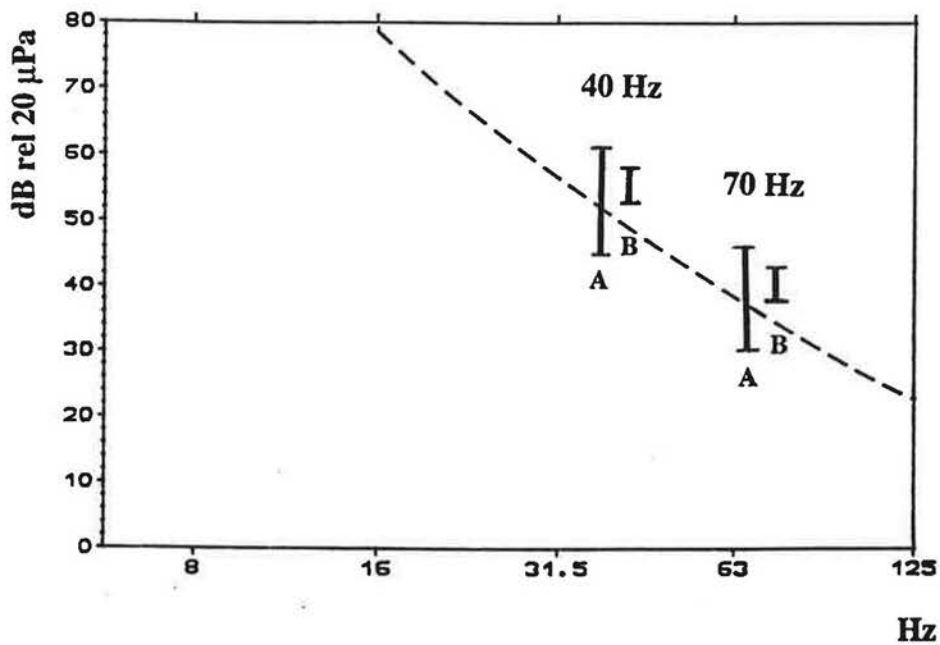
Figur 1. Kopplingsschema för generering och styrning av ljud.



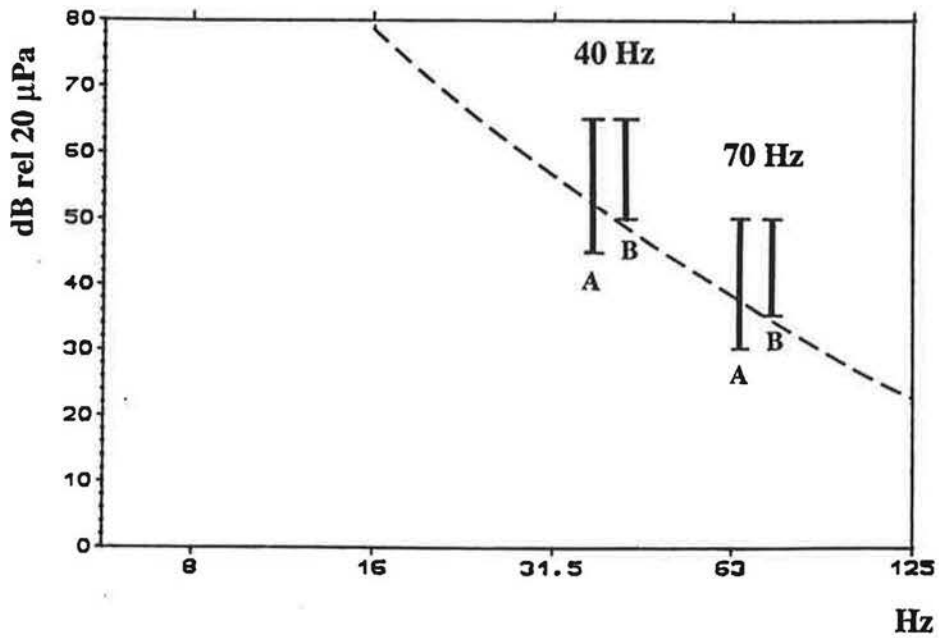
Figur 2. Frekvensfördelning (24 dels oktavnivåer) för bakgrundsbullret i försöksrummet. Hörtröskeln för ton inlagd med streckad linje (ISO 1987).



