Luftkvalitetsmätningar, Ubåt typ Gotland 1997-2003

Christina Östberg

FOI Totalförsvarets Forskningsinstitut

Luftkvalitetsmätningar, Ubåt typ Gotland 1997-2003

Christina Östberg

FOI Totalförsvarets Forskningsinstitut

Omslagsbild: Thomas Falk

Förord

Föreliggande arbete har utförts som enskilt projektarbete, motsvarande cirka fem veckors heltidsarbete, inom Arbetslivsinstitutets utbildning för arbetsmiljöingenjörer 2004-2005.

Arbetet har utförts av Forskare Christina Östberg vid FOI under handledning av Olle Nygren vid Arbetslivsinstitutet i Umeå.

Handledarens uppgift har varit att lämna råd och anvisningar beträffande arbetets uppläggning samt att i samråd med kursledningen bedöma den framlagda rapporten.

Rapporten bygger på mätningar genomförda på ubåt typ Gotland under åren 1997-2003.

Stockholm 2005-11-10

Sammanfattning

Bakgrund. Utvecklingen av ubåtar utrustade med luftoberoende Stirling maskineri (AIP) har ökat den möjliga tiden i undervattensläge från några dagar upp till flera veckor. I och med detta uppkom misstanke om att förhöjda halter av luftföroreningar skulle kunna ackumuleras i atmosfären ombord och därmed påverka besättningsmannens hälsa.

Då arbetsmiljön i ubåtar med luftoberoende maskineri är ofullständigt kartlagd avseende luftkvalitet har FOI Försvarsmedicin i uppdrag från MarinBO DNC att öka kunskapen inom detta område.

Metod. Mätningar genomfördes i samband med 24 olika uppdrag under åren 1997 – 2003. Den totala tiden med luftoberoende maskineri (stirling eller batteridrift) var ca 140 dygn (n=140) och ca 90 dygn med dieseldrift (snorkling). De 140 perioderna med olika obrutet undervattensläge (u-läge) varierade från några timmar upp till 9 dygn. Inom studien har förutom fysikaliska parametrar (temperatur, tryck och relativ fuktighet), koncentrationer av gaser (koldioxid, oxygen, kolmonoxid, hydrogen, formaldehyd, kvävedioxid, ozon och flyktiga organiska ämnen (VOC)), aerosoler, mikrobiologiska föroreningar och flamskyddsmedel studerats.

Resultat. Sammantaget verkar klimatet i manöverrum (MR) på ubåt typ Gotland vara komfortabelt vid stillasittande arbete. Oxygenhalten ligger väl över hypoxiska nivåer och tryckvariationerna är små. Koncentrationerna av formaldehyd, ozon, ammoniak, aerosoler och kvävedioxid överskred inte 5 % av det hygieniska gränsvärdet (NGV), vid något tillfälle överskred vätgashalten 10 % av den lägre explosionsgränsen (LEL, 4,1 %). Totalhalten av flyktiga organiska ämnen var låg. Kemiska markörer för mikrobiologiska föroreningar och flamskyddsmedel var lägre än nivåer detekterade i andra inomhusmiljöer. I samband med en avgasläcka i u-läge uppmättes förhöjda kolmonoxidhalter. Vid några tillfällen överskreds det hygieniska gränsvärdet för koldioxid (0,5%).

Slutsats. De mätningar som utförts på ubåt typ Gotland har inte indikerat någon ackumulering av luftföroreningar under upp till 9 dagars obrutet u-läge. Det måste dock påpekas att studien inte täcker alla föroreningar som finns i en ubåt. En ulägestid på 9 dagar är också betydligt kortare än vad som är möjligt att genomföra med en modern ubåt med luftoberoende maskineri.

Rekommendationer. Baserat på genomförda mätningar rekommenderas att båtarna utrustas med instrument för kontinuerlig kolmonoxid analys. Lägre koldioxidnivåer skulle kunna uppnås genom att kalkbyte styrs av CO_2-sensor placerad i utloppet från scrubbern och genom att rutiner för kalibreringskontroll införs.

Målsättningen bör vara att hålla halterna av de enskilda ämnena så låga som möjligt..

Förekomsten av följande ämnen bör studeras då de bedöms kunna medföra en ökad risk för besättningen: svavelväte, väteperoxid samt halogenerade föreningar.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Förord .....
Sammanfattning .....
1 Inledning 1
2 Bakgrund 2
2.1 Ubåten som arbetsplats 2
2.2 Hälsoeffekter 3
2.3 Exponeringsvägar 3
2.4 Hygieniska gränsvärden 4
2.4.1 Osäkerhetsfaktorer i toxicitetsbedömningen 5
2.4.2 Samverkande effekter 5
2.4.3 Långa exponeringstider 6
2.5 Arbesgivarens skyldigheter 7
3 Arbetsmiljöfaktorer att beakta 8
3.1 Klimatförhållanden 8
3.1.1 Värme 8
3.1.2 Kyla 8
3.1.3 Luftfuktighet 8
3.1.4 Drag 8
3.2 Arbete i slutet utrymme 9
3.2.1 Oxygen (Syre) 9
3.2.2 Koldioxid 10
3.2.3 Nitrogen (Kväve) 11
3.3 Luftföroreningar i ubåtsmiljön 11
3.3.1 Hydrogen 11
3.3.2 Kolmonoxid 12
3.3.3 Kväveoxider 12
3.3.4 Ozon 12
3.3.5 Ammoniak 13
3.3.6 Aerosoler/Partiklar 13
3.3.7 Organiska ämnen 14
3.3.8 Flamskyddsmedel 15
3.3.9 Mikrobiologiska föroreningar 16
3.4 Ej studerade parametrar av intresse 16
3.4.1 Fysikaliska påfrestningar 16
3.4.2 Väteperoxid (H_2O_2) 17
3.4.3 Vätesulsid (svavelväte) 17
3.4.4 Halogenerade föreningar 17
4 Mätmetoder 18
4.1 FOI monitor 18
4.2 Ubåtens interna instrument 19
4.3 IR-spektrometri (kolmonoxid) 19
4.4 UV-absorption (ozon) 19
4.5 Fotoakustisk spektroskopi 19
4.6 Dräger CMS (Chip Measurement System) 20

4.7 Aerosolmätningar 20
4.7.1 Gravimetrisk analys 20
4.7.2 Laserfotometri 20
4.7.3 Partikelräkning 20
4.8 Personburen diffusionsprovtagning 21
4.8.1 Formaldehyd 21
4.8.2 Kvävedioxid (NO_2) 21
4.9 Gaskromatografi/Masspektrometri (GC/MS) 22
4.9.1 Flyktiga organiska ämnen, VOC) 22
4.9.2 Flamskyddsmedel 22
4.9.3 Mikrobiologiska föroreningar 23
5 Genomförda mätningar 24
6 Resultat och diskussion 26
6.1 Termiskt klimat 26
6.2 Oxygen (syrgas) 27
6.3 Koldioxid 27
6.4 Hydrogen (vätgas) 28
6.5 Kvävedioxid 29
6.6 Ozon 29
6.7 Kolmonoxid 29
6.8 Punktmätning av kolmonoxid, kväveoxid, ammoniak, svaveldioxid, kvävedioxid, o-xylene 30
6.9 Formaldehyd 30
6.10 Flyktiga organiska ämnen (VOC) 30
6.11 Aerosoler 32
6.12 Flamskyddsmedel 33
6.13 Mikrobiologiska föroreningar 33
6.14 Oxygen konsumption och koldioxidproduktion 35
7 Slutsatser 36
8 Rekommendationer 37
Tackord 37
Referenser 37

1 Inledning

För äldre ubåtstyper med enbart diesel-elektriskt maskineri har uppfattningen varit att föroreningar endast förekommit i låga koncentrationer eftersom båten i regel vädrades var tredje dygn i samband med laddning av batterier (snorkling). Utvecklingen av ubåtar utrustade med luftoberoende Stirling maskineri (AIP) har ökat den möjliga tiden i undervattensläge från några dagar upp till flera veckor. I och med detta uppkom misstanke om att förhöjda halter av luftföroreningar skulle kunna ackumuleras i atmosfären ombord och därmed påverka besättningsmannens hälsa.

