

1999:20

Kunskapsöversikt om buller som underlag till riktlinjer för miljön i skogsmaskiner

Ulf Landström

ARBETSLIVSRAPPORT

ISSN 1401-2928 <http://www.niwl.se/arb/>

TEKNISK YRKESHYGIEN
PROGRAMCHEF: ULF LANDSTRÖM



Arbetslivsinstitutet

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning.....	1
Effekter av infraljud	1
Förekomst och egenskaper	1
Människans perception för infraljud.....	2
Effekter av infraljud på vår hörsel	2
Störningsupplevelser av infraljud.....	3
Fysiologiska effekter	4
Effekter av lågfrekvent buller	4
Inverkan av ljudnivå.....	5
Inverkan av spektralfördelning.....	5
Inverkan av exponeringstid.....	6
Inverkan av tidsfluktuationer	6
Effekter av mellanfrekvent buller	7
Temporär och permanent hörsel förändring	7
Hörselskadans utveckling.....	8
Fysiologiska effekter	8
Störningseffekter.....	8
Bullerstörning och bullrets fysikaliska egenskaper	10
Kringliggande faktorerers betydelse för bullerstörning.....	11
Effekter av ultraljud	13
Förekomst och egenskaper	13
Luftburet ultraljud.....	13
Kroppsburet ultraljud.....	14
Tillämpbara regelverk för skogsmaskiner	14
Arbetstagares bullerexponering	14
Buller i maskiner.....	15
Sammanfattning.....	16
Referenser	17

Inledning

Exponeringssituationen för buller i skogsmaskiner kan ofta beskrivas som mycket komplex. I exponeringsmönstret ingår ljud som kan variera med avseende på såväl frekvens som ljudtrycksnivå och tid. Bullret härrör ofta från ett stort antal alstringskällor. Viktiga alstringskällor för buller i skogsmaskiner kan vara; motorer, avgassystem, transmission, hydraulpumpar och hydraulventiler, luftkonditionering och fläktar, arbetsprocesser, kontakt mellan mark och hjul samt ljud från kommunikationsutrustning. Behoven av visuell överblick, vilket innebär stora glasytor, kan betyda svårigheter att begränsa bullret. Stomljudsöverföring och resonanser bidrar ofta till höga bullernivåer inne i hytten.

Till exponeringssituationen för buller i skogsmaskiner bör också läggas att de ökade kraven på specialkompetens som begränsar möjligheterna till arbetsrotation.

Exponeringstiderna för buller riskerar därför i många fall att bli relativt långa. Även kravet på effektiva utnyttjandetider för kostsamma maskiner riskerar att driva upp arbetstidens längd.

Förare till skogsmaskiner exponeras för såväl infraljud, lågfrekvent buller, mellanfrekvent buller som högfrekvent buller. Reaktionsmönstren inbegriper effekter på såväl hörselorganet som trötthet, störningsupplevelser och effekter på arbetsprestation. I följande översikt ges en beskrivning över reaktionsmönstren från de olika typer av buller som kan aktualiseras under arbete i skogsmaskiner. I översikten ingår även en sammanfattning av gällande lagstiftning och tillämpbara standarder.

Kunskapsöversikten skall ses som ett underlag till de ergonomiska riktlinjer som utarbetats för skogsmaskiner (Gellerstedt m fl 1998).

Effekter av infraljud

Förekomst och egenskaper

Infraljudet utgörs av akustiska vågrörelser med frekvenser under 22 Hz. Våglängden inom infraljudområdet varierar från 340 m (1 Hz) till ca 15.5 m (22 Hz).

I likhet med andra typer av ljud alstras infraljud av mekaniska rörelser i fasta, flytande eller gasformiga medier. I naturen kan infraljud framkallas av bl a åskväder, vindar, vulkanutbrott, jordbävning och vattenfall. Den exponering som människan idag utsätts för beror främst på en omfattande industrialisering och teknisk utveckling (Leventhall 1980). Som exempel på vanliga infraljudkällor i arbetsmiljön kan nämnas fordon, dieselmotorer, jetmotorer, kompressorer, fläktar, ventilationssystem, utsläpp av gas eller ånga under högt tryck, elektrodugnar, oljebrännare, maskiner med svängande delar och rörelser av vattenmassor i kraftstationer. Ljudtrycksnivåerna i närmiljön runt anläggningar av dessa slag påverkas starkt av uppkomna resonanser. Utformningen av maskinrum, förarhytter, manöverrum, arbetslokaler, ventilationskanaler m m spelar därför en stor roll i detta sammanhang (Landström 1995).

Infraljudemissionen i skogsmaskiner härrör i hög grad från fordonets motor, där varvtalen ofta ligger under 120 rpm. Vid dessa varvtal genereras inte sällan ett komplicerat ljudspektrum av toner under 20 Hz. Till imission i hytten bidrar även uppkomna vibrationer under körning på ojämnt underlag, där ytor i fordonet lätt kommer i svängning med ljudalstring under 22 Hz som följd. Ljudtrycksnivåerna i hytten kan förstärkas av resonanser i väggar, fönster eller andra större ytor.

Infraljudet dämpas endast i mycket ringa utsträckning under utbredning i luft och andra medier. De stora våglängderna innebär dessutom att avskärmningar endast i mycket begränsad utsträckning kan hindra dess utbredning.

Svårigheter vad gäller avskärmning av uppkommet infraljud, exemplifieras på ett uttalar sätt i skogsmaskiner. Utbredningsdämpningen kräver i sådant fall mycket kraftig stabilisering av ytor i fordonet. Besvärssupplevelser av buller från en infraljudkälla kan därför under ogynnsamma betingelser beröra ett mycket stort antal exponerade.

Människans perception för infraljud

För att uppfatta ljud inom infraljudområdet krävs höga ljudtrycksnivåer. Ju lägre frekvens desto högre nivå krävs för att man skall kunna höra ljudet (Johnson 1980, Landstöm m fl 1893a). Under ca 15 Hz kan distinkta toner inte urskiljas. Detta beror på hörselorganets struktur i innerörat. Människan saknar dock ej förmåga till perception via hörsel för även lägre infraljudfrekvenser (von Bekesy 1936, Yeowart m fl 1968, Yeowart 1971). Perceptionströsklarna för infraljud och frekvenser över 22 Hz. Tröskelkurvan inom infraljudområdet i själva verket en förlängning av hörtröskelkurva för högre ljudfrekvenser. Individuella variationer föreligger givetvis vad gäller upplevelsetröskeln för infraljud. Vissa individer uppfattar infraljudet bättre än andra (Okai m fl 1980).

Det bör påpekas att ljudtrycksnivåerna i en skogsmaskin ofta överskrider gränskurvan för perception. Ljudspektrat kan som tidigare framhållits beskrivas som ett komplicerat ofta tidsvarierat tonspektra, föranlett av variationer i motorvarvtalet och ett variabelt vibrationsgenererat ljudspektra.

Under 15 Hz uppfattas infraljudet inte som urskiljbara toner utan istället som återkommande, pulserande stötar eller tryckvågor. Perceptionen för infraljud under 15 Hz skulle därmed baseras på repeterande distortionseffekter i mellan- och innerörat, snarare än på hörupplevelser av rena infraljudtoner. I likhet med andra ljud kan även detta ljud maskeras av ljud med högre frekvenser (Johnson m fl 1974, Yamada m fl 1980, Landström m fl 1983b).

Infraljud kan i vissa fall framkalla vibrationer i kroppen. För att dessa kroppsvibrationer skall bli tillräckliga för att kunna uppfattas i exempelvis buk eller bröstregion krävs emellertid avsevärt högre ljudtrycksnivåer än de som gäller för hörupplevelser. Inom frekvensområdet 4-20 Hz krävs således nivåer omkring 130 dB. Under 4 Hz tycks 130 dB ej kunna framkalla rörelser tillräckliga för kroppspception (Slarve och Johnson 1975, Harris och Johnson 1978, Landström m fl 1983a).

En förutsättning för att infraljud skall framkalla kroppsvibrationer är att vävnaden innesluter gas. Som exempel på vävnader som mekaniskt lätt påverkas av infraljudets tryckvariationer kan nämnas lungor, bihålor, gasfyllda tarmar eller magsäck samt mellanörat.

Ljudtrycksnivåerna för infraljud i skogsmaskiner överskrider sällan nivåerna för perception via känsel.