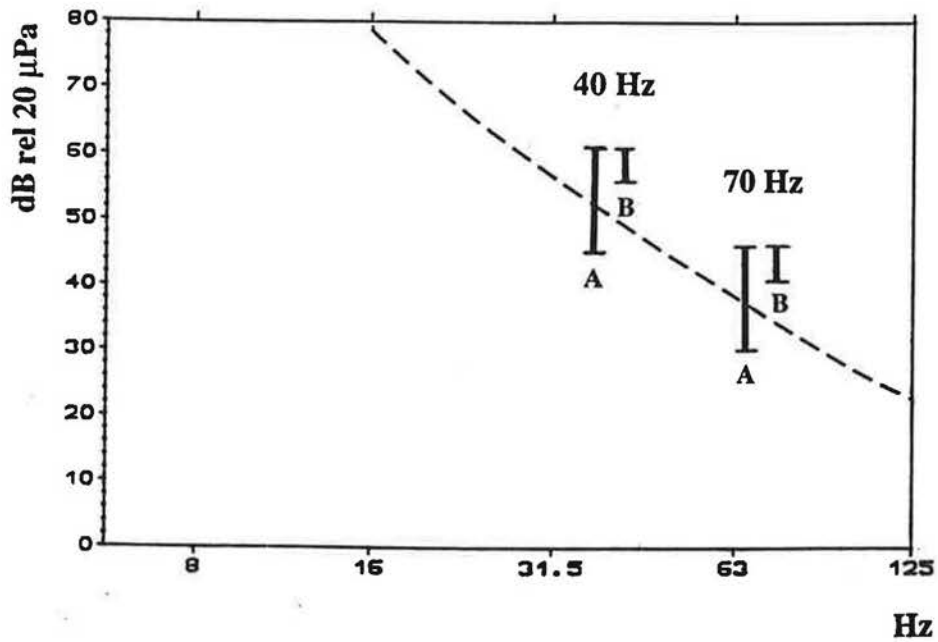
Figur 3. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. A fluktuerande med större modulation över/under tröskeln, B över tröskeln vid samma dBA-nivå.



Figur 4 Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. A fluktuerande med mindre modulation över/under tröskeln, B över tröskeln vid samma dBA-nivå.

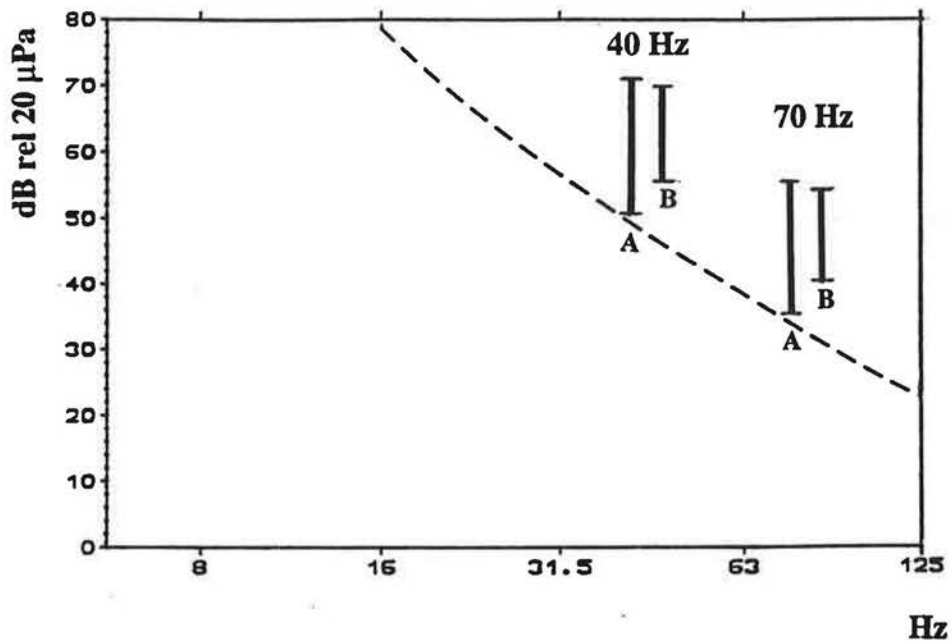


Figur 5. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. A fluktuerande med större modulation över/under tröskeln, B över tröskeln vid samma toppnivå.