Svenska Marinen har opererat ubåtar med luftoberoende Stirling maskineri i mer än 20 år, ubåt typ Gotland. Under 2004 uppgraderades två ubåtar av typ Södermanland med Stirling maskineri. Detta innebär att alla operationella ubåtar i den Svenska Marinen numer är utrustade med luftoberoende Stirlingmaskineri.

De senaste decennierna har kunskapen på området inomhusmiljöns luftkvalitet (IAQ) ökat. Kunskap som med största säkerhet kommer att leda till strängare luftkvalitetskrav i inomhusmiljön inte bara i ubåtar utan generellt i all inomhusmiljö.

Ökad kunskap om föroreningsprofiler kan användas som underlag för bedömning av huruvida ubåtstjänst, och därmed exponering för kemiska ämnen, efter längre tids exponering skulle kunna leda till negativa hälsoeffekter. Kunskap om luftmiljön ger även underlag för framtagandet av hygieniska gränsvärden, underlag för optimering av filter och kalk i luftreningssystemet ombord samt underlag vid införande av bättre luftövervaknings och luftreningssystem. Vidare kan resultaten från de uppmätta ämnena användas till att spåra föroreningskällor ombord. Kunskap som sedan kan användas till att undvika att införa material, tekniska lösningar eller aktiviteter som genererar föroreningar. Resultaten är även användbara inför projektering av nya ubåtstyper.

Då arbetsmiljön i ubåtar med luftoberoende maskineri är ofullständigt kartlagd avseende luftkvalitet har FOI Försvarsmedicin i uppdrag från MarinBO DNC att öka kunskapen inom detta område.

2 Bakgrund

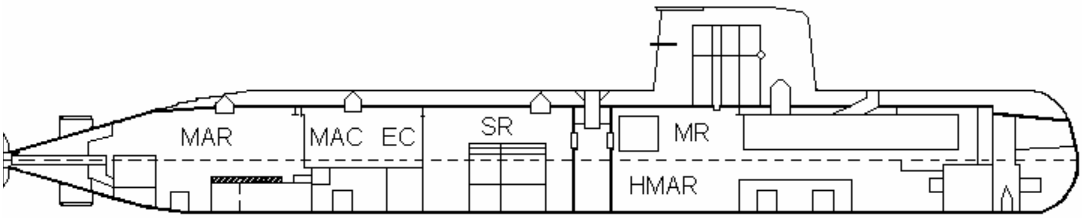
2.1 Ubåten som arbetsplats

Framdrivning av ubåten sker i ytläge (snorkling) med dieselmotorer, i undervattensläge (u-läge) med Stirling maskineri eller med elmotor (batteridrift). I samband med dieseldrift laddas även ubåtens batterier. I ubåtens Stirlingmaskineri förbränns nafta med syrgas i en sluten brännkammare vars värme driver en värmemotor. Förrådet av syre lagras nedkylt i vätskeform (Liquid oxygen, LOX). Avgaserna från förbränningen kommer mestadels att bestå av koldioxid. Avgaser som med eget tryck löser sig alltså i vattnet utan att lämna några spår. En genomskärning av ubåt typ Gotland återfinns i figur 1.

Ubåtens system för luftrening har som uppgift att:

- hålla nere koldioxidhalten med hjälp av kalk. När kalken är förbrukad byts den ut. Det sker ca 1 gång per dygn. Teoretiskt absorberar kalk ca 250 l CO_2/kg men i praktiken räknar man med ett absorbtionskapasitet av 130 l/kg kalk
- upprätthålla oxygenhalten i ubåten med gas från förrådet med flytande oxygen
- filtrera bort aerosoler med patikelfilter
- adsorbera flyktiga organiska ämnen med aktivt kol
- katalytiskt förbränna hydrogen, kolmonoxid och vissa kolväten till vatten och koldioxid

Människor som tjänstgör i en ubåt utsätts, i motsats till arbetstagare i de flesta andra inomhusmiljöer, för kontinuerlig exposition för arbetsmiljön.



Figur 1. Ubåt typ Gotland i genomskärning. Maskinrum (MAR), maskincentral (MAC), elektronikcentral (EC), stirlingmaskinrum (SR), manöverrum (MR) och hjälpmaskinrum (HMAR) hytter och kök (HI)

2.2 Hälsoeffekter

Hälsoeffekter förorsakade av exponering för kemiska ämnen delas in i lokala effekter och systemiska effekter. Hämtat ur Krook, Kemisk Yrkes och miljöhygien. (Krook, 2001). Lokala effekter kan vara frätskador, irritation, icke allergiska kontakteksem köld- samt brännskador. De lokala hälsoeffekterna delas efter dos och exponeringstid in i akut och kronisk eller kumulativ förgiftning.

Systemiska effekter kan delas upp i akut förgiftning, kronisk eller kumulativ förgiftning, allergi, cancer, mutationer samt teratogena skador. En akut förgiftning ger symptom inom ett dygn och beror av en enda exponering för hög dos. Vid kroniska eller kumulativ förgiftning är antalet exponeringar många och doserna under den nivå som ger akut förgiftning. Symptomen uppträder ofta efter längre tids exponering och då som en specifik skada på ett visst organ. Ett exempel är blyförgiftning som skadar benmärgens blodbildande organ.

Allergier uppkommer efter att immunförsvaret sensibiliserats, dvs lärt sig känna igen ämnet i fråga. Denna tid kan vara allt från en vecka till 30 år. Symptomen som uppträder kan vara allt från hösnuva, eksem och i värsta fall livshotande chock (anafylaktisk chock). Yrkesallergier delas in i tre typer: atopisk allergi, allergiskt kontakteksem och allergisk lunginflammation. Vid atopisk allergi uppträder symptom som hösnuva, nässelutslag och astma redan efter någon minuts exponering. Allergiska kontakteksem kan uppstå ända upp till ett dygn efter exponering. Allergisk lunginflammation (alveolit) uppträder ca 8 timmar efter exposition för till exempel mögelsporer. Influensaliknande symptom som feber och illamående i kombination med lång reaktionstid gör att kopplingen till arbetsmiljön inte är så tydlig.

Cancer innebär att en eller möjligen några få celler förändras på så sätt att de börjar växa okontrollerat. Resultatet blir en samling celler som kontinuerligt ökar i antal och som kan sprida sig till platser dit motsvarande normala celler aldrig kommer. Så småningom bildas den tumör som ger sjukdomssymtomen. Misstanke finns om att över tusen ämnen kan påverka dessa tre steg i utvecklingen av en tumör.