Effekter av infraljud på vår hörsel

Infraljudets effekt på människa har varit föremål för diskussion sedan lång tid tillbaka (von Bekesy 1936). På grund av de ofta svårdefinierade hörupplevelser som framkallas av infraljud har intresset i stor utsträckning riktats mot eventuella hörselskador. Utförda TTS-tester, (Temporary Threshold Shifts dvs tillfällig hörselnedsättning), ger emellertid en svårtolkad bild. Resultaten kan sammanfattas så, att infraljudet endast i ringa utsträckning tycks påverka hörbarheten för frekvenser i området 250-8000 Hz. I de fall som hörselnedsättning har kunnat påvisas, har denna varit av kortvarig natur oftast under en timme (Anon 1973). Vid extrem infraljudexponering över 140 dB, tycks höruplevel-

sen för samtliga frekvenser över 125 Hz påverkas. Detta innebär således att hörselskadeeffekten av mycket höga infraljudnivåer kan identifieras via tonaudiometrisk analys, som normalt omfattar frekvensområdet 125-8000 Hz. Den mest påtagliga hörselnedsättningen sker inom området strax över 1000 Hz (Johnson 1975, French m fl 1966). Enligt vissa forskare framkallar 140 dB mellan 4 och 20 Hz en övergående hörsselförsämring på 10 dB vid frekvenser omkring 1000 Hz (Nixon och Johnson 1973).

De obehags- och smärtupplevelser som lokaliseras till örat och som framkallas av infraljud beror främst på en mekanisk överbelastning av mellanörats strukturer (Nixon 1973, Nixon och Johnson 1973, Johnson 1976). Gränsen för vävnadsskador i ett tidigare icke skadat mellanöra anses för 20 Hz ligga vid omkring 140 dB och för 2 Hz vid omkring 160 dB. Människor bör dock ej utsättas för mer än 150 dB, detta för att undvika skador på trumhinnan eller vävnadsskador i mellanörat (Johnson 1980).

I samband med infraljudexponering framhålls ofta obehagliga tryckupplevelser i örat. Obehagen tycks uppträda vid nivåer omkring 125-130 dB (Mohr m fl 1965, Edge m fl 1966, Johnson och von Gierke 1974, von Gierke m fl 1953, Slarve och Johnson 1975). Besvären kvarstår även en tid efter det att exponeringen upphört. Effekten kan fysiologiskt förklaras som ett ökat tryck i mellanörat på grund av en överproduktion av innerörevätska. Trycket försämrar för en tid även hörseln. Överskottet av innerörevätska försvinner dock så småningom vilket även leder till en normalisering av hörseln.

Risken för påverkan på hörsel på grund av infraljudexponering är mycket låg i skogsmaskiner. Nivåerna uppnår sällan gränsen för påverkan på hörseln.

Störningsupplevelser av infraljud

De första vetenskapliga bedömningarna av infraljud gjordes redan under första världskriget då man började misstänka att vissa negativa effekter kunde uppstå. Bland de första effekter på människan som påtalades var allmänna störningssymtom, bl a diffusa obehag, prestationsnedsättning, trötthet och sänkt koncentrationsförmåga. Osäkerheten i dessa resultat har ofta framhållits. Det är svårt att bedöma upplevelseeffekter vid såväl epidemiologiska som experimentella studier. Vissa samband mellan exponering för infraljud och störningar av olika slag anses dock påvisade. Förutsättningen för att störningseffekter skall kunna uppstå, är enligt flertalet forskare att exponeringsnivån ligger över hörperceptionströskeln.

Om detta är riktigt utgör hörtröskelkurvan även ett ungefärligt mått på lägsta nivåer för uppkomst av störningseffekter. Föreslagen störningskurva baseras huvudsakligen på detta samband mellan ljudtrycksnivå, hörupplevelse och effekt på människa.

Sambandet mellan störning och hörperception har redovisats i ett flertal forskningsrapporter. Undersökningarna visar även att skillnaden mellan lägsta uppfattbara nivå och den lägsta nivå som uppfattas som störande är liten inom infraljudområdet.

Enligt flertalet studier föreligger dessutom ett samband mellan störningsgrad och hörstyrkeupplevelse. Som påpekats tidigare leder en höjning av ljudtrycksnivån med 10 dB till en fördubbling av hörstyrkan och störningsgraden för högre frekvenser. Inom infraljudområdet tycks omkring 5 dB i vissa fall tillräckligt för samma upplevelseförändring. Störningskurvorna inom infraljudområdet följer med andra ord kurvorna för hörstyrkeupplevelser inom infraljudområdet (Johnson 1980, Borredon 1980, Leventhall 1980, Yamada 1980, Moller 1980, Okai 1980, Andresen och Moller 1983, Collins m fl 1972, Andresen och Moller 1983).

Vissa skillnader mellan infraljud och högre frekvenser kan framhållas. Bland annat tycks det vara svårare att anpassa sig till lågfrekvent buller och tolerera detta än att göra motsvarande för högfrekvent buller (Borredon och Nathie 1973, kyriakedes och Leventhall 1977). Källan till infraljudet är dessutom många gånger svårare att identifiera än alstringskällan bakom högfrekventa ljud. En sådan osäkerhet om varifrån ljudet kommer gör oftast att infraljudet upplevs som särskilt störande.

Buller i högre frekvensområden kan som tidigare påpekats ibland maskera hörupplevelserna av infraljud. En sänkning av dB(A)-värdet, som ju främst dimensioneras av ljud

inom högre frekvensområden, kan således innebära att lågfrekventa komponenter hörs tydligare och blir mer störande. Detta skulle kunna vara ett av skälen till att störningar av lågfrekvent buller oftast är mer påtagliga nattetid.

I skogsmaskiner förekommer nivåer över gränsen för perception vilket innebär att störningsupplevelser kan aktualiseras.

Fysiologiska effekter

Erfarenheter av fysiologiska effekter av infraljud under arbete är relativt få, framför allt saknas nästan helt säkra kunskaper om hur människan påverkas av långvarig exponering. Laboratorieundersökningar har därför varit viktiga för förståelsen av hur människan påverkas av infraljud.

Störningseffekterna och de fysiologiska effekterna är i många fall oberoende av varandra, men i många fall baseras störningen och klagomålen på upplevda kroppsliga förändringar snarare än på infraljudet i sig. I andra fall kan det faktum att man är störd givetvis leda till fysiologiska reaktioner (Grandjean 1969).

Bland de fysiologiska effekter av infraljud som främst diskuterats under de senaste åren kan nämnas förändringar i vakenheten. Flera undersökningar har visat att infraljud kan sänka vakenheten.

Monoton, dämpad och upprepad stimulering är ofta sövande, medan kraftig, oregelbunden stimulering ofta upplevs väckande. Laboratorieförsök och fältmässiga studier har visat att exponering för infraljud med ljudtrycksnivåer i närheten av hörtröskeln kan sänka vakenheten. Sömnighetseffekten tycks särskilt märkbar vid infraljudnivåer strax över hörtröskeln (Gavreau 1969, Gleen och Dunn 1968, Fecci m fl 1971, Landström m fl 1982 a, b). Vid höga ljudtrycksnivåer framkallas som väntat väckningseffekter.

Sömnighetseffekten följs av samtidiga sänkningar av blodtryck och puls, vilket är normalt i samband med insomning.

I praktiken exponeras vi vanligen för komplexa ljud, dvs breda frekvensband med inslag av växlande nivåer. Även när det gäller vakenhetseffekten av infraljud måste man beakta samtidigt förekommande ljud av högre frekvenser. Den trötthetsframkallande effekten av infraljud, i exempelvis fordonshytter eller manöverrum, har i senare undersökningar således visat sig hävas genom att personerna samtidigt exponerades för ljud av högre frekvenser (Lacey 1950, Liberson och Liberson 1966).

I likhet med resonemanget för störningsupplevelser föreligger även en risk för påverkan på fysiologiska reaktioner av infraljud. Gränsvärdet för denna form av påverkan, dvs perceptionskurvan, överskrids vid körning av skogsmaskiner.

Effekter av lågfrekvent buller

Lågfrekvensbuller återfinns idag i så gott som alla typer av innemiljöer; i bostäder, fritidslokaler, serviceinrättningar, skolor, sjukhus, fabrikslokaler, maskinrum, verkstäder, lagerlokaler, kontor, fordon, sammanträdesrum, undervisningslokaler, vilorum, manöverrum etc. Problemet berör därmed ett mycket stort antal människor, i arbete och under fritid med risk för störningseffekter (Persson Waye 1975).

Exponeringskällorna för lågfrekvent buller i skogsmaskiner härrör huvudsakligen från fordonets motor, fläktsystem, hydraulik eller andra drivenheter.

Klagomålen på lågfrekvensbuller har också ökat under senare år, samtidigt som insatserna mot problemen var mycket begränsade. Rekommendationer tillämpbara mot lågfrekvent buller finns idag utformade för yttre miljöer och bostäder, samt kontor, skolor och andra arbetsmiljöer främst inomhus. Det lågfrekventa bullerkällor som därmed är underkastade riktvärden från bl a naturvårdsverket, boverket, socialstyrelsen och

arbetskyddsstyrelsen avser exempelvis flyg, tågtrafik, vägtrafik, industrier, ventilationsbuller, tung industri. Påpekas bör emellertid att riktvärdena inte utformats specifik för lågfrekvent buller utan att tillämpningen mer indirekt kommit att koncentras på denna typ av buller eftersom detta buller dominerar i de yttre och inre miljöer som aktualiseras.