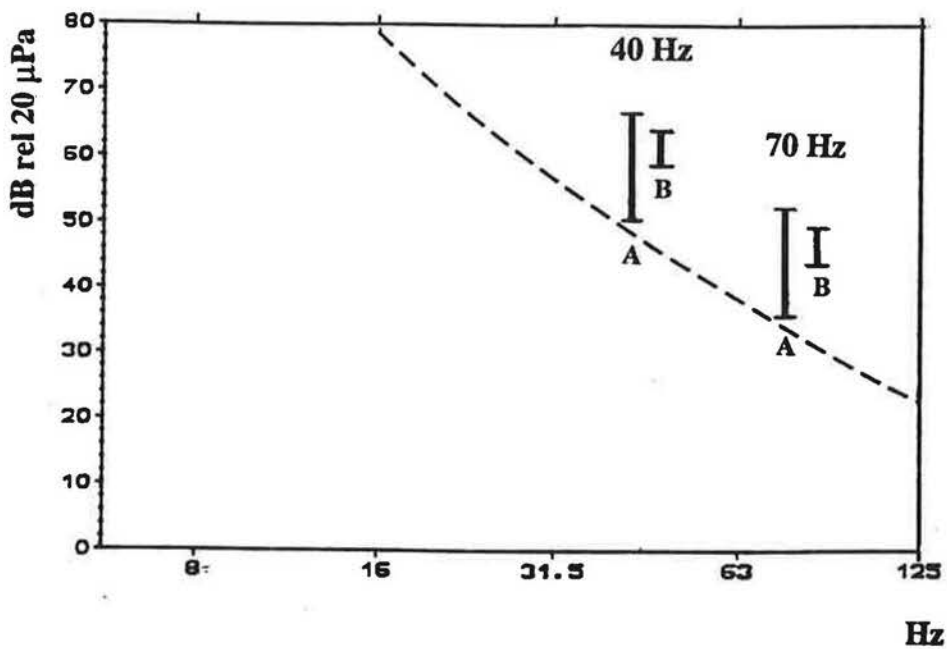


Figur 6. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. A fluktuerande med mindre modulation över/under tröskeln, B över tröskeln vid samma toppnivå

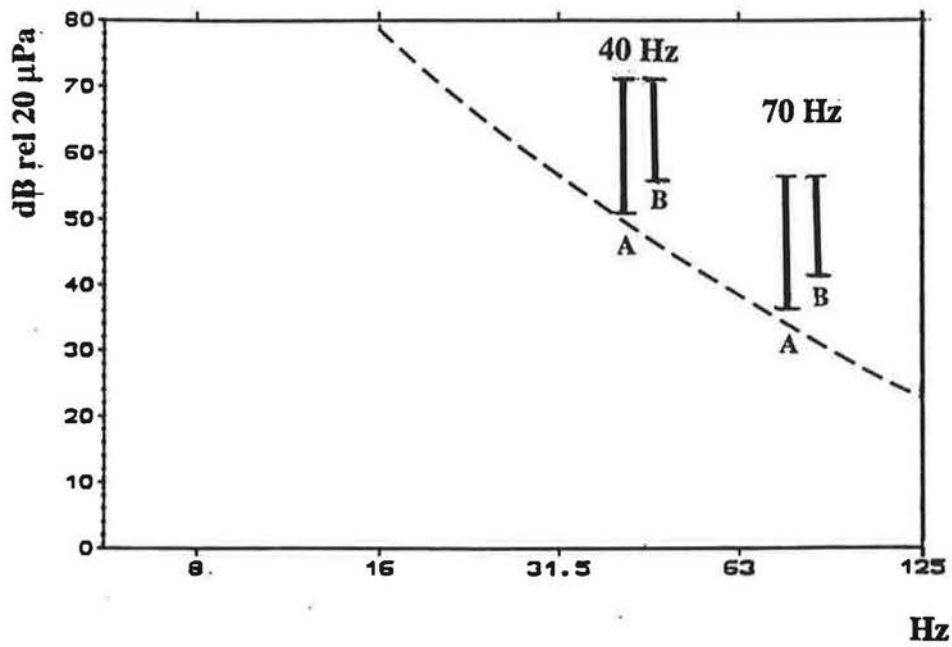




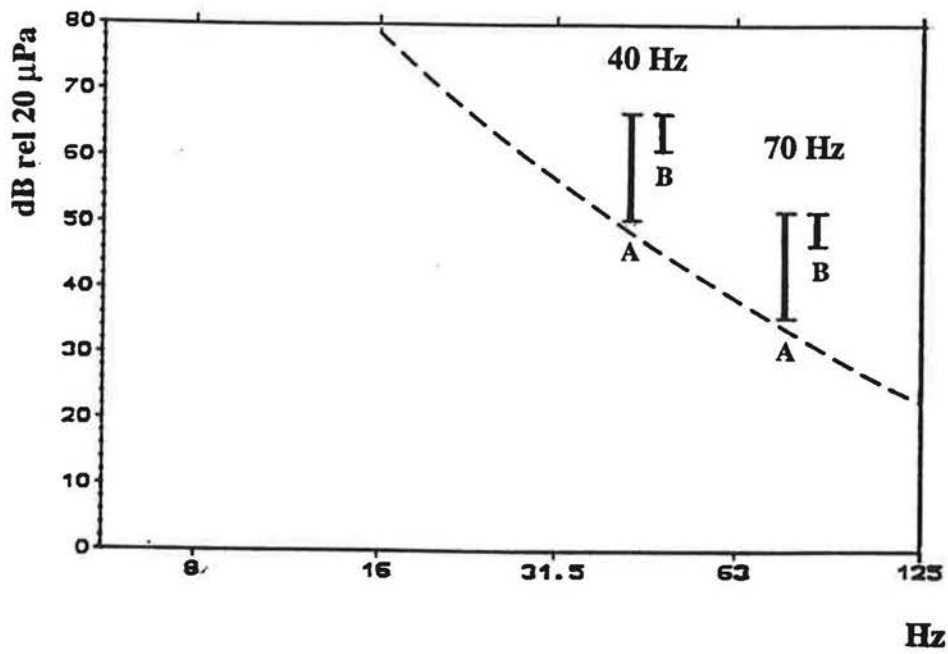
Figur 7. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. Såväl A som B fluktuerande med större modulation över tröskeln vid samma dBA-nivå.