Mutationer, det vill säga bestående förändringar i arvsanlagen kan bl a orsakas av vissa ämnen i dieselavgaser. Många ämnen som är mutagena är också cancerogena men det finns även exempel på ämnen som bara har en mutagen effekt.

Teratogena ämnen kan ge fosterskador eller nedsatt fortplantningsförmåga hos män och/eller kvinnor. När det gäller fosterskador är den kritiska perioden från dag tio fram till tionde månaden, till viss del innan kvinnan vet att hon är gravid.

2.3 Exponeringsvägar

Upptaget i människokroppen sker i huvudsak via tre olika vägar: genom huden, med födan och via inandningen.

Även om hudens naturliga funktion är att hindra ämnen att tränga in i kroppen har vissa ämnen förmåga att tränga igenom och komma in i kroppen den vägen. Lösningsmedel, explosivämnen och alkylblyföreningar är exempel på sådana ämnen. Det är viktigt att rengöra huden samt att byta till rena kläder och/eller handskar om dessa blivit översköljda av en kemikalie. Dålig handhygien kan leda till att man får i sig små mängder av ämnet ifråga via matsmältningskanalen. Händerna bör tvättas i

samband med att man röker, snusar eller äter godis under arbetet när man går till måltid eller för att urinera.

Vi andningsvägarna kan vi exponeras för gaser, ångor och partiklar (aerosoler). Gaser delas in i retande, systemtoxiska, samt syreundanträngande gaser. Beroende på sin höga vattenlöslighet ger till exempel ammoniak och klor upphov till kraftig reteffekt på slemhinnorna i de övre luftvägarna. Kvävedioxid, kvävemonoxid och fosgen är exempel på gaser med låg vattenlöslighet. De kan tränga ned till lungblåsorna och först efter flera timmar leda till att lungorna fylls med lymfvätska (lungemfysem). Systemtoxisk påverkan kan fås av till exempel kolmonoxid, svavelväte och cyanväte via blockering av de röda blodkropparnas (hemoglobinets) transport av syre till cellerna respektive blockering av cellernas syreupptag. Kvävgas, gasol och ädelgaser kan genom spädning ge upphov till att gasblandningar med låg oxygenhalt uppkommer. Även ångor från hälsoskadliga lättflyktiga vätskor som lösningsmedel och bränslen kan inandas och medföra negativa hälsoeffekter.

En aerosol är en suspension av fasta eller flytande partiklar i gas, vanligen luft. Damm, rök, dimma, sprej, moln, smog (förorenad aerosolpartikel) och fibrer är vardagliga exempel på aerosoler. Hälsoeffekten beror på partiklarnas storlek, form och giftighet. Ju mindre en partikel är, desto längre ned i lungan kan den tränga. Partiklar brukar delas in efter hur långt ner i andningsvägarna de transporteras. Inhalerbar mängd är de partiklar som inandas genom näsa och mun. Den thorakala fraktionen passerar stryphuvudet och den respirabla fraktionen når lungblåsorna (alveolerna).

2.4 Hygieniska gränsvärden

Då gränsvärden för olika ämnen ofta fastställs med hänsyn till olika biologiska egenskaper utgör förhållandet mellan två ämnens hygieniska gränsvärden inget mått på ämnenas relativa skadlighet. Andra kriterier för gränsvärdesnivån kan vara att hindra akuta effekter och att hindra uppkomst av skador efter långvarig exponering. Även tekniska och ekonomiska aspekter vägs in vid gränsvärdessättningen. De gränsvärdeslistor som ges ut av American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) skiljer sig också något från övriga då de är grundade enbart på hälsoeffekter utan hänsyn tagen till samhällsekonomiska och andra aspekter.

Arbetarskyddsstyrelsen har fastställt högsta godtagbara genomsnittshalt för olika luftföroreningar i inandningsluften. Dessa ämnen eller blandningar av ämnen redovisas i styrelsens författningssamling ”Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar” (AFS 2005:17). De framtagna gränsvärdena anger den högsta halt av en luftförorening under vilken en för föroreningen exponerad person anses vara skyddad mot ohälsa under ett helt arbetsliv. Variationen i känslighet mellan individer är dock stor. Det kan därför inte uteslutas, att ett fåtal personer i en stor grupp, som är exponerad för halter kring eller under det hygieniska gränsvärdet, kan få lindriga och övergående besvär. Det kan inte heller uteslutas, att ett ännu mindre antal personer kan få sjukdomssymptom.

Luftföroreningar kan vara ett ämne eller en blandning av ämnen. Ett hygieniskt gränsvärde är antingen ett nivågränsvärde (NGV) eller ett takgränsvärde (TGV).

Nivågränsvärde (NGV) det hygieniska gränsvärdet för en exposition under en arbetsdag på 8 timmar.

Takgränsvärde (TGV) det hygieniska gränsvärdet för en exposition under en referensperiod av 15 minuter. Detta gränsvärde används framför allt för snabbverkande eller på annat sätt speciellt farliga ämnen, främst sådana ämnen som redan under en kortvarigt förhöjd exponering kan ha skadlig verkan.

Korttidsvärde (KTV) förekommer också, till exempel för ämnen som saknar takgränsvärde. Då åsyftas ett rekommenderat tidsvägt medelvärde för exposition under en referensperiod av 15 minuter. Detta värde är alltså ett riktvärde, ej ett gränsvärde.

2.4.1 Osäkerhetsfaktorer i toxicitetsbedömningen

Hänsyn måste tas till det faktum att det ur medicinsk synpunkt ofta inte finns tillräckligt underlag för att kunna ange någon absolut skarp gräns mellan skadlig och icke- skadlig halt. Fysiologiska variationer hos individen påverkar också känsligheten för och effekter av den fysiska och kemiska arbetsmiljön.

Utvärdering av ett ämnes hälsoeffekter underlättas om man vet något om hur ämnet tas upp i kroppen, hur det fördelar sig, omvandlas och till slut utsöndras. Vid långvarig exponering är information om återhämtning, viloperioder och toxikologiska mekanismer också av vikt att känna till. Upptaget av luftföroreningar genom exponering via inandning kan ofta påverkas av ämnesomsättningen genom att ett tungt arbete ökar andningsfrekvensen. Risk finns då att individen kan få ett större upptag av luftföroreningen än vid vila eller lätt arbete. Detsamma gäller för upptag genom huden vid arbete i värme eller vid hårt fysiskt arbete som leder till ökad svettning (öppning av porerna). I andra fall, där hastigheten med vilken ämnet tas upp är låg, kan luftföroreningarna ventileras ut så snabbt att upptaget inte nämnvärt påverkas.

2.4.2 Samverkande effekter

Om en person utsätts för flera olika luftföroreningar samtidigt uppkommer ofta samverkande effekter. Samverkan mellan flera olika ämnen kan vara av olika karaktär. Samverkan kan ge **additiv effekt** om föroreningarna är likartade. I dessa fall är de totala effekterna/symptomen lika med summan av effekterna/symptomen av de enskilda ämnena. Exempel på additiv effekt är de olika organiska lösningsmedlens allmänna påverkan på det centrala nervsystemet.