För skogsmaskiner finns således inget avgränsat tillämpbart regelverk för lågfrekvent buller. Utvärderingen av lågfrekvent buller i skogsmaskiner kompliceras dessutom av att det buller sällan utgör det dominanta. Buller av högre ljudfrekvenser präglar som regel såväl upplevelse som riskbedömning. Lågfrekvent buller i skogsmaskiner återfinns ändå som en utpräglad del i bullerproblematiken. Ett upptaget ljudspektra från hytten i en skogsmaskin innehåller så gott som alltid ansenliga komponenter av lågfrekvent buller. Det finns idag ett uttalat behov att effektivisera insatserna mot detta buller, skogsmaskiner inberäknade. Problematiken kompliceras dessutom av att insatserna i många fall ensidigt inriktats mot en sänkning av dB(A)-nivån, vilket i många fall endast marginellt eller ibland inte alls resulterat i någon begränsning av besvärsskildern för lågfrekvent buller.

Inverkan av ljudnivå

Hur störande ett lågfrekvent buller upplevs vara i arbete har utvärderats i studier från arbetsplatser där människor exponerats för lågfrekvent buller från ventilationssystem (Landström m fl 1991). Exponerade personer skattade bullret som "något störande" till "ganska störande" vid de två arbetsplatser där exponeringsnivån var ca 40 dB(A). Vid de två arbetsplatserna med 5 dB lägre medelnivå låg medelskattningen mellan "inte alls störande" och "något störande". Skillnaden i nivå medförde en tydligt avläsbar sänkning av genomsnittliga störnings-, prestations- och besvärnivåerna. Att en 5 dB sänkning av lågfrekvensbullernivån kan resultera i en sådan uttalad sänkning av besvärssupplevelsorna kan förklaras av förhållandet att en nivåförändring inom det lågfrekventa området påverkar hörstyrkan betydligt mer än vad som skulle vara fallet inom ett högfrekvent ljudfrekvensområde. Åtgärder mot ett lågfrekvensbuller i storleksordningen kring 5 dB kan således resultera i påtagliga vinster i form av sänkta besvärreaktioner. Det bör påpekas att störningsgraden för ett lågfrekvent buller, liksom andra typer av buller, i hög grad påverkas av vilken typ av arbete som utförs. Störningsupplevelsen för ett buller ligger som regel högre när ett komplicerat arbete med höga krav på koncentration utförs (Landström m fl 1995). Att ett koncentrationskrävande arbete i en skogsmaskin skulle kunna leda till en förhöjd risk för störningsupplevelse för lågfrekvent buller kan således inte uteslutas .

Hur störande ett lågfrekvensbuller upplevs beror dock inte enbart på ljudets dB(A)-nivå. Spektralfördelning, förekomsten av toner eller intermittenta komponenter i bullret, kan påverka störningsupplevelsorna på mycket uttalade sätt. Från undersökningar har framgått att den högsta acceptabla nivån ligger väsentligt högre (ca 7 dB högre) för ett lågfrekvensbuller med en pålagrad ton vid 30 Hz än för ett sk bredbandigt buller (Holmberg m fl 1993). I en annan undersökning konstaterades att toleransnivån var mycket högre för en ton än för ett brus vid 100 Hz, medan tendensen var den motsatta vid 1000 Hz (Landström m fl 1993).

Hittillsvarande försök visar med tydlighet att en sänkt ljudtrycksnivå kan vara en effektiv åtgärd för att minska besvärreaktioner pga ett lågfrekvensbuller, förutsatt att den inriktas på det ur påverkanssynpunkt mest kritiska frekvensområdet eller att åtgärden resulterar i en generell sänkning över hela bullrets spektralområde

Inverkan av spektralfördelning

Systematiska studier har nyligen genomförts med syfte att studera hur lågfrekventa toner, bredbandskomponenter och/eller tidsfluktuationer i ett lågfrekvensbuller interfererar med störningsreaktioner. Vid inställningar av det mest acceptabla ljudet ur störningssynpunkt

väljer personer ofta hellre en lägre tonfrekvens än då det minst acceptabla tonen skall väljas (Landström m fl 1994).

Studier har även genomförts för att testa störningseffekten från bredbandiga lågfrekventa ljud. Resultaten visade även att ett lågfrekvensbuller upplevs som mest acceptabelt då bredbandskomponenten ligger i den lägre delen av frekvensområdet.

Utfallet från bredbandsundersökningen visar dock på ett annorlunda samband mellan störning och bredbandsexponering jämfört med störning och tonexponering. Bredbandiga exponeringar ger en högre störningsrisk än tonexponering inom det lågfrekventa området.

Resultatet av undersökningen visar sammantaget att åtgärdsinsatserna mot ett lågfrekvensbuller för att minska effekterna på störning, prestation och ansträngning bör inriktas på högre frekvenskomponenter inom lågfrekvensområdet. En kraftigare generell sänkning av dB(A)-nivån baserad på insatser mot bullrets lågfrekventa delar kan medföra en mindre begränsning av besvärseffekterna än en mindre omfattande sänkning av dB(A)-nivån, baserad på en insats mot bullrets högre frekvenser. För skogsmaskiner innebär detta att utsikterna att lyckad i ett åtgärdsarbete ökar. Generellt sett ökar utsikterna att eliminera ett buller ju högre upp i frekvens som åtgärden kan inriktas på. Stabiliseringar av vibrerande komponenter eller ytor, utnyttjande av ljudisolerande material eller sk lågfrekvenshörselskydd kan vara exempel på åtgärder för att eliminera negativa effekter av lågfrekvent buller. Poängteras bör att hörselskaderisken inom det lågfrekventa området, i likhet med för infraljud, är förhållandevis lågt i skogsmaskinhytter.

Inverkan av exponeringstid

Exponeringstidens inverkan på störningsupplevelsen för ett lågfrekvensbuller har studerats i såväl autentiska exponeringssituationer på kontor som i laborativa testförsök (Landström m fl 1995, 998, Holmberg m fl 1993). Sambandet mellan skattad störningsupplevelse och tid under vilken bullret kunde höras visar på ett samband enligt vilket störningsupplevelsen ökar med ökad upplevelsetid. Förhållandet kan tolkas som att exponerade personer i mycket ringa eller ingen utsträckning alls habituerar eller adapterar sig till det lågfrekventa bullret. Habituering och adaptationsfenomen tycks genomgående starkare för högfrekventa ljud än för lågfrekventa (Landström m fl 1995, 1998). Arbetet i skogsmaskiner innebär som tidigare framhållits ofta långa exponeringstider. Under dessa relativa långa arbetsmoment förligger således ingen tillvänjning för det lågfrekventa bullret. Ljudet upplevs lika stark och därmed störande i början av ett körpass som i slutet av detsamma.

Förhållandet att störningsupplevelsen skulle varar korrelerad till upplevelsetid för ett lågfrekvensbuller har väckt idéer om möjligheter att maskera upplevelsen för ett ogynnsamt lågfrekvensbuller. Möjligheterna att via maskeringseffekter förbättra ljudklimatet i en miljö med lågfrekvensbuller tycks dock begränsade. Insatserna bör snarare inriktas på en mer generell nivå-sänkning av de delar av bullret som bidrar till den sammantagna ljudstyrkeupplevelsen.

Inverkan av tidsfluktuationer

Laborativa studier har entydigt visat att störningsupplevelsen, ansträngningsgraden och prestationen vid exponering för intermittenta ljud genomgående påverkas mer negativt än vid exponering för kontinuerliga ljud vid samma ekvivalentnivå (Landström m fl 1995). Studier av lågfrekvensbuller i autentiska miljöer är dock ännu mycket begränsade. Systematiska utvärderingar över sambanden mellan besvärssymptom och fluktuationer, har som väntat visat på en ökad risk för symptom med ökad vidd i nivåfluktuationen. Fluktuationer vid 2 Hz upplevs också mer störande än långsammare och snabbare. Förhållandet vad gäller fluktuationers inverkan på besvärreaktioner återspeglar som väntat således en ökad risk för påverkan med ökade psykofysiska förutsättningar för upplevelser av ljuden i fråga. Starka indicier talar för att lågfrekvensbullrets särskilda

störande effekter i många fall kan förklaras av de uttalade fluktuationer som ofta karakteriserar upplevelserna av denna typ av buller. Fluktuationer i ett lågfrekvensbuller kan utgöra orsak till markanta förhöjningar av besvärupplevelserna. Vikten av att på olika sätt motverka lågfrekvensbullrets fluktuerande karaktärer bör understrykas, i synnerhet i skogsmaskiner där fluktuationsgraden kan vara mycket hög på grund av varierat motorvarvtal eller varvtal på andra arbetsmoment i maskinen.