Figur 8. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. Såväl A som B fluktuerande med mindre modulation under tröskeln vid samma dBA-nivå.



Figur 9. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. Såväl A som B fluktuerande med större modulation över tröskeln vid samma toppnivå.



Figur 10. Exempel på nivåfluktuationer för två ljudpar vid frekvenserna 40 resp 70 Hz. Såväl A som B fluktuerande med mindre modulation över tröskeln vid samma toppnivå

#### 4. Skattningar

Skattningarna av störningsupplevelse utfördes på en 100 mm grafisk skala enligt Figur 11. Skattningarna kunde variera mellan 0 och 100 mm. Skattningsskalorna har av projektgruppen tillämpats i en rad tidigare studier (Landström m fl 1993).



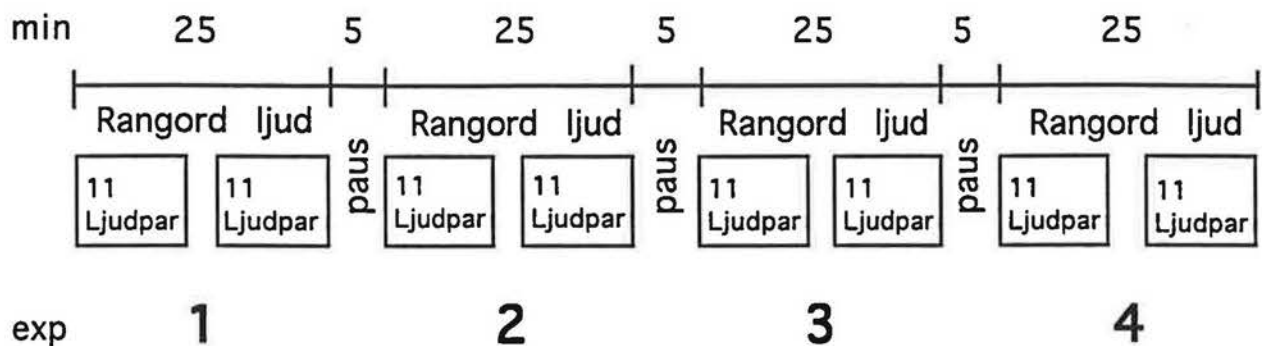
Figur 11. Skala för skattning av störningsupplevelse.

#### 5. Försöksdesign

Varje försök avseende perceptionströskelns betydelse innefattade rangordningar och skattningar av störningsupplevelse av 16+16 ljudpar. Försökspersonerna hade i uppgift att ange vilket av två ljud som upplevdes som mest störande, dels i form av en rangordningsangivelse dels i form av skattningar på 100 mm skalan. Jämförelserna av ljudparen skedde vid frekvenserna 40, 50, 60 och 70 Hz. De två ljud som försökspersonerna uppdrogs att jämföra hade i 8 par balanserats vid dels samma dBA-nivå (exemplifierat av figur 3 och 4 samt 7 och 8), i 8 par dels vid samma toppnivå (exemplifierat av figur 5 och 6 samt 9 och 10). Vid jämförelsen fluktuerade ett av ljuden över/under hörperceptionströskelkurvan, det andra ljudet hela tiden över hörperceptionströskelkurvan. Nivågränserna för under respektive över tröskeln, baseras på värden angivna för hörperceptionströskelvärden enligt ISO 1987. Lågstanivåerna för ljuden som fluktuerade under hörperceptionströskeln konstruerades så att dessa låg 3 dB under ISO's angivna hörperceptionströskelvärden. Förhållandet att ISO's tröskelvärden baseras på genomsnittliga nivåer för en större population, innebär givetvis att graden av variationen över/under den individuella tröskeln kan se olika ut för olika försökspersoner. "Tröskelpassagen" har således inte individanpassats. Inverkan av denna individparameter har kompenserats via ett förhållandevis stort undersökningsmaterial. (I undersökningen ingick 12 försökspersoner, vilka testades vid sammantaget 32 ljudpar). Nivåfluktuationsfrekvensen var 2 Hz. Två nivåfluktuationsintervaller testades (en större exemplifierad i Figur 3 och 6 och en mindre exemplifierad i Figur 4 och 7). I denna design genomfördes således  $4 \times 2 \times 2 = 16$  jämförelser (4 frekvenser, 2 modulationsintervaller samt 2 nivåkriterier). För att utvärdera inverkan av modulerings betydelse för störningsupplevelse (ljudet fluktuerande över/under hörperceptionströskeln baserades alltid på en kraftigare nivåfluktuation), genomfördes motsvarande 16 rangordningar av ljudpar där nivån i samtliga fall höjts med 5 dB. Ljudparen låg i dess fall således hela tiden över hörperceptionströskeln (Ljudpar 1 i Tabell 1 utgör kontroll till Ljudpar 1+ i Tabell 1, etc).