Ibland kan effekterna av en samtidig exposition för olika ämnen bli betydligt större än summan av effekterna för de enskilda ämnena. Ämnena verkar förstärkande på varandras effekter, så kallad **synergistisk effekt**. Kunskapen om synergiska effekter är för närvarande ofullständig. Kännedom om att sådana effekter kan förekomma utgör grund för att hålla halterna av de enskilda ämnena så låga som möjligt vid sammansatta expositionsförhållanden. Synergistisk effekt är känd mellan n-hexan och metyletylketoner, kadmium och nitrosaminer, styren och trikloretylen samt asbest och tobaksrök.

Motsatsen, **antagonistisk effekt**, när samtidig exposition för två eller flera kemikalierna leder till att den hälsoskadliga effekten minskar förekommer också. Exempel på antagonistisk effekt är mellan etanol och metanol.

Tryckförändringar i ett slutet utrymme påverkar partialtrycket hos gasformiga eller avgasade ämnen, vilket i sin tur kan påverka upptaget av ett ämne i kroppen. Hänsyn måste tas till detta förhållande vid beräkning av exposition.

2.4.3 Långa exponeringstider

Mycket av den toxikologiska informationen som finns att tillgå på området är av akuttoxisk karaktär. Studier av långtidseffekter är betydligt mer sällsynta och är dessutom ofta baserade på industriarbetare som i allmänhet exponeras för relativt höga doser under klart avgränsade 8 timmars arbetsdagar. Studier med kontinuerlig exponering för låga koncentrationer under längre tid är sparsamt förekommande. I de fall de finns är resultaten ofta baserade på djurförsök, vilket ger en stor osäkerhet i toxicitetsbedömningen.

Av naturliga skäl måste forskning inom området ske med stor försiktighet. Det är givetvis uteslutet att i experimentella studier utsätta människor för miljöfaktorer som kan misstänkas ha långvariga effekter. Det innebär att man i laboratorieexperiment enbart kan studera effekter av kortvarig exponering med låga doser vilket medför svårigheter att generalisera till långvarig exponering eller exponering för höga halter av luftföroreningar. I vissa fall är det dock möjligt att studera människor som i sin naturliga arbetsmiljö utsatts för kraftig exponering. I sådana fall är det dock svårt att belägga koppling mellan exponering och effekt.

Lagstadgade hygieniska gränsvärden bygger på en expositionstid av 8 tim/dag, 40 tim/vecka under 45 år. Människor som tjänstgör i en ubåt utsätts, i motsats till arbetstagare i de flesta andra inomhusmiljöer, för kontinuerlig exposition för arbetsmiljön. En ubåtsman exponeras för sin arbetsmiljö under en lång kontinuerlig period (vanligtvis max 12 dagar eller 288 tim), ca 60-70 dagar/år men den totala expositionstiden blir kortare. Det innebär att lagstiftade nivågränsvärden (NGV) inte är tillämpliga för den slutna ubåtsmiljön. Frågan har diskuterats tidigare av Raffaelli (Raffaeli, 1989) och för rymdindustrin har USA (NASA, 1994) och Europa (ESA) fastställt nivågränsvärden.

Det finns matematiska modeller utvecklade för att anpassa gränsvärden till avvikande exponeringstider. En enkel sådan är OSHA modellen (Occupational Safety and Health Administration), som säger att:

- Takvärden och gränsvärden för ämnen som är irriterande behöver inte anpassas.
- För ämnen med akut toxicitet används följande formel för att få ett gränsvärde: Ekvivalent gränsvärde = 8 tim gränsvärde/(total exponering per dag/8 tim exponering per dag) (NGV/(24/8) = NGV/3, för exponering 24 tim om dygnet skall gränsvärdet delas med 3).
- För ämnen med kumulativ toxicitet används följande formel för gränsvärdet: Ekvivalent gränsvärde = 8 tim gränsvärde/(total exponering per vecka/40 tim

exponering per vecka) (NGV/(168/40) = NGV/4,2, för en hel veckas exponering skall gränsvärdet delas med 4,2).

Filipsson och Johanson vid arbetslivsinstitutet har i sin rapport, "Kontinuerlig exponering för luftföroreningar under lång tid: förslag på regler för beräkning av riktvärden" (Filipsson & Johanson, 1997), formulerat förslag till riktvärden för ett antal ämnen som kan tänkas förekomma i luften ombord på en ubåt. Enligt deras förslag skall man utgå ifrån de nivågränsvärden som gäller i Sverige.

- För ämnen som har en *irriterande* effekt på människan behöver man inte göra en korrigering av gränsvärdet (gäller även för takgränsvärden och korttidsvärden).
- För ämnen som är sensibiliserande, cancerframkallande, reproduktionsstörande eller på annat sätt systemtoxiska bör gränsvärdet delas med kvoten av den egentliga exponeringstiden under en viss period och den förväntade "normala" exponeringstiden under samma period (avrundas uppåt). För långvarig kontinuerlig exponering i exempelvis en ubåt är förslaget att gränsvärdet delas med 5, ett tal som fås av kvoten mellan exponeringstiden under en vecka och normal arbetstid under en vecka, dvs (7*24)/40 = 4,2 (jämför OSHA modellen).
- Ett förslag till riktvärde för *explosiva* ämnen, även om inga hälsorisker föreligger (eller då gränsvärden saknas), anges till en tiondel av den lägre explosionsgränsen.

Royal British Navy har i detta sammanhang två typer av gränsvärden, Maximum Permissible Concentration (MPC) och Continuous Exposure Standards (CES). Gränsvärden enligt MPC utgörs av tre olika takgränsvärden för exponering under 60 minuter, 24 timmar och 90 dagar. Gränsvärden enligt CES är grundade på hälsoeffekter vid kontinuerlig exponering under 90 dagar. Amerikanska National Research Council (NRC) har på uppdrag av bl.a. Amerikanska Rymdstyrelsen (NASA) föreslagit riktvärden vid långtidsexponering i t.ex. rymdfarkoster. NASAs bedömningsprinciper skiljer sig dock något från övriga i sammanhanget, då man accepterar en förhöjd cancerrisk i samband med rymdfärder.

2.5 Arbesgivarens skyldigheter

Enligt Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter om hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar (AFS 2005:17), 7 § skall arbetsgivaren, om det finns anledning misstänka att verksamheten ger upphov till luftföroreningar, snarast utreda exponeringens omfattning. Resultatet skall dokumenteras, arbetstagarna skall informeras och om utredningen visar att exponeringen kan ge upphov till ohälsa skall åtgärder omedelbart vidtas för att sänka exponeringen.

Ett systematiskt arbetsmiljöarbete skall enligt Arbetsmiljöverkets författningssamling (AFS 2003:4) ingå som en naturlig del i den dagliga verksamheten. Den skall omfatta såväl fysiska, psykologiska som sociala förhållanden. En undersökning av arbetsmiljön ska ligga till grund för en riskbedömning. Uppföljning av vidtagna åtgärder såväl som årlig uppföljning av hur arbetsmiljöarbetet bedrivs skall genomföras.

3 Arbetsmiljöfaktorer att beakta

3.1 Klimatförhållanden

Normalt räknar man med en lufttemperatur runt +20°C för att klimatet sammantaget ska anses kunna vara godtagbart vid stillasittande arbete, i vanlig klädsel (Lundh och Olsson, 2001, AFS 2000:42).