Effekter av mellanfrekvent buller

Med mellan frekvent buller avses här frekvensområdet mellan 200 och 18 000 Hz, dvs området över lågfrekvent buller och ultraljud. Inom detta område ligger det buller som i olika sammanhang brukar benämnas som hörbart buller. Denna benämning bör undvikas eftersom såväl lägre som högre frekvenser också är hörbara. Benämningen hörbart buller kan dock även tillämpas utifrån det faktum att frekvensområdet innefattar talljud och andra uppfattbara ljud som ljud som är av betydelse för människans tolkning av omgivningen. Inom detta frekvensområde ligger också människan bästa höruppfattbarhetsförmåga, dvs förhållandevis låga ljudtryck krävs för att ljuden skall uppfattas med hörseln.

Temporär och permanent hörsel förändring

Bestående permanenta hörselskador, sk PTS, kan uppstå genom kortvariga kraftiga exponeringar men även på grund av daglig exponering vid lägre nivåer. Tillfälliga nedsättningar i höruppfattbarhetsförmågan, sk TTS, kan på detta sätt övergå i permanenta hörselskador. Orsaken till dessa hörselskador ligger i påverkan på innerörats hårceller. Hörtröskelförändringen storlek utvecklas efter ett exponentiellt förlopp i förhållande till tiden för exponeringen. Återhämtningstiden efter en exponering har liknande förlopp. Effekterna i form av TTS och PTS anses vara starkt korrelerade. Lika stora temporära tröskeländringar skulle således kunna leda fram till lika stora permanenta tröskeländringar. Om ett buller ger två gånger så hög TTS effekt som ett annat buller, så är risken för en permanent hörselskada också två gånger så stor för detta ljud. Den individuella risken för en hörselskada skulle också vara korrelerad till den individuella förändringen registrerad som en TTS.

Den temporära tröskeländringen är linjär i förhållande till logaritmen för exponeringstiden. Studier har även visat att den temporära tröskelförändringen ökar linjärt med den genomsnittliga bullernivån från ca 80 dB upp till 130 dB.

Undersökningar har dessutom visat att återhämtningen av den temporära tröskeländringen också är linjär med logaritmen för tiden. Detta linjära samband gäller dock endast för TTS effekter upp till ca 40 dB. För TTS effekter större än detta blir återhämtningstiden väsentligt längre och kan i fallen med höga TTS effekter sträcka sig över dagar eller veckor.

TTS-effekter för skogsamaskinförare med bullerexponeringar kring 85 dBA, skall således betraktas som en omedelbar risk. Detta inte minst utifrån det faktum att exponeringstiderna många gånger kan vara långa. Vikten att bära hörselskydd under hela arbetspasset i samband med körning vid dessa nivåer, bör poängteras. Eftersom TTS-effektens storlek utvecklas som ett resultat av inte bara ljudtrycksnivån utan även exponeringstiden, är det av vikt att låta pauser i arbetet ske i så tysta miljöer som möjligt. Exponeringsnivåer kring eller över 85 dBA måste dock betraktas som ovanliga i moderna skogsmaskiner.

Vissa exponeringar har visat särskilt kritiska ur hörselskaderisypunkt. Vid exponering för toner eller smalbandiga anses hörselskaderisken högre än vid exponeringar för bredare frekvensband. Vid exponering för toner eller smalare band uppkommer tröskelförändringen främst inom ett hörområde motsvarande 0,5 till 1,5 ggr högre upp i oktav räknat jämfört med tonens frekvens. Man har också konstaterat att oregelbundna

ljud i vår omgivning utgör en mindre hörselskaderisk än mer regelbundna stadigvarande ljud.

Tonexponering och de förhållandevis långa stadigvarande exponeringarna, kan således utgöra en komplicerande faktor för skogsmaskinförare med avseende på hörselskaderisken.

Hörselskadans utveckling

Utvecklingen av hörselskador analyseras vanligtvis via utvärderingar av tonaudiometriska tester (Lidén 1985). Exponering för frekvensvarierat buller, dvs bredbandigt buller med inslag för olika frekvenskomponenter, leder i de fall där exponeringsnivån mätt i dB(A) ligger för högt eller där exponeringstiderna blir långa, till en typ av hörselnedsättning som maximeras kring frekvensområdet 4000 Hz. Anledningen till detta förhållande är att detta frekvensområde, förutom att vara det frekvensområde där örat uppvisar sin högsta känslighet för ljudvågor, utgör det område där örat lättast skadas. En begynnande hörselskada visar sig också tidigast inom detta frekvensområde, vilket ur individsynpunkt leder till en nedsättning i förmågan att uppfatta fram för allt konsonanter i det dagliga talet. I takt med att hörselskadan utvecklas vidare, sker nedsättningar i hörförmåga för allt högre men fram för allt lägre frekvenser, vilket ur upplevelsesynpunkt innebär att småningom även vokaler faller bort från upplevelsen av talljuden. Som tidigare påpekats ser förhållandet annorlunda ut vid exponeringar för toner eller smala frekvensband. I dessa fall sker hörselbortfallet i ett frekvensområde en till en och en halv oktav upp räknat från tonens frekvens.

Regelbundna hörseltester bör genomföras för skogsmaskinförare trots den förhållandevis låga risken för hörselskador vid arbete i dagens skogsmaskiner. Nedsättningar inom frekvensområdet kring 4000 Hz bör uppmärksammas med tidiga insatser för att hindra en vidareutveckling av en bygnande hörselskada. Detta att den tidiga hörselskadan inte uppmärksammas som en nedsättning på förmågan att höra andras tal utgör en särskild komplikation som ytterstligare förstärker betydelsen av regelbundna hörselkontroller.

Fysiologiska effekter

Upplevelser av buller kan via hörselorganet och hörselnerven, leda till påverkan gentemot ett antal fysiologiska reaktionsmönster. Reaktionsmönstret kan i flertalet fall beskrivas som olika former stressreaktioner. I detta reaktionsmönster ingår risker för effekter i form av förhöjt blodtryck, ökad puls, pupillutvidgning, avvärjningsrörelser, muskelspänning, minskade mag/tarmrörelser. Effekter i form av ändrad utsöndring av magsaft har också påvisats, liksom en ökad utsöndring av stresshormoner.

Reaktionsmönstren ovan utlöses vanligtvis endast vid nivåer över 75 - 85 dB(A).

Kortvariga impulsljud kan dock utlösa reaktionsmönstren även vid lägre nivåer.

Tillväjningen för stressreaktionsmönstren framkallade av buller är mycket låg, vilket givetvis ökar risken för utveckling av kroniska besvär efter mångårigt arbete i bullriga miljöer.

Senare studier har även visat på en ökad risk för stressrelaterade bullersymptom, där bullerexponeringen kombineras med annan mental och även fysisk stress. Att det ökade kravet på långvarig stadigvarande koncentration för skogsmaskinförare kan öka risken för TTS- och PTS-effekter och fysiologiska effekter, kan inte uteslutas.

Störningseffekter

Buller kan även föranleda problem på nivåer långt under de som kan ge upphov till hörselskador. Det icke önskvärda ljudet ger upplevelser som i sin tur påverkar vårt mentala svar, vårt beteende och ibland även våra normala fysiologiska reaktionsmönster. De metoder som idag används för att utvärdera bullret på arbetsplatser syftar i första hand till att ge en uppfattning om risken för hörselskador. Metoderna kan emellertid slå fel om man främst är intresserad av hur störande bullret är. En egenskap hos bullret som ökar risken för hörselskada gör inte nödvändigtvis bullret mer störande. Dessutom vet vi att störningssupplevelsen påverkas av många faktorer som inte ger något utslag på en bullermätare. Upplevelsen färgas av bullrets fysikaliska egenskaper men dessutom av en mängd andra kringliggande faktorer (Holmberg 1997, Kjellberg 1990).

När vi säger att bullret är störande menar vi som regel att vi upplever oss hindrade i en aktivitet på arbetsplatser eller under fritid. Ljudet ger subjektiva negativa upplevelser och icke-önskvärda reaktionsmönster som kan visa sig i form av försämrade förutsättningar till sömn, fritidsaktivitet eller att utföra ett arbete. Det finns idag klara bevis för att buller på olika sätt kan försämra prestationen i en rad situationer. Distraction, orienteringsreaktioner, maskering, aktiveringseffekter, mental trötthet, koncentration av uppmärksamhet, försvarsreaktioner och habituering, kan anges som exempel på beteendemönster som påvisats (Kjellberg 1990).