I försöket ingick dessutom test av moduleringsfrekvensens betydelse. Modulationsfrekvensen 0,5 Hz testades mot 1 Hz, 0,5 mot 2 Hz samt 1 Hz mot 2 Hz. De fyra frekvenserna 40, 50, 60 och 70 Hz, testades vid två typer av nivåpar där det ena ljudet i ena paret låg över/under hörperceptionströskeln, i det andra paret där båda ljudparen låg över hörperceptionströskeln. Vid den parvisa jämförelsen skedde omkastningar av ordningsföljden för de parvisa ljuden för att motverka systematiska fel.

Försöksupplägningen redovisas översiktligt i Figur 12.



Figur 12. Översikt över försöksupplägning.

### 3. Resultat

Resultatet av störningsskattningar och rangordningen av ljuden inom ljudparen redovisas översiktligt i Tabell 1 för ljudparen där ljudnivån konstanthölls inom ljudparen, och i tabell 2 för dem där toppnivån konstanthölls. I Tabell 3 och 4 ges medelvärden av störningsskattningarna av ljuden med olika moduleringsfrekvens.

Separata analyser gjordes av ljudparen som hade samma A-vägda ekvivalentnivå (Tabell 1), av dem som hade samma toppvärde (Tabell 2) och av ljudparen med olika moduleringsfrekvenser (Tabell 3 och 4). I alla tre fallen gjordes analyserna separat för de fyra frekvenserna. De två första fallen (Tabell 1 och 2) analyserades med  $2 * 2 * 2$  trevägs variansanalyser med upprepad mätning i alla tre faktorer:

1. Två typer av ljudpar. I ena fallet låg A-ljudet över och B-ljudet under tröskeln. I det andra låg båda över tröskeln.
2. Stor eller liten skillnad i fluktuationsvidd mellan A- och B-ljudet. Skillnaden var stor i ljudparen 1 och 4 och liten i ljudparen 2 och 3 (Tabell 1 resp. 2).
3. Två fluktuationsvidder, där ljudet A alltid fluktuerade mer än B.

Endast vissa av de skillnader som testades var relevanta för att bedöma vilken betydelse fluktuationernas storlek och karaktär har för störningsupplevelsen.

Om en större nivåfluktuationen gör ljudet mer störande skulle för det A-ljudet skattas som signifikant mer störande än B-ljudet. Dessutom skulle denna effekt vara större i de ljudpar där skillnaden i fluktuationsvidd mellan A- och B-ljudet är störst. I variansanalysen skulle detta ge en signifikant interaktion mellan fluktuationsvidd och skillnaden i fluktuationsvidd (mellan den andra och tredje faktorn ovan).

Om fluktuationerna blir särskilt störande då de passerar tröskelnivån ska skillnaden mellan A- och B-ljuden vara störst i de ljudpar där A-ljuden passerar tröskeln, och B-ljuden hela tiden ligger ovanför tröskeln. I variansanalysen skulle detta ge upphov till en signifikant interaktion mellan typ av ljudpar och fluktuationsvidd (faktorerna 1 och 3).

**Tabell 1.** Medelvärden av störningsskattningar för ljudpar med samma dBA-nivåer samt antalet personer som betecknade ljudet som det mest störande i ljudparet.

		A fluktuerande över/under, B över hörtröskeln				A och B över hörtröskeln (+5 dB)			
		Ljudpar							
		1 A	1 B	2 A	2 B	1+ A	1+ B	2+ A	2+ B
40 Hz	mv störning mm	27,8	24,6	21,6	16,9	38,9	37,4	32,5	23,2
	antal mest störda	9	3	9	3	8	4	11	1
	ljudens variation i dB	45-65	50-64	45-61	53-58	50-70	55-69	50-66	58-63
50 Hz	mv störning mm	24,4	21,2	15,6	5,2	37,6	35,6	32,4	18,6
	antal mest störda	10	2	12	0	8	4	11	1
	ljudens variation i dB	39-59	44-58	39-55	47-52	44-64	49-63	44-60	52-57
60 Hz	mv störning mm	21,2	15,8	15,0	8,6	30,2	25,9	28,1	14,4
	antal mest störda	10	2	11	1	9	3	12	0
	ljudens variation i dB	35-55	40-54	35-51	43-48	40-60	45-59	40-56	48-53
70 Hz	mv störning mm	14,8	11,1	6,0	5,1	24,6	23,5	17,2	6,9
	antal mest störda	12	0	9	3	8	4	11	1
	ljudens variation i dB	30-50	35-49	30-46	38-43	35-55	40-54	35-51	43-48