Besvär och obehag av kyla kan dock inte bedömas enbart utifrån mätning av lufttemperaturen. Andra faktorer än lufttemperatur som påverkar hur man upplever klimatet är; strålningstemperatur, lufthastighet, luftfuktighet, arbetsintensitet, klädsel, ojämn temperatur, luftdrag, strålningsdrag från kalla ytor och temperaturskillnad mellan huvud och fot. Lufttemperatur och strålningstemperatur är de klimatfaktorer som inomhus påverkar klimatupplevelsen mest.

3.1.1 Värme

För att olika organ skall kunna fungera normalt bör den djupa kroppstemperaturen (kärntemperaturen) inte överstiga cirka 38°C. Vid avsaknad av värmebalans sker i stället en upplagring av värme i kroppen och därmed en höjning av kärntemperaturen varvid en rad olika symptom kan uppstå.

Värmeexponering kan leda till sänkt vakenhetsgrad, vilken i vissa verksamheter indirekt kan öka risken för olycksfall. Om värmebelastning tillåts fortsätta utan att akuta motåtgärder sätts in, kan det få allvarliga följder för hjärtverksamheten och blodomloppet, för tillförseln av syre till hjärnan och för vätskebalansen i kroppen.

3.1.2 Kyla

Nedkylning ger nedsatt muskelfunktion och sämre kraft och precision. Det är t.ex. svårt att genomföra arbetsuppgifter som kräver finmotorisk färdighet. Både obehag och nedkylning påverkar förmågan att tänka och observera. Även små avvikelser från idealisk temperatur ökar felfrekvensen och olycksfallsrisken i arbetet.

3.1.3 Luftfuktighet

Luftfuktighetens betydelse för upplevelsen av det termiska klimatet är liten. Dess effekt på besvärsupplevelse och hälsotillstånd är mer svårbedömd. Generellt upplevs låg luftfuktighet som mer besvärande än luft med hög fuktighet. Vidare ökar vätskeförlusten vid låg luftfuktighet. Luft med hög luftfuktighet har dock en bättre värmeledande förmåga vilket medför att effekten av kyla, värme och drag ökar.

3.1.4 Drag

En annan aspekt av klimatförhållandet är luftdrag som ofta uppfattas som allmän kyla. Höga lufthastigheter i en ubåt kan skapas av kallras från kalla ytor, durkar och

skott, eller från ventilationssystem. Lufthastigheter på mindre än 0,15-0,2 m/s brukar uppfattas som dragfria.

3.2 Arbete i slutet utrymme

Med arbete i slutet utrymme avses ett utrymme där luftens sammansättning på grund av otillräcklig ventilation kan avvika från det normala, och där det är svårt att ta sig in och ut. Allt för stora avvikelser kan ha effekter på välbefinnande, prestationsförmåga och hälsa (AFS 1993:3).

Utväxling av gaser mellan levande djur och deras omgivning är lika nödvändig för livsprocessen som upptag av föda och vatten. Levande djurceller använder oxygen i sin energiomsättning under det att koldioxid produceras. I en människa transporteras oxygenet och koldioxiden till respektive från cellerna, löst i den vätska som finns mellan cellerna. I blodet transporteras oxygenet bundet till hemoglobin, som är ett protein i de röda blodkropparna. Koldioxiden löser sig i blodet, till större delen i form av vätekarbonat (HCO_3), och transporteras på så sätt till lungan. Själva gasutbytet med omgivningen sker i lungblåsorna (alveolerna). Observera att det inte bara är gaserna oxygen och koldioxid som kommer in och lämnar kroppen via lungorna.

Luften vi andas består i huvudsak av 78 % nitrogen (N_2), 20,95 % oxygen (O_2) samt ca 0,003 % koldioxid (CO_2). I utandningsluften är oxygenhalten ungefär 15 % och koldioxidhalten ca 5 % men det hänger starkt ihop med graden av fysisk belastning.

3.2.1 Oxygen (Syre)

Oxygen (O_2) är en färg-, smak- och luktlös paramagnetisk gas. I atmosfären är oxygenhalten i torr luft vid havsytan 20,95 volymprocent (%). Under 1990-talet har man genom förfinade mätningar kunnat påvisa en liten minskning av oxygenhalten, vilken kan sättas i samband med förbränningen av fossila bränslen. Tack vare den stora mängden oxygen i atmosfären utgör denna minskning inte något hot.

Nästan alla organismer är beroende av fritt oxygen för den cellandning som är en förutsättning för ämnesomsättningsprocesserna. Oxygen förbrukas när näringsämnen förbränns i kroppen. Då kroppen har ett obetydligt förråd av oxygen måste ständig tillförsel ske. Förbrukad mängd oxygen är starkt beroende av aktivitetsgraden (se tabell 1).

Upptaget av oxygen i lungorna är helt beroende av oxygenets partialtryck (pO_2) och inte dess volymhalt (%). Notera att vid normaltryck är skillnaden mellan volymhalt och partialtryck försumbar. De först mätbara effekterna av oxygenbrist, ökad hjärtverksamhet och intensivare andning, uppkommer vid pO_2 under 15-17 kPa, dvs ca 15-17 % O_2 vid atmosfärstryck. Det är framförallt det centrala nervsystemet som påverkas tidigt. Vid allvarligare akut hypoxi (<1 timme) uppkommer symptom i form av ökad andning, huvudvärk, andnöd, försämrad reaktionsförmåga, dåsighet och muskelkoordination. Oxygenbrist behandlas ofta genom tillförsel av syre i andningsluften, syrgasbehandling.

Påpekas bör att en lätt förhöjd koldioxidhalt, som i ubåtsmiljön, motverkar effekterna av hypoxi. Koldioxid har en kärlutvidgande effekt som underlättar

syresättningen av hjärnan, det organ som är mest känsligt för sänkt oxygenhalt (Gustafsson et al, 1997).

Tabell 1. Oxygenförbrukning (O_2) och koldioxid produktion (CO_2) vid arbete. Observera att då det gäller värdena på CO2 produktionen och puls gäller dessa endast under inledningsskedet av arbetet. Produktionen kommer att sjunka något efter en stund. En ubåtsman producerar, under ett normalt uppdrag, i genomsnitt ca 0,38 liter koldioxid per minut (Ur Green, Gustafsson et al, 1999).

Exempel på arbete		**Puls** slag/min	**O_2 upptag** l/min	**CO_2 prod.** l/min
Sova		50-60	ca 0,3	ca 0,2
Lätt arbete	Stå upp	< 90	< 0,5	< 0,4
Medel tungt arbete	Cykla	90-110	0,5 - 1,0	0,4 - 1,1
Tungt arbete	Simma	110-130	1,0 - 1,5	1,1 - 1,9
Mycket tungt arbete	Bergsklättring	130-150	1,5 - 2,0	1,9 - 3,0
Extremt tungt arbete	Terränglöpning	150-170	> 2,0	> 3,0

Kroppens egna varningssystem för akut oxygenbrist (hypoxi) är ej tillförlitliga och någon lufthunger skapas inte omedelbart. Symptomen smyger sig oftast på och kan leda till medvetslöshet innan offret märker något.

Oxygenhalter över 22 % medför ökad brandrisk. Vid förhöjt pO_2 (>20 kPa) föreligger risk för oxygenkramp och lungskador. I samband med en nödsituation ombord kan oxygenpartialtrycket tillåtas variera mellam 15 och 200 kPa (Ub Räddnl FM, 1997).