Aktiveringsnivåer

Det finns en optimal aktiveringsnivå för varje arbetsuppgift, under och över vilken prestationsförmågan försämras. Buller kan därför i vissa fall förbättra prestationsförmågan om vi börjar känna oss dåliga. En försämring vid bullerexponering inträffar å andra sidan om vi redan ligger på en stressad hög aktiveringsnivå. Aktiveringsnivån ligger genomgående lägre för en monoton uppgift än för en mer komplicerad vilket därmed gör människan olika bullerkänslig i olika situationer. För skogsmaskinföraren med höga krav på koncentration och uppmärksamhet finns således ett samband mot ljudexponeringen enligt vilket ljudnivån borde läggas förhållandevis lågt för att inte menligt påverka förarens förmåga att utföra sitt arbete.

Distraction

Den kanske mest uppenbara effekten av buller är att det kan distrahera oss, dvs vända vår uppmärksamhet från en aktuell uppgift. Ljud i vår omgivning får främst en sådan effekt då ljudet kommer överraskande eller plötsligt ändrar sin karaktär. Som exempel på distraherande ljud kan nämnas signaler, impulsljud från annan verksamhet än den egna och framför allt tal. Koncentrationskrävande verksamheter, för exempelvis skogsmaskinförare, kan således på ett avgörande sätt påverkas av ovidkommande ljud.

Mental trötthet

Risken för överbelastningar på hjärnans mentala funktioner ökar med graden på komplexitet i den fysiska miljön. Människans förmåga att genom mental ansträngning bibehålla en godtagbar prestationsnivå påverkas i synnerhet av stimuli från omgivningen som kräver eller påkallar vår uppmärksamhet. Att ljud från omgivning kan inverka stressande och därmed leda till mental trötthet har påvisats i ett flertal studier. Den mentala tröttheten kan visa sig såväl under som efter en stressande bullerexponering. Vissa typer av buller kan dessutom verka omedelbart tröttnande eller sövande genom stimulering av hjärnans sömncentra, vilket tidigare berörts m a p infraljudexponering. Det sätt på vilket den mentala tröttheten kan utvecklas bland skogsmaskinförare har inte studerats i systematiska studier. Risken för trötthet kan inte uteslutas utifrån förarmiljöns krav på

stadigvarande koncentration i kombination med komplexitet i den yttre exponeringen, inte minst buller.

Koncentration av uppmärksamhet

Svårigheterna att klara mer komplicerade uppgifter ökar som tidigare beskrivits då bulleraktiveringsnivån stiger. Buller och andra faktorer som påverkar aktiveringsnivån har visat sig kunna reducera förmågan att ta in och uppmärksamma information från omvärlden. Därmed minskar även den del av kapaciteten som borde riktas på den aktuella arbetsuppgiften.

Resultatet blir en prioritering av verksamheten mot den information som man uppfattar som viktigast. Konsekvensen blir en ökad risk för felhandlingar i situationer då i synnerhet komplicerade uppgifter skall utföras. För skogsmaskinförare skall detta samband bedömas utifrån den förändring som under senare år skett mot ett allt större krav på övervakning av såväl styr- och reglerfunktioner i hytten som nödvändigheten av kontroll över ett förhållandevis stort område utanför maskinen. Riskerna för felhandlingar på grund av en överbelastning med yttre fysiska exponeringar är uppenbar.

Maskering

Buller kan maskera ljud och därmed göra det svårare att uppfatta signaler som har betydelse för uppgiftens genomförande. Det som i första hand aktualiseras med avseende på denna effekt är givetvis maskering av tal. Maskeringseffekter kan emellertid verka störande även i andra situationer. Fordonskörning och arbete med handverktyg försvåras exempelvis avsevärt i de fall vi inte uppfattar motorljudet, eller verkstads ljudet, som akustisk feedback. Maskeringen av ljud begränsar möjligheterna att tolka och förstå vår omgivning.

Principen vid maskering är att olika ljudfrekvenser effektivast maskerar sitt eget frekvensområde. Talljuden vilka lokaliseras till frekvensområdet 500-3000 Hz maskeras därför mindre av ett brusljud i frekvensområdet under 500 Hz. Brusljud över 500 Hz maskerar å andra sidan avsevärt starkare trots att ljudnivån för detta maskeringsljud ligger på samma värde. För skogsmaskinföraren finns särskilda skäl att beakta maskeringseffekten från omgivande buller och välja signalljud på ett sådant sätt att dessa inte maskeras bort av andra ljud.

Bullerstörning och bullrets fysikaliska egenskaper

Störningsupplevelsen påverkas av bullrets fysikaliska egenskaper med samtidigt ofta en rad kringliggande faktorer. Till de fysikaliska egenskaper som främst påverkar vår upplevelse räknas frekvenssammansättning, nivå, varaktighet, variabilitet och maskering (Holmberg 1997).

Frekvenssammansättning

Som tidigare nämnts ligger de sk hörstyrkeupplevelsekurvorna närmare varandra inom det lågfrekventa området än i det känsligaste frekvensområdet kring 4000 Hz. Detta innebär konsekvenser med utvärderingen av störande buller. Den frekvensvägning som vägningsfiltret i bullermätaren konstruerats efter och som den hygieniska bedömning i dag bygger på, ger ett bullermått i dB(A). A-vägningen baseras på en filtrering enligt lika-hörupplevelsekurvan vid en relativt låg nivå, 40 dB-kurvan. Eftersom ljudupplevelsekurvorna ser annorlunda ut för högre nivåer innebär A-vägning en felaktig kvantifiering i dessa fall. dB(A)-värdet riskerar i själva verket att innebära en underskattning av upplevelsen och därmed stömningsgraden av lågfrekvent ljud,

exempelvis som tidigare omnämnts ett fordonsbuller. Risken för felaktiga beskrivningar uppstår även som tidigare framhållits i de fall där dB(A) kvantifierar störningsgraden från s k rena toner resp bredbandigt buller. Rena toner i det högfrekventa området upplevs som regel betydligt mer störande än ett bredbandigt buller, likvärdiga bullemnivåer till trots (Hellman 1985, FAR 1969, Pearson m fl 1975). För skogsmaskinförare innebär således den tonala karaktären i exponering inom det mellanfrekventa området, en ökad risk för bullerstörning till skillnad från förhållandet inom det lågfrekventa området.

Bullernivå

Reducerat avstånd upplevelsekurvorna emellan för fallande frekvens, innebär att förändringar i ljudtrycksnivå upplevs olika inom olika frekvensband. 10 dB ökning för frekvensen 1000 Hz innebär en fördubbling i upplevd styrka. 10 dB ökning för frekvenser under 100 Hz innebär å andra sidan att ljudet upplevs som 4-5 ggr starkare (Dange m fl 1994, Scharf 1978). Skillnaderna i upplevelsegrad åtföljs vanligtvis av motsvarande skillnader i störningsgrad. Det finns skäl att misstänka att nivåvariationer i exempelvis en skogsmaskin, skulle utgöra en särskild komplikation m a p bullerstörningsrisken.

Varaktighet

För alla sinnesintryck krävs en viss minsta simuleringstid för att full upplevd styrka skall uppstå. Under dessa korta minitider byggs upplevelsen gradvis upp. För buller gäller integrationstider på ca 0.1-0.5 sek. Ett impulslyd som varar 0.05 sek upplevs svagare och verkar därför även mindre störande, än ett ljud som varar 0.2 sek, även om bullermätaren visar på samma ljudtrycksnivå (Little och Marby 1969, Parry och Parry 1972).

Längre exponeringstider innebär som regel en ökad risk för störningsupplevelser (Landström m fl 1998). Vid långa exponeringstider i exempelvis en skogsmaskin, påverkas upplevelsen och störningsgraden av habituering och adaptationsfenomen som för i synnerhet högre ljudfrekvenser, kan innebära att ett ljud upplevs som allt mindre störande efter tids exponering. För lågfrekvent buller råder som tidigare beskrivits, ett annat omvänt förhållande.

Variabilitet

Buller som varierar mellan höga och låga nivåer medför mindre risk för hörselskada än kontinuerligt buller vid samma nivå, förutsatt att ljudet inte når hörselskadliga toppnivåer. Beträffande subjektiva värderingar och störningsgrad råder ett omvänt förhållande. Ett intermitterant buller, exempelvis trafikbuller, upplevs vanligen tvärtom som mer störande än ett kontinuerligt buller trots samma ljudnivåer (Fuller och Robinson 1975, Namba och Kowano 1979, Poulson 1991). Ljud med korta stigtider upplevs som mer störande ju snabbare ljudtrycksnivån stegras. Extremt korta stigtider riskerar att utlösa stressreaktioner.

Ljud som stiger långsamt i nivå och faller snabbt upplevs mer störande än ljud som stiger snabbt och faller långsamt, samma ekvivalenta ljudnivåer till trots. Det starkt tidvarierade bullret i en skogsmaskin leder således till en ökad risk för störningsupplevelser.