Det är också tänkbart att en sådan effekt av att tröskeln passeras endast visar sig i ljudparen med stor eller de med liten skillnad i fluktuationsvidd. Detta skulle leda till signifikanta trefaktorinteraktioner i variansanalysen.

Övriga skillnader som testas (mellan ljudtyperna och mellan paren med olika stor skillnad i fluktuationsvidd) avspeglar skillnader i ljudnivå. Dessa skillnader var genomgående signifikanta, men tas inte upp i redovisningen nedan.

## Ljudparen med samma A-vägda ekvivalentnivå

Som framgår av tabell 1 skattades genomgående det ljud som fluktuerade mest, d v s A-ljudet, som mer störande än B-ljudet. Denna skillnad var också signifikant för alla frekvenser utom 70 Hz ( $F_{1,11}=5,87-10,93$ ,  $p=.034-.007$ ). En stark tendens i samma riktning fanns även för 70 Hz-ljuden ( $F_{1,11}=4,45$ ,  $p=.059$ ). Samma skillnad kan också ses i antalet personer som angav A-ljudet som mest störande. För alla frekvenser utom 70 Hz var denna effekt var också signifikant större i ljudparen där skillnaden i fluktuationsvidd var störst ( $F_{1,11}=5,97-11,70$ ,  $p=.033-.006$ ).

**Tabell 2.** Medelvärden av störningsskattningar för ljudpar med samma toppnivåer samt antalet personer som betecknade ljudet som det mest störande i ljudparet.

		A fluktuerande över/under, B över hörtröskeln				A och B över hörtröskeln (+5 dB)			
		Ljudpar							
		3 A	3 B	4 A	4 B	3+ A	3+ B	4+ A	4+ B
40 Hz	mv störning mm	20,0	14,8	28,3	26,6	31,9	26,8	38,6	38,6
	antal mest störda	11	1	9	3	8	4	7	5
	ljudens variation i dB	45-61	56-61	45-65	50-65	50-66	61-66	50-70	55-70
50 Hz	mv störning mm	11,4	6,8	22,7	22,3	34,1	24,5	36,9	38,1
	antal mest störda	10	2	6	6	10	2	5	7
	ljudens variation i dB	39-55	50-55	39-59	44-59	44-60	55-60	44-64	49-64
60 Hz	mv störning mm	16,3	8,8	21,7	20,7	25,8	17,5	28,7	29,5
	antal mest störda	11	1	10	2	11	1	5	7
	ljudens variation i dB	35-51	46-51	35-55	40-55	40-56	51-56	40-60	45-60
70 Hz	mv störning mm	5,0	4,1	12,1	11,6	17,7	13,7	21,9	22,7
	antal mest störda	7	5	5	7	8	4	10	2
	ljudens variation i dB	30-46	41-46	30-50	35-50	35-51	46-51	35-55	40-55

Variansanalysen gav dock inget som helst stöd för att denna effekt skulle påverkas av att den större fluktuationen nådde under tröskelnivå. (F-värden för interaktionen mellan ljudparstyp och fluktuationsvidd varierade mellan 0,07 och 1,29,  $p=0,28-0,80$ ).

Inte i någon av analyserna var trefaktorinteraktioner signifikanta.

## Ljudparen med lika toppnivå

Även i skattningarna av ljudpar där toppnivå hållits konstant bedömdes genomsnittligt ljudet med den större fluktuationen som mest störande. Denna skillnad var dock endast signifikant för 40- och 60 Hz-ljuden ( $F_{1,11}=6,51$  resp  $8,65$ ,  $p=.031$  resp  $.013$ ). För 50

Hz-ljudet fanns ingen sådan generell effekt utan bara i ljudpar 3 där skillnaden i fluktuationsvidd var störst ( $F_{1,11}=20,94$ ,  $p=.011$ ). För de övriga frekvenserna fanns ingen sådan signifikant effekt av fluktuationsvidden.

I inget fall påverkades fluktuationseffekten signifikant av att den större fluktuationen passerade tröskelnivån  $F_{1,11}=0,14-1,01$ ,  $p=0,79-0,336$ .

Inte i någon av analyserna var trefaktorinteraktioner signifikanta.