3.2.2 Koldioxid

Koldioxid är en lukt- och färglös gas som förekommer normalt i atmosfären med en koncentration på ca 0,0325 % (325 ppm). I stadsmiljö kan halten stiga upp mot 0,1 %.

Toleransen mot förhöjda halter av koldioxid i andningsluften är mycket individuell. Att andas luft med högt koldioxidpartialtryck (pCO_2) leder till att andningsfrekvensen ökar. Det är framförallt partialtrycket av koldioxid i blodet som styr vår andning. Vid normaltryck är skillnaden mellan partialtryck (pCO_2) och volymhalt (%) försumbar.

En frisk person kan tåla upp till 1 - 1,5 % koldioxid under lång tid utan annan märkbar effekt än en lätt förhöjd andning. Om koncentrationerna stiger till 2-7 % märks en ökad andningsfrekvens och en djupare andning, samt sämre mental och fysik prestationsförmåga. Andra symptom som förekommer är bl. a huvudvärk, yrsel, hög puls och illamående. Koncentrationer över 7 % ger snart upphov till andnöd, värmekänsla och huvudvärk. Om inandningen av koldioxid avbryts erhålls inga permanenta skador. Vid halter mellan 7-50 % procent (se även hypoxisk gasblandning) minskar tiden under vilket inandning kan ske och döden inträffar, från några timmar till några få minuter. Vid hög koncentration är gasen stickande och svår att inandas.

Där människor arbetar i utrymmen med dålig ventilation, kan problem uppstå på grund av höga koldioxidhalter (från utandningsluften). Arbetarskyddsstyrelsens nivågränsvärde, (NGV= medelvärde under 8 timmars arbetsdag) för koldioxid är 0,5 % (5 000 ppm) vid normaltryck och korttidsvärdet (KTV= tidsvägt medelvärde för 15 minuters exposition) är 1 % (10 000 ppm).

I samband med en nödsituation ombord kan koldioxidpartialtrycket inte överstiga 3 och får inte överstiga 4,5 kPa (% vid normaltryck) (Ub Räddnl FM, 1997).

3.2.3 Nitrogen (Kväve)

Nitrogen är en inert gas. Termen inert används inom kemin i betydelsen reaktionströg. En ökad mängd nitrogen till följd av utspädning leder till att oxygenhalten minskar. En annan applikation där utspädning kan vara aktuellt är vid brandsläckning med olika inertgasblandningar.

I ett slutet utrymme med förhöjt totaltryck (tryckkammare eller trycksatt ubåt) har val av inertgas och dess koncentration effekter som inte kommer att behandlas i denna rapport.

3.3 Luftföroreningar i ubåtsmiljön

Skadliga kemiska substanser är ofta syntetiska och kommer alltså från någon mänsklig aktivitet. Några vanliga källor till föroreningar är maskiner, oljor, målarfärger, matlagning, läckor från behållare etc. Vid t ex förbränning av drivmedel i dieselmotorer bildas till största delen vatten och koldioxid. Övriga komponenter i fordonsavgaser är förutom nitrogen och oxygen framför allt sot, kolväten, kolmonoxid, kväveoxider och svaveldioxid. Vissa av dessa komponenter kan påverka såväl hälsa som prestationsförmåga.

Ämnen med kokpunkt strax över och under rumstemperatur är de som lättast övergår i gasfas och därmed återfinns i vår inandningsluft. Det är framförallt lågmolekylära flyktiga ämnen som genom avdunstning ger så pass höga halter att hälsorisker kan föreligga (naturligtvis beror det även på ämnets giftighet). Därmed inte sagt att substanser med hög kokpunkt är ofarliga och att dessa inte utgör någon risk. Det finns även hälsofarliga ämnen med hög kokpunkt. De gaser som ger upphov till skada eller irritation angriper oftast luftvägarna och huden eftersom det är dessa delar av kroppen som kommer i direkt kontakt med den omgivande luften.

3.3.1 Hydrogen

Hydrogen är den mest frekvent förekommande substansen i hela universum. Det är en färg-, lukt- och smaklös gas. Hydrogen fungerar som en inertgas gentemot människan, dvs gasen reagerar inte kemiskt med människans vävnader, men den är mycket brandfarlig. Redan vid en koncentration på 4.1 % i luft (21 % O_2) får man en explosiv blandning (knallgas). Vanliga källor till hydrogen är battericeller, där gasen frisätts som en produkt från de kemiska reaktionerna, samt vid elektrolys av vatten då elektrisk ström leds genom vattenlösningar. Tarmgas (flatus) är en biologisk källa till hydrogen i små mängder.

3.3.2 Kolmonoxid

Kolmonoxid (CO) som är en färg- och luktlösa gas är en av de vanligast förekommande giftiga gaserna. Giftigheten beror på att CO binder ca 250 gånger starkare än O2 till de röda blodkropparnas hemoglobin. Därigenom blockeras syretransporten till kroppens vävnader och syrebrist uppstår i cellerna. Kolmonoxid blockerar även cellernas ämnesomsättning varvid blodets oxygentransporterande förmåga minskar och prestationsförmågan påverkas i motsvarande grad. Kolmonoxid bildas vid ofullständig förbränning av kolhaltiga ämnen, orsakad av otillräcklig oxygentillförsel. En vanlig källa är förbränningsmotorer och avgaser från dessa kan innehålla upp till 6 % kolmonoxid. Dessa avgaser skall spädas med nästan 2 000 delar luft för att man skall komma ner under gränsvärdet.

Det hygieniska gränsvärdet för kolmonoxid är 25 mg/m^3 och korttidsvärdet (KTV) ligger på 100 ppm, men redan vid lägre koncentrationer kan symptom i form av trötthet visa sig. Vid högre koncentrationer får man en ökad andning, huvudvärk, illamående, blir förvirrad och yr. Slutligen leder förgiftningen till medvetslöshet och eventuellt till döden.

3.3.3 Kväveoxider

NO_x är samlingsbenämningen för s.k. nitrösa gaser d.v.s. kväveoxider. Kvävemonoxid (NO) är en färglös, giftig gas som i luft oxideras till kvävedioxid NO_2. NO som bildas i blodet, bl a från aminosyror, har en kärlvidgande effekt. Kvävedioxid (NO_2) är en brun, giftig gas med en stickande lukt. Gasen bildar vid kontakt mellan vatten och salpetersyra, som är starkt frätande. Kväveoxider verkar irriterande på slemhinnor och kan ge lungödem (vätska i lungorna). Det hygieniska gränsvärdet för kvävemonoxid är 30 mg/m^3 och för kvävedioxid 4 mg/m^3. Båda dessa gaser bildas då nitrogen och oxygen reagerar med varandra vid höga tryck och temperaturer, till exempel i förbränningsmotorer.

3.3.4 Ozon

Ozon (O_3) är vid rumstemperatur en svagt blåaktig, instabil gas som sönderfaller i ren oxygen (O_2). Ozon är ett starkt oxidationsmedel och kan därför reagera med andra komponenter i luften, t ex kolväten. Oxidationsprodukterna har visat sig kunna vara en starkare irritant än ursprungskomponenterna (Klenø och Wolkoff, 2002). Ozon bildas vid elektriska urladdningar (t ex vid elkraftverk, vid svetslågor och vid vattenreningsprocesser) och fotokemiska reaktioner (t ex kopieringsapparater).