Kringliggande faktorerers betydelse för bullerstörning

Bullrets förmåga att framkalla störning bestäms förutom dess fysikaliska egenskaper dessutom av en rad andra kringliggande faktorer. Till dessa räknas pågående aktivitet, förutsägbarhet och kontrollerbarhet, inställning till och föreställning om bullerkällan,

anspråksnivåer och åtgärdsalternativ samt individuella faktorer. Hur en skogsmaskinförarens störningsupplevelser påverkas av nedanstående faktorer kan variera från tillfälle till tillfälle (Kjellberg 1990).

Pågående aktivitet

De aktiviteter som gör buller särskilt störande är i första hand de, där man är beroende av att ta in information via hörseln. Vanligen helt enkelt därför att maskeringseffekter gör uppgiften svårare. Avgörande för om man skall störas av buller är också dess förmåga att fånga vår uppmärksamhet. För det första måste det vara möjligt att uppfatta ljudet. För det andra beror det på hur engagerad man är i den pågående uppgiften. Ju mer engagerad man är, desto mindre är risken för att man skall bli störd av ljudet. Å andra sidan ökar risken för bullerstörning med ökad svårighetsgrad i uppgiften. Låga dB(A)-nivåer kan således ibland ge kraftigare bullerstörning än höga beroende på arten av pågående verksamhet.

Inställning och föreställning om bullerkällan

Våra reaktioner på ljud påverkas på ett positivt eller negativt sätt av vår inställning till ljudkällan. Skillnader i störningsgrad beroende på inställning och föreställning har dokumenterats i en rad studier av buller i vår miljö. Människan har vanligtvis lättare att tolerera höga bullernivåer från en källa som i någon bemärkelse är kopplad till en angelägen verksamhet för vår egen del, än buller från en källa som vi uppfattar som mindre angelägen.

Förutsägbarhet och kontrollbarhet

Studier har visat att förväntade stressmoment leder till svagare fysiologiska och psykologiska reaktioner än överraskande moment. Ljud som alstras eller förändras på ett oförutsägbart sätt upplevs därför också vanligtvis som mer störande än ett förutsägbart buller. Ljud skapat av vår egen verksamhet upplevs i allmänhet som mindre störande än ljud man inte har kontroll över. Ljudet från den egna verksamheten kan exempelvis ibland vara lättare att tolerera än ett okontrollerbart ljud från en annan verksamhet. Detta trots att det egenproducerade ljudet vid en jämförelse är högre än det ljud som vi uppfattar som störande

Anspråksnivåer, åtgärdsalternativ och individuella faktorer

Anspråksnivåerna på vår omgivning varierar från situation till situation. De tillfälliga och varierande kraven på ljudmiljön blir därför också många gånger individbundna. Oundvikligt buller accepteras som regel inom vissa toleransgränser. Buller som däremot med rimliga insatser och åtgärder anses kunna sänkas, upplevs å andra sidan vanligen som mer irriterande.

Forskningen kring individuella skillnader i störningsgrad visar å andra sidan att ålder, kön, personlighet och andra stabila personlighetsegenskaper inte räcker för att identifiera dem som reagerar speciellt starkt på buller. Störningsgraden i en större grupp människor följer vanligtvis normalfördelningskurvan. Hörselskadade personer och personer otränade för sin arbetsuppgift, tillhör vanligen grupper med större bullerstörningsbenägenhet.

Effekter av ultraljud

Förekomst och egenskaper

Med ultraljud avses ljudfrekvenser över 18000 Hz. Ultraljudsproblematiken kan ur såväl fysikalisk som biologisk synpunkt indelas i två olika exponeringssituationer. Uppdelningen baseras framför allt på ljudets olika utbredningsförmåga i luft respektive fast eller flytande materia. Man talar om luftburet ultraljud och kroppsburet ultraljud.

Ett antal exempel på arbeten och miljöer med risk för ultraljudexponering, exemplifieras i figur 15. Exponeringsnivåerna i de olika fallen varierar avsevärt beroende på effekten hos alstringskällan, avstånd till alstringskällan och riktningsförhållanden. Den eventuella exponeringseffekten är dessutom i hög grad beroende av den aktuella exponeringsfrekvensen. I kategorin luftburet ultraljud ingår exponeringar med ljudfrekvenser vanligtvis under 50000 Hz, dvs där ultraljudet inte har någon nämnvärd utbredning i rummet och där individen inte är i direkt beröring med den ultraljudalstrande ytan eller mediet. I kategorin kroppsburet ultraljud ingår exponeringar där man har direktkontakt med utrustning eller den yta från eller i vilken ultraljudet alstras. I det senare fallet aktualiseras såväl höga som låga ultraljudfrekvenser (REF).

Ultraljudets betydelse för skogsmaskinförarens arbetsmiljö är i de allra flesta fallen av marginell betydelse. Påverkan och risker kopplade till bullermiljön, föranleds i väsentligt större utsträckning av frekvenser under 18 000 Hz. I nedanstående kapitel ges därför endast en kortare sammanfattning av förekomst, egenskaper och risker.

Luftburet ultraljud

Beträffande luftburet ultraljud har intresset huvudsakligen inriktats på effekter på hörseln, ökad psykisk belastning och effekter av uppvärmning.

Överstimulering med ultraljud kan framkalla svårdefinierbara upplevelser i form av tryck eller värme i örats inre delar (Acton och Carson 1967). Intresset för effekter på hörselorganet har dock huvudsakligen inriktats på frågan om ultraljud kan försämra förmågan att uppfatta ljud under 10 kHz. Det är ännu ej helt klarlagt om ultraljudet kan framkalla bestående hörselnedsättning. Kortvariga hörselnedsättningar har noterats i samband med höga ljudtrycksnivåer i närheten av 20 kHz (Smith 1967, Acton och Carson 1967, Parrack 1966, Knight 1968).

Ett annat område som uppmärksammas är de subjektiva symptom som ultraljudet i vissa fall kan framkalla. Frågan om ultraljudets medicinska effekter aktualiserades i slutet av 1940-talet, i samband med diskussionerna kring den s k "ultraljudsjukan" (Allen och Rudnick 1947).. Med denna åkomma avsågs de symptom som förekom bland flygplåtsernas markpersonal, och då främst den personal som arbetade i närheten av flygplanens jetmotorer. Symtomen bestod i trötthet, huvudvärk och illamående och antogs ha samband med det ultraljud som uppstod från jetmotorernas luftintag. Liknande symptom har sedermera påvisats hos personal verksam nära ultraljudstvättar, ultraljudssvetsar med mera.

Att ultraljud kan leda till uppvärmning av kroppens vävnader har varit känt sedan länge. Detta utnyttjas vid terapeutisk användning då ultraljudskällan appliceras direkt på kroppen i syfte att värma. I arbetslivet utgör det luftburna ultraljudets uppvärmningseffekt ett mycket litet problem.

Kroppsburet ultraljud

Risken för vävnadsskador är påtaglig främst när ultraljudet sprids med direkt kontakt in i kroppen. I detta fall förekommer risk för såväl omedelbara värmeeffekter som mekanisk påverkan (Esche 1952). Båda dessa effekter utgör resultatet av en energiabsorption där ultraljudet lämnar ifrån sig energin till vävnaden.

Energiabsorptionen är mycket komplex vid ultraljud och varierar avsevärt mellan vävnadstyper. Den är exempelvis mycket högre i benvävnad och ögon än i fettvävnad. Därmed blir även riskbedömningen svår att genomföra, vilket delvis förklarar avsaknaden av normer och gränsvärden för det kroppsburna ultraljudet i arbetslivet. Uppvärmningen vid en utifrån riktad kroppsburen ultraljudexponering blir mycket olika på olika djup i kroppen. Till detta kommer att nedkylningen i hudlager och via blodcirkulationen varierar starkt i olika kroppsdelar. Exponering för ultraljud kan leda till en relativt kraftig temperaturhöjning i den ytliga huden. Temperaturökningen reduceras emellertid inåt hudlagret. Om ultraljudet exempelvis når en djupare liggande muskelvävnad sker dock en temperaturökning på grund av högre energiabsorption i denna vävnad. Längre in i muskelvävnaden sjunker temperaturen på nytt. Om ultraljudet så småningom skulle penetrera benvävnad, skulle detta kunna innebära en mycket dramatisk temperaturökning djupare in i kroppen (Schwan m fl 1963, Goldman och Heuter 1957, Dussik m fl 1958). Effekterna från ultraljudet på de olika vävnadslagren beror således på de olika energiabsorberande egenskaperna hos vävnaderna ifråga.

Det vi idag vet om vävnadsskador förorsakade av ultraljud, baseras i huvudsak på den medicinska forskning som syftat till att klarlägga eventuella bieffekter vid terapeutisk och diagnostisk användning av ultraljud. De resultat som då framkommit har i huvudsak baserats på djurförsök.