**Tabell 3.** Medelvärden av störningsskattningar för ljudpar med olika moduleringsfrekvenser samt antalet personer som betecknade ljudet som det mest störande i ljudparet för de par där A-ljudet passerade hörtröskeln och B hela tiden låg över hörtröskeln.

Moduleringsfrekvens		A över/under, B över hörtröskeln					
		Ljudpar					
		9 A	9 B	10 A	10 B	11 A	11 B
		Hz 0,5	Hz 1	Hz 0,5	Hz 2	Hz 1	Hz 2
40 Hz	mv störning mm	26,6	33,3	28,3	42,8	29,2	44,3
	antal mest störda	4	8	2	10	1	11
	ljudens variation i dB	45-65	45-65	45-65	45-65	45-65	45-65
50 Hz	mv störning mm	25,6	30,9	30,0	43,5	32,5	44,2
	antal mest störda	2	10	1	11	1	11
	ljudens variation i dB	39-59	39-59	39-59	39-59	39-59	39-59
60 Hz	mv störning mm	16,8	26,2	22,4	33,3	31,5	36,4
	antal mest störda	0	12	1	11	1	11
	ljudens variation i dB	35-55	35-55	35-55	35-55	35-55	35-55
70 Hz	mv störning mm	15,7	21,0	10,7	28,5	17,7	28,7
	antal mest störda	1	11	0	12	1	11
	ljudens variation i dB	30-50	30-50	30-50	30-50	30-50	30-50

### Moduleringsfrekvenser

I Tabell 3 och 4 visas resultatet av störningsskattningar och rangordningen av ljuden inom ljudparen med olika moduleringsfrekvens. I Tabell 3 ges resultatet av bedömningarna av de ljudpar där det ena ljudet, A-ljudet, passerade tröskelnivån då det fluktuerade. I Tabell 4 ges samma data för de par där båda ljuden hela tiden låg över tröskelnivån.



Skattningarna av ljudparen med olika moduleringsfrekvenser (Tabell 5 och 6) analyserades med 2 \* 2 \* 3 trevägs variansanalyser med upprepad mätning i alla tre faktorer:

1. Två typer av ljudpar. I ena fallet låg A-ljudet över och B-ljudet under tröskeln. I det andra låg båda över tröskeln.
2. Moduleringsfrekvens, där ljudet A alltid hade en lägre frekvens än B.
3. Skillnaden i moduleringsfrekvens mellan A och B. Tre lägen med ökande skillnad mellan ljudparen 9, 11 och 10.

**Tabell 4.** Medelvärden av störningsskattningar för ljudpar med olika moduleringsfrekvenser samt antalet personer som betecknade ljudet som det mest störande i ljudparet för de par både A- och B-ljudet hela tiden låg över hörtröskeln.

Moduleringsfrekvens		A över, B över hörtröskeln					
		Ljudpar					
		9+ A	9+ B	10+ A	10+ B	11+ A	11+ B
		Hz 0,5	Hz 1	Hz 0,5	Hz 2	Hz 1	Hz 2
40 Hz	mv störning mm	44,3	46,7	46,6	57,7	48,1	57,5
	antal mest störda	4	8	1	11	0	12
	ljudens variation i dB	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70	50-70
50 Hz	mv störning mm	40,8	45,1	43,3	56,8	49,0	58,6
	antal mest störda	5	7	0	12	1	11
	ljudens variation i dB	44-64	44-64	44-64	44-64	44-64	44-64
60 Hz	mv störning mm	29,0	37,0	28,4	46,5	36,6	46,2
	antal mest störda	1	11	2	10	0	12
	ljudens variation i dB	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60	40-60
70 Hz	mv störning mm	20,7	30,8	24,6	43,2	32,2	45,1
	antal mest störda	1	11	1	11	0	12
	ljudens variation i dB	35-55	35-55	35-55	35-55	35-55	35-55

För alla frekvenser upplevdes A-ljuden med högre moduleringsfrekvens som signifikant mer störande än B-ljuden. För samtliga frekvenser blev också denna effekt signifikant mindre i det ljudpar där skillnaden i moduleringsfrekvens var liten (i ljudpar 9) än i de två andra ljudparen, som inbördes inte skilde sig signifikant från varandra.

Inte för någon frekvens påverkades denna effekt signifikant av att det ena ljudet passerade tröskelnivån.



## 4. Diskussion

Målsättningen för föreliggande undersökning var att testa hypotesen i vad mån nivåfluktuationer under/över hörperceptionströskelkurvan får ventilationsbuller att upplevas som mer störande. I undersökning ingick även målsättningen att på ett mer generellt sätt, studera nivåfluktuationers inverkan på störning under exponering för ventilationsbuller.