Det hygieniska gränsvärdet för ozon är 0,2 mg/m^3. Vid exposition för ozon uppkommer olika lungbesvär. Exempelvis har retsymptom, ökat andningsmotstånd, hosta, andnöd och huvudvärk iakttagits. Ozonets toxiska effekter antas bero på uppkomsten av fria radikaler i andningsvägarna, där de kan förstöra cellmembraner. Låga koncentrationer av ozon kan ge nedsatt lungfunktion bland annat ökat luftvägsmotstånd. Högre halter ger upphov till hosta, bröstsmärtor, andnöd, huvudvärk samt lungskador.

3.3.5 Ammoniak

Ammoniak är en färglös, starkt luktande gas som bl. a används som utgångsmaterial vid framställning av handelsgödsel, syntetiska fibrer, sprängämnen, plaster, kylmedel och färgämnen. Gasen bildas i kroppen vid nedbrytning av proteiner. Ammoniak kan frisättas från urin som får stå i rumsvärme. Ammoniakgas löser sig i vatten och ger då upphov till en alkalisk och frätande lösning. Luktgränsen ligger på ca 4 mg/m^3. Nivågränsvärdet ligger på 35 mg/m^3.

Ammoniak är starkt retande på ögon och slemhinnor och 100 ppm kan ge kraftiga irritationer efter en stunds exponering. Vid mer än 1 000 ppm kan man få allvarliga ögonskador. Vid ännu högre koncentrationer kan det innebära livsfara redan efter en kort stunds exponering för gasen.

3.3.6 Aerosoler/Partiklar

En aerosol är en suspension av fasta eller flytande partiklar i gas, vanligen luft. Damm, rök, dimma, sprej, moln, smog (förorenad aerosolpartikel) och fibrer är vardagliga exempel på aerosoler. Partiklarna kan ha varierande storlek, form och sammansättning För att kunna jämföra aerosolpartiklars mekaniska egenskaper har man infört ett enhetligt mått på storleken, aerodynamisk diameter (d_a). Till aerosolpartiklar räknas sådana för vilka d_a är mellan 0,001 µm och 100 µm.

Aerosoler kan påverka människan olika beroende på sammansättning och depositionsplats. Oljedroppar och andra fettlösliga ämnen kan lätt tas upp genom huden då den deponeras på bar hud som händer och ansikte. Andra ämnen tas upp i slemhinnor via ögonen, munhålan eller näsans slemhinnor. Upptag av ämnen i aerosoler kan även ske genom att aerosolpartiklar som deponeras i andningsvägarna sväljs ner när de ”städas” upp av cilierna. Hälsoeffekten beror på partiklarnas storlek, form och giftighet. Ju mindre en partikel är, desto längre kan den tränga ned i lungan. Aerosoler delas in i olika storleksfraktioner:

- den inhalerbara fraktionen är den fraktion av aerosolen som man kan andas in;
- den torakala fraktionen är den del av den inhalerade aerosolen som kan passera övre andningsvägarna ner i bronkerna; och slutligen
- den respirabla fraktionen är den del av den inhalerade aerosolen som kan fortsätta ända ner i lungorna och alveolerna.

Den respirabla fraktionen (<5 µm) är den farligaste då det som kommer ner i alveolerna kan lösas och komma ut i blodomloppet, alternativt fastna i alveoler och skapar irritation/skador i lungorna. Nanopartiklar (d v s partiklar i storleksintervallet < 100 nm, 0,1µm), som deponeras i lungorna, misstänks kunna passera genom alveolerna och tas upp i blodet och leda till påverkan av hjärta och kranskärl.

De mätenheter som används för provtagning av partiklar är antingen massfraktion (mg/m^3) antal partiklar/m^3 eller yt-arean på partiklarna. Nivågränsvärdet för damm (totaldamm) är 10 mg/m^3 och för respirabelt damm 5 mg/m^3. För damm eller dimma av ämnen som har särskilda gränsvärden tillämpas dessa värden. Gränsvärden för dammhalter som kan vara aktuella varierar mellan 0,5 och 10 mg/m^3. Om ämnena har likartad effekt så ska man räkna med additiv hygienisk effekt.

Partiklar i dieselavgaser (diesel particulate matter, DPM) är ett kapitel för sig och kommer inte att beröras här.

3.3.7 Organiska ämnen

Ämnen som till större delen är uppbyggda av kol- och väteatomer kallas kolväten (H_nC_n). Kolväten kan delas in i två grupper; aromatiska kolväten och alifatiska kolväten.

Aromatiska kolväten kan reagera med olika ämnen i kroppen och orsaka strukturella skador i vävnader. De är till viss del fettlösliga, vilket gör att de kan lösa sig i fettvävnad och där ackumuleras. Detta gör att expositionstiden förlängs. En del av dessa ämnen är cancerframkallande, exempelvis bensen, och många av dem (t ex toluen, styren och xylen) kan ge skador på det centrala nervsystemet. De aromatiska kolvätena förekommer ofta i, och kan frisättas från, plaster, färger, lösningsmedel, oljor och bensin.

Alifatiska kolväten är alla kolväten som inte är aromatiska. Det finns en stor mängd alifatiska kolväten. Dessa irriterar ofta ögonen och luftvägarna samt ofta även våra slemhinnor. En del misstänks även vara cancerframkallande. En del alifatiska kolväten måste hållas under kontroll på grund av sin explosivitet (t ex metan).

3.3.7.1 Petroleumprodukter

Den främsta källan till kolväten är petroleum. Petroleumprodukters toxicitet, i synnerhet begagnade sådana som varit utsatta för höga tryck och temperaturer, anses generellt bero på innehållet av cancerogena polyaromatiska kolväten (PAH) och nitrosaminer, men också av frekvent förekommande tillsatsmedel, så kallade additiv. Additiven kan förekomma i halter upp till 30 % och är många gånger bristfälligt utredda med avseende på toxicitet.

3.3.7.2 Organiska lösningsmedel

Organiska lösningsmedel i produkter såsom t.ex. drivmedel, prestolitvätska (polyesterplast) och kontaktlim utgör en annan hälsorisk ombord. De flesta lösningsmedel tillhör gruppen kolväten och dessa kan ge biologiska effekter bl a av berusningskaraktär. De är många gånger mycket lättflyktiga och absorberas snabbt, i relativt stora mängder, via lungorna. Toxiciteten hos organiska lösningsmedel utgörs i huvudsak av effekter på nervsystemet. Många av dessa lösningsmedel kan också orsaka lever- och njurskador vid långtidsexponering. Glykoletrar, i bl a golvpolishprodukter, tillhör också gruppen organiska lösningsmedel. De ger effekter på centrala nervsystemet, blodet och njurarna. Många glykoletrar är dessutom kända för att vara reproduktionstoxiska.

3.3.7.3 Aldehyder

Aldehyder irriterar ofta ögonen och luftvägarna (t ex acetaldehyd och akrolein), samt ofta även våra slemhinnor (t.ex. formaldehyd).

Formaldehyd är en brännbar, färglös mycket reaktiv gas som är lättlöslig i vatten. Utomhushalter av formaldehyd ligger kring 3 $\mu g/m^3$. Inomhus i bostäder ligger medianexponeringen på 25 $\mu g/m^3$. Genomsnittshalterna är dock betydligt högre i villor än i lägenheter.