Behovet av ökade kunskaper för att definiera riskerna med kroppsburet ultraljud i arbetslivet måste framhållas. Hygieniska anvisningar liksom mättnings- och analysförfaranden för det kroppsburna ultraljudet bör utvecklas.

Tillämpbara regelverk för skogsmaskiner

För kontrollförfarandet m a p buller i skogsmaskiner finns följande tillämpbara regelverk:

AFS 1992:10 "Buller"

AFS 1985:6 "Motorredskap och traktorer" med ändringskungörelserna AFS 1994:3 och 1994:13.

AFS 1994:48 "Maskiner och vissa andra tekniska anordningar"

Arbetstagares bullerexponering

Bullerexponeringen för arbetstagare regleras av Arbetskyddsstyrelsens författningssamling AFS 1992:10 "Buller".

Högsta tillåtna bullerexponering är 85 dB(A) ekvivalent ljudnivå under en 8-timmars arbetsdag. Högre nivåer kan tillåtas under kortare tider under förutsättning att den dagliga bullerexponeringen inte överstiger 85 dB(A). Som exempel kan nämnas att om man endast arbetar i bullret under fyra timmar per dag tillåts 88 dB(A) under den tiden. I en bullernivå på 100 dB(A) tillåts endast arbete i 15 min per dag. Den maximalt tillåtna ljudnivån är 115 dB(A).

För impulsljud gäller en högsta tillåten nivå på 140 dB(C).

För infraljud finns rekommenderade nivåer i tersband. För ultraljud finns rekommenderade högsta nivåer, även dessa uttryckta i tersband.

För att motverka störningseffekter och minimera risken för hörselskada finns tre rekommenderade riktvärden angivna; 80, 60 och 40 dB(A) där 80 dB(A) kan anses tillämpligt på skogsmaskiner.

I föreskrifterna finns även angivet att exponeringsnivån skall sänkas till lägsta praktiskt möjliga nivå med hänsyn till teknisk utveckling och möjligheterna att begränsa bullret.

Målsättningen för framtida bullernivåer finns formulerad i bl.a. "Handlingsplan mot buller" SOU 1993:65 samt propositionen 1993/94:215. Här föreslås att riktvärdet 80 dB(A) för buller i arbetsmiljön sänks till 70 -75 dB(A).

Buller i maskiner

För buller i skogsmaskiner gäller två kungörelser; AFS 1985:6 "Motorredskap och traktorer" med ändringskungörelserna AFS 1994:3 och 1994:13 samt AFS 1994:48 "Maskiner och andra tekniska anordningar" vilken baseras på maskindirektivet 89/392/EEG.

AFS 1985:6 gäller efter ändring i AFS 1994:3 endast för skogsbrukstraktorer. Alla övriga skogsmaskiner faller under AFS 1994:48.

För skogsbrukstraktorer gäller enligt AFS 1985:6 att ljudnivån i hytten får uppgå till högst 85 dB(A). Nivån ska ha fastställts vid typkontroll genom mätning enligt OECD-standarden "Standard Code for the Official Testing of Agricultural Tractors".

För maskiner som faller under AFS 1994:48 gäller bl.a. att uppgifter om maskinens bullernivå ska finnas i bruksanvisningen. Följande ska redovisas:

- Ekvivalent kontinuerlig A-vägd ljudtrycksnivå på operatörsplats om denna överstiger 70 dB(A). Om nivån understiger detta värde behöver bara anges att så är fallet.
- C-vägd toppvärde för ljudtrycket om detta överstiger 63 Pa (130 dB relaterat till 20 µPa)
- Ljudeffektnivå från maskinen om den ekvivalenta kontinuerliga ljudtrycksnivån på operatörsplats överstiger 85 dB(A).

Mätning av bullernivån kan göras enligt s.k. harmoniserade standarder eller med annan för maskinen lämplig metod. Om harmoniserade standarder tillämpats vid mätningen förutsätts de grundläggande hälso- och säkerhetskraven vara uppfyllda. Om annan metod använts åligger det tillverkaren att visa att den använda metoden är i enlighet med föreskrifternas krav. Tillverkaren ska också ange maskinens driftförhållanden under mätningen samt vilka mätmetoder som använts. Tillverkaren kan själv mäta och certifiera maskinen. Någon typkontroll krävs alltså inte.

Harmoniserade EN -standarder finns på tre olika nivåer A-, B- och C-nivå. A-nivån är grundläggande medan B-nivån är mer specifik men tillämpbar på de flesta maskinkategorier. Här finns exempelvis standarder för mätning av buller på operatörsplats. För närvarande finns följande standarder för mätning av buller på operatörsplats: SS-EN-ISO 11200, 11201, 11202, 11203 och 11204. C-standarder gäller för specifika maskingrupper. Där specificeras bl.a. vilka B-standarder som är tillämpliga, driftförhållanden vid mätningen och mätpunkternas läge.

Många C-standarder är fortfarande under utarbetande. I avvaktan på dessa tillämpas därför ofta ISO-standarder eller nationella standarder. Standarder finns också för hur bullernivån ska deklarerars och verifieras

Sammanfattning

Landström Ulf. Kunskapsöversikt om buller som underlag till riktlinjer för miljön i skogsmaskiner. Arbetslivsrapport.

Exponeringssituationen för buller i skogsmaskiner kan beskrivas som mycket komplex. I exponeringsmönstret ingår ljud som kan variera högst avsevärt såväl med avseende på frekvens, ljudtrycksnivå som tid. Bullret härrör ofta från ett stort antal alstringskällor. Förare till skogsmaskiner exponeras därför för såväl infraljud, lågfrekvent, mellanfrekvent som högfrekvent buller. Arbetsituationen karaktäriseras av höga krav på koncentration med återkommande ofta långa arbetsmoment. Reaktionsmönstren inbegriper effekter på såväl hörselorganet som trötthet, störningsupplevelser och effekter på arbetsprestation. Rapporten utgör en kunskapsöversikt som underlag till tidigare utarbetade riktlinjer för miljön i skogsmaskiner.

Referenser

Acton W I (1974) The effects of industrial airborne ultrasound on humans. *Ultrasonics*, 124-127.

Acton W I, Carson M B (1967) Auditory and subjective effects of airborne noise from industrial ultrasonic sources. *Brit J Indust Med* 24:297.

Allen C H, Rudnick I A (1947) Powerful High Frequency Siren. *J Acoust Soc Am* 20:857.

Andresen J, Møller H (1983) Annoyance of infrasound. *Proceedings from Intern-Noise 83*, vol II.

Anon G (1973) Public health and welfare criteria for noise. *UIS E.P.A. Report 550/9 – 73-002*.

Bekesy G von (1960) *Rapport i Experiments in Hearing*, ed. E.G. Wever McGraw-Hill, New York.

Borredon P, Nathie J (1973) The psychological effects observed on man exposed to an infrasonic level of 130 dB. Report av the International Colloquium of Infrasound held in Paris.

Borredon P (1980) Physiological effects of infrasound in our everyday environment. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.

Broner N (1978) The effects of low frequency noise on people – a review. *J. Sound Vib.* 58.

Collins S J, Robinson, D W, Whittle L O (1972) The audibility of low frequency sounds. *J. Sound Vib.* 21, no 4.

Dange, A.D., Warm, J.S., Weiler, E.M., Dember, W.N. Loudness adaptation: Resolution of a psychophysical enigma. *The Journal of General Psychology.* 1994; 20, 17-243.

Dussik K T, Fritch D J, Kyriazidon M, Sear R S (1958) Measurement of Articular Tissues with Ultrasound. *Amer J Phys Med* 37:160.

Esche R (1952) Untersuchungen der Schwingungskavitation in Flüssigkeiten. *Acustica*, 2 AB, 208.

Edge P M, Mayes W H (1966) Description of langley low frequency noise facility and study of human response to noise frequencies below 50 cps. *NASA TN D-3204*.

FAR 36. Federal aviation regulation Part 36. 1969.

Fecci R, Bartelemy R, Bourgoïn J, Mathia A, Eberle H, Moutel A, Jullien G (1971) Effects of infrasound on the organism. *La Medicina del Lavoro*, 62.

French B O, McBrayer R O, Feddersen W E, Pesman G J, Billingham (1966) Effects on low frequency pressure fluctuations on human subjects. *NASA TN-3323*.