Av den genomförda analysen framgår att nivåfluktuationerna över/under hörtröskeln inte under några betingelser medförde några signifikanta förhöjda störningsupplevelser. Effekten av fluktuationer under/över tröskeln var i den mån sådana kunde noteras snarare i motsatt riktning, dvs störningsupplevelsen var då lägre än då fluktuationen genomgående låg över tröskeln. "On-off"-effekten, dvs passagen över eller under tröskeln för höruppfattbarhet innebär således i sig ingen förstärkning av störningsreaktionen. Den genomförda analysen tyder snarare på att risken för störningseffekter ökar i de fall där hela fluktuationen kan höras. Detta skulle kunna bero på att den kritiska faktorn är fluktuationens storlek och den minskar givetvis om ljudet delvis faller inom ett område under hörperception.

Denna slutsats stöds också av att störningsupplevelsen som väntat ökade då fluktuationsvidden var större både då den ekvivalenta dB(A)-nivån och högsta-nivåer hölls konstanta inom ljudparen. Lika dB(A)-nivåer eller lika-högsta nivåer kan således på grund av skillnader i fluktuationsvidd hos ett intermittert buller ge helt olika störningsreaktioner. Förhållandet kan vara en mycket väsentlig faktor att beakta såväl vid utvärdering av ventilationsbuller som i samband med åtgärder mot detsamma.

Resultaten visade också att ljudet var mer störande ju snabbare det fluktuerade. Denna slutsats om moduleringsfrekvensens inverkan på störningsupplevelse bör givetvis begränsas till det studerade frekvensintervallet (0,5 till 2 Hz). Den generella slutsatsen är att moduleringsfrekvensen för en fluktuerande ljudkomponent i bullret kan var en avgörande faktor för hur störande ventilationsbuller upplevs. Vilka frekvensområden för en modulation som skall betraktas som särskilt störande kräver dock ytterligare studier.

## 5. Sammanfattning

Landström U, Söderberg L, Nordström L, Kjellberg A. Underlag för åtgärder mot ventilationsbuller - inverkan av nivåfluktuationer på störningsupplevelse. Arbetslivsinstitutet, Undersökningsrapport 1995:29, sid 1-16.

Tolv försökspersoner exponerades för ett simulerat ventilationsbuller där ljudkaraktären systematiskt varierats för att analysera störningseffekten av nivåfluktuationer som låg över eller delvis passerade hörperceptionströskeln. Betydelsen av nivåfluktuation studerades vid konstanta dB(A)-nivåer eller högsta-nivåer. Störningsreaktionen blev starkast för ljuden med störst fluktuationsvidd. Ljuden där fluktuationen passerade tröskelnivån visade sig snarast vara mindre störande än de som hela tiden låg över tröskelnivån för hörupplevelse. Störningsreaktionen förstärktes med högre moduleringsfrekvens inom intervallet 0,5–2 Hz.

## 6. Summary

Landström U, Söderberg L, Nordström L, Kjellberg A. Measures against ventilation noise - the influence of level fluctuations on annoyance. National Institute of Working Life, Investigation report 1995:29, pp 1-16.

Twelve subjects were exposed to simulated ventilation noises of varying character in a study of the effect on annoyance of level fluctuations which occurred above or partly below the threshold for hearing. The effect of the fluctuations was studied at constant sound levels or top levels. The sounds with the largest fluctuations were rated as most annoying. Sounds that passed the threshold for hearing in their fluctuations tended to be less annoying than those that always lay above the threshold. Annoyance was strengthened as the modulation frequency was raised from .5 to 2 Hz.

## 7. Referenser

- Holmberg K, Nordström B, Landström U, Kjellberg A. *Effekter av ventilationsbuller med avseende på frekvenskaraktäristik och nivå*. Arbetsmiljöinstitutet, 1993 (Undersökningsrapport 1993:21).
- ISO266. Normal equal-loudness level contours. International Organization for Standardization, 1987.
- Landström U, Kjellberg A, Byström M. Acceptable levels of sounds with different spectral characteristics during the performance of a simple and a complex non-auditory task. *J Sound Vib* 1993; 160(3):533-542.
- Landström U, Kjellberg A, Löfstedt P, Söderberg L. *Ventilationsbuller på kontor. Ljudkaraktäristik, exponeringsnivåer och besvärsupplevelser*. Arbetsmiljöinstitutet, 1991 (Arbete och Hälsa 1991:11).
- Landström U, Kjellberg A, Söderberg L, Nordström B. *Studier av tonartat, bredbandigt samt maskerat ventilationsbuller avseende effekter på prestation, vakenhet och störningsupplevelse*. National Institute of Occupational Health, Solna, Sweden, 1991 (Undersökningsrapport 1991:27).
- Landström U, Söderberg L, Nordström B, Kjellberg A. *Underlag för åtgärder mot ventilationsbuller - vilka tonfrekvenser är minst och mest störande?* 1994, (Undersökningsrapport 1994:14).