Människor exponeras för formaldehyd bl.a. från cigarettrök, bilavgaser, emissioner från byggnadsmaterial, möbler, vattenbaserade färger och textilier, matlagning och eventuell öppen eld. Symptom som ögonirritation, luktförnimmelse och irritation i näsan kan förekomma. Irritativa effekter uppträder vid lufthalter kring 300 µg/m^3 (0,3 mg/m^3). Formaldehyd är cancerframkallande i djurexperiment (fr.a. näsa) och sannolikt cancerframkallande för människa. Det krävs sannolikt en skadad nässlemhinna för cancer i näsepitel vid exponering för formaldehyd i gasfas. Därför kan cancerrisken anses vara försumbar så länge exponeringsnivån är lägre än den, där irritativa effekter uppstår. Risker vid exponering för formaldehyd på partiklar (cigarettrök och dieselavgaser) vet man mycket lite om men cancerrisken från andra komponenter i röken torde innebära större risker (Barregård, Sällsten, 2004).

Det hygieniska gränsvärdet för 8 timmars exponering ligger på 0,6 mg/m^3 (NGV), vid 15 min exponering är gränsvärdet 1,2 mg/m^3 (TGV).

3.3.8 Flamskyddsmedel

Flamskyddsmedel verkar brandskyddande genom att tränga undan syre från materialets yta eller genom att förhindra att polymererna i materialet sönderfaller till mer brännbara molekyler.

Användningsområdena är många och de kan därför påträffas i:

- Elektrisk utrustning (ex. elsladdar av PVCplast)
- Elektronisk apparatur (ex. datorer, TVapparater, kopieringsmaskiner)
- Inredningsmaterial (ex. golvmattor, möbeltyger)
- Gummiprodukter (ex. ljudisoleringsdraperier)
- Fogmassor & lim
- Skärvätskor

Det finns åtminstone 4 olika huvudtyper och varje huvudgrupp innehåller i allmänhet ett stort antal ämnen:

- Organiska klorföreningar (klorparaffiner , PCB:er)
- Organiska fosforföreningar (halogenerade trialkylfosfater, triortokresylfosfat, tris)
- Organiska bromföreningar (Tetrabrombisfenol A, PBDE:er, PBB:er)
- Metallföreningar (antimontrioxid, magnesiumhydroxid, aluminiumhydroxid)

De mest använda flamskyddsmedlen är organiska fosfor- och kväveföreningar och oorganiska salter. Så kallade bromerade flamskyddsmedel används idag i liten utsträckning och företrädesvis inom bygg- och elektroniksektorn. I enlighet med Europaparlamentet och rådets direktiv 2002/95/EG, RoHS (restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment) förbjuds användandet av bly, kvicksilver, kadmium, 6-värt krom, PBB och PBDE i nya produkter inom elektro- och elektronikutrustning. Direktivet gäller produkter som introduceras på marknaden från och med den 1 juli 2006. Utfasningen av de bromerade flamskyddsmedlen kan innebära att ett större spektrum av fosfatestrar kommer att användas som additiv i datorer och annan elektronik.

Användningen av kemiska flamskyddsmedel har under lång tid diskuterats ur risksynpunkt eftersom det finns farhågor om deras inverkan på människors hälsa och på miljön. Medlen påträffas dessutom på alla ställen i miljön oavsett var prover tas. Det saknas mycket kunskap kring hälsoeffekterna av bromerade flamskyddsmedel,

bl a behövs mer studier kring neurotoxiska och hormonella effekter. Långvarig exponering i djurförsök visar effekter på lever, sköldkörtel, reproduktion och fosterutveckling samt allergi.

Inom gruppen fosfatestrar finns en mängd olika toxikologiska effekter, beroende på mångfalden i kemisk struktur. Trifenylfosfat som är ett vanligt förekommande flamskyddsmedel i bildskärmar har en dokumenterat kontaktallergen effekt på människa. Vidare har arbetare vid produktionsanläggningar som exponerats för en blandning av trifenylfosfat och isopropylerad trifenylfosfat uppvisat en minskning av antalet vita blodkroppar, butylerad trifenylfosfat har endokrin påverkan hos råttor. De klorerade trialkylfosfatestrarna har vid djurförsök uppvisat toxikologiska effekter som minskad spermieproduktion, försvårad ägglossning, skador på hjärnans område som styr inlärning och minnesfunktioner (hippocampus), samt cancerframkallande effekt.

Enligt Björn Hellman, toxikolog och docent vid Arbets- & miljömedicin, Uppsala Universitet finns det utifrån dagens kunskapsläge dock inget som tyder på att de halter av flamskyddsmedel som uppmätts i blod, bröstmjölk, utomhusluft, rötslam, sill och olika arbetsmiljöer skulle vara hälsovådliga. Hellmans antagande är att PBDE:er och PBB:er är inte ”farligare” än PCB:er och att de uppmätta halterna kan relateras till det nuvarande svenska nivågränsvärdet för PCB:er som är 10 µg/ m^3 (0,01 mg/m^3).

3.3.9 Mikrobiologiska föroreningar

Bakterier och svamp producerar ett stort antal ämnen som verkar irriterande eller är allergiframkallande. Misstankar har därför riktas mot olika mikrobiologiska ämnen i luften såsom endotoxin, peptidoglykan och olika ämnen i mögelsvamp, men orsakssambanden är oklara.

Det yttre membranet i gram-negativa bakterier består till stor del av endotoxiner (LPS). Muramisk syra är (MuAc) en unik markör för peptidoglykan, vilket framförallt återfinns i gram-positiva bakterier och i små mängder i gram-negativa bakterier. Ergosterol (Erg) är en vanlig beståndsdel i svampmembran och används ofta som markör för svamp- och mögelförekomst. Det är intressant att kontrollera förekomsten av dessa tre ämnen eftersom de tros vara en bidragande orsak till hälsoproblem relaterade till luftburna mikrobiologiska föroreningar (akuta och kroniska symptom såsom allergi, astma och kronisk bronkit).

3.4 Ej studerade parametrar av intresse

Denna studie kan på intet sätt sägas vara heltäckande. Nedan återfinns några exempel på parametrar som kan innebära hälsorisker men som inte studerats inom ramen för denna studie.

3.4.1 Fysikaliska påfrestningar

Fysikaliska hälsorisker från buller, ljusförhållanden, vibrationer och rörelsesjuka och elektromagnetisk strålning har inte inkluderats i studien. Inte heller effekter av t ex arbetsställning, bildskärmsarbete, stress, samt skiftarbete.

Det bör påpekas att bl a för vibrationer och buller har Arbetsmiljöverket utkommit med nya föreskrifter under 2005 (AFS 2005:15, AFS 2005:16). För elektromagnetisk strålning kommer nya föreskrifter under 2006.

3.4.2 Väteperoxid (H_2O_2)

Väteperoxid (tidigare kallad vätesuperoxid) är en tjockflytande vätska med svagt blå färg vid rumstemperatur. Väteperoxid används vid blekning av trä, textilier och papper. Dessutom utnyttjas väteperoxid som drivmedel i torpeder. Ämnet förekommer naturligt i luft och kan påvisas i utandningsluften pga att väteperoxid hos människan är