- Fuller, H.C., Robinson, D.W. Temporal variables in the assessment of an experimental noise environment. NPL Acoustics, British A R C, Rept Ac-72. 1975.
- Gellerstedt S, Almqvist R, Attebrandt M, Myhrman D, Wikström BO, Winkel J. (1998). Skogsforsk, Stiftelsen Skogsbrukets Forskningsinstitut.
- Gierke H E von, Davis H, Eldredge D H, Hardy J D (1953) Aural pain produced by sound. Benox Report, Contract N6cri-020, Task Order 44, ONR Project No 144079, University of Chicago, December.
- Grandjean E (1969) Précis d'ergonomi. Organisation physiologique du travail. Dunod ed. Paris.
- Goldman D E, Hueter T F (1957) Tabular Data of the Velocity and Absorption of High Frequency Sound in Mammalian Tissues. J Acoust Soc Amer 29:655.
- Harris C S, Sommer H C, Johnson D L (1976) Review of the effects of infrasound on man. Aviat. Space Environ. Med. 47.
- Harris C S, Johnson D L (1978) Effects of infrasound on cognitive performance. Aviat. Space Environ. Med 49(4).
- Hellman RP. Perceived magnitude of two-tone complexes: Loudness, annoyance, and noisiness. J Acoust SocAm 1985;77:1497–1504.
- Holmberg K, Nordström B, Landström L, Kjellberg A. Effekterna av ventilationsbuller med avseende på frekvenskaraktäristik och nivå. Arbetsmiljöinstitutet, Undersökningsrapport, 1993:21.
- Holmberg K, Landström L, Kjellbergh A. Effects of ventilation noise due to frequency characteristic and sound level. Journal of Low Frequency Noise and Vibration. Vol 12, 115 – 122, 1993.
- Holmberg K. (1997). Critical Noise Factors and their Relation to Annoyance in Working Environments. Doctorial Thesis, Luleå University.
- Johnson D L (1973) Effects of infrasound on respiration. Paper presented at Aerospace Medical Association Meeting, May.
- Johnson D L, Gierke H E von (1974) The audibility of infrasound. Presenterat vid Acoustical Society of America Fall Meeting, November.
- Johnson D L (1975) Auditory and physiological effects of infrasound. Inter-Noise, Sendei, 475-482.
- Johnson D L (1976) Exposure of four chinchillas to infrasound. Research Memo dated March, AMRL, WPAFB OH.
- Johnson D (1980) The effects of high level infrasound. In Conference on Low Frequency Noise and Hearing, Aalborg, May.
- Kjellberg A. (1990). Inte bara hörselskador. Arbete och Hälsa, Arbetlivsinstitutet.
- Knight J J (1968) Effects of airborne ultrasound on man. Ultrasonics 39-41.
- Kyriakides K, Leventhall H G (1977) Some effects of infrasound on task performance. Journal of Sound and Vibration 50(3).

- Lacey J I (1950) Individual differences in somatic response patterns. *J. Comp. Physiol.* 43.
- Landström U. Human exposure to infrasound. In *Encyclopedia of Environmental Control Technology*, Vol 7, Ed. N Cheremisinoff, Gulf Publishing Comp, 1995.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqwist M, Liszka L, Söderberg L (1981a) Fysiologiska effekter framkallade under exponering för infraljud. Undersökningsrapport 1981:4, Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqwist M, Liszka L, Söderberg L (1981b) Laboratorieförsök rörande fysiologiska effekter av infraljud. I. Försökspersoner med yrkesrelaterad infraljudexponering. II. Kvinnliga försökspersoner. Undersökningsrapport 1981:34, Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqwist M, Liszka L, Söderberg L (1982a) Effekter på människa framkallade under exponering för tre olika infraljudfrekvenser 6, 12 och 16 Hz. Undersökningsrapport 1982:4. Arbetarskyddsstyrelsen
- Landström U, Danielsson Å, Lindmark A, Lindqwist M, Liszka L, Söderberg L (1982b) Exponering för tre olika infraljudnivåer, 95, 110 och 125 dB(lin) – effekter på människa. Undersökningsrapport 1982:24, Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Lundström R, Byström M (1983a) Perception och sänkt vakenhet under exponering för infraljud. *Arbete och Hälsa* 1983:10.
- Landström U, Byström M (1983b) Tröskelnivåer för infraljud avseende effekter på människan. Undersökningsrapport 1983:46, Arbetarskyddsstyrelsen.
- Landström U, Kjellberg A, Byström M. (1993). Acceptable levels of sounds with different spectral characteristics during the performance of a simple and a complex nonauditory task. *J Sound vIB* 160, 533-542.
- Landström U, Söderberg L, Nordström B, Kjellberg A. (1994). Measures against ventilation noise – which tone are most and least annoying. *J Low Freq Noise Vib*, 13, 81-87.
- Landström U, Kjellberg A, Byström M. (1995). Acceptable levels of tonal and broad band repetitive and continuous sounds during the performance of nonauditory tasks. *Percept Mot S KILSS*, 81 803-816.
- Landström, U., Kjellberg, A., Söderberg L. Spectral character, exposure levels and adverse effects of ventilation noise in offices. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. 1991; 14, 173179.
- Landström , U., Holmberg, K., Kjellberg, A., Söderberg, L. Tesarz, M. Exposure time and its influence on noise annoyance at work. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. 1995; 10, 83-91.
- Landström U, Kjellberg A, Söderberg L. Noise annoyance at different times of the working day. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*. Vol 17, 35 – 41, 1998.
- Leventhall H G, Kyriakides K (1974) Acoustically induced vibrations of the body. In *Conference of the U.K. Group on Human Response to Vibration*, Yeovil, September.
- Leventhall H G (1980) The occurrence, measurement and analysis of low frequency noise. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.

- Little, J. W., & Mabry, J. E. Sound duration and its effect on judged annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 1969. 2, 247-262.
- Liberson W T, Liberson C W (1966) EEG records, reaction time, eye movements, respiration and mental concentration during drowsiness. *Recent Adv. Biol. Psychiat.* 8.
- Lidén G. *Audiologi*, Almqvist & Wiksell, 1985.
- Mohr G C, Cole J N, Guild E, Gierke H E von (1965) Effects of low frequency and infrasonic noises on man. *Aerospace med* 36.
- Møller H (1980) The influence of infrasound on task performance. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Møller H, Andresen J (1983) Loudness of infrasound. In *Proceedings from Inter-Noise 83*, vol II.
- Namba, S., Kuwano, S. An experimental study on the relation between long-term annoyance and instantaneous judgement of level-fluctuating sounds. In: S. Czarnecki (Eds.), *Proceeding of Internoise 79*. Inst of Fundamental Technology Research, Polish Acad of Science. 1979; 1, 837-842.
- Nixon C W, Johnson D L (1973) Infrasound and hearing. *Proceedings of International Conference on Noise as a Public Health Hazard*, Dubrownik, May.
- Nixon C W (1973) Human auditory response to intense infrasound. *Proceeding of the Colloquium of Infrasound*. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, September.
- Okai O, Saito M, Taki M, Mochizuki A, Nisiwaki A, Tori T, Fujio M (1980) Physiological parameters in human response to infrasound. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*, Aalborg, May.
- Parrack H O (1966) Effect of airborne ultrasound on humans. *Int Audiology* 5:294.
- Persson Wayne K (1995). On the effects of low frequency noise. Doctorial thesis, Göteborgs Universitet.
- Parry, H. J., & Parry, J. K. . The interpretation and meaning of laboratory determinations of the effect of duration on the judged acceptability of noise. *Journal of Sound and Vibration*, (1972), 20, 51-57.
- Pearsons KS, Bishop DE, Horonjeff RD. Judged noisiness of modulated and multiple tones in broad-band noise. *J Acoust SocAm* 1969;45:742–750.
- Poulsen, T. Influence of session length on judged annoyance. *Journal of Sound and Vibration*, 1991. 145, 217-224.
- Sandberg U (1983) Combined effect of noise, infrasound and vibration on driver performance. In *Proceedings from Inter-Noise 83*, vol II.
- Scharf, B. Loudness. In: E.C. Carterette and M.P. Friedman (Eds.), *Handbook of Perception*. Academic Press, New York. 1978; 187-242.
- Schwan H P, Carstensen E L, Li K (1953) Heating of Fat-Muscle Layers by Electromagnetic and Ultrasonic Diathermy. *Trans Amer Inst Elect Eng* 72(1):483.

Slarve R N, Johnson D L (1975) Human whole body exposure to infrasound. *Aviat. Space Environ. Med.* 46(4).

Smith P E (1967) Temporary threshold shift produced by exposure to high frequency noise. *Amer Indust Hygiene Ass J*, 28:447.

Stevens SS. *Psychophysics*. New York: Wiley, 1975.

Yamada S, Kosaka T, Bunya K, Amemiya T (1980) Hearing of low frequency sound and influence on human body. In *Conference on Low Frequency Noise and Hearing*. Aalborg, May.

Yeowart N S, Bryan M, Tempest W (1968) Low frequency noise thresholds. *J Sound Vib*, 9.

Yeowart N S (1971) Low frequency threshold effects. *Proceedings of Fall Meeting of British Acoustical Society*, 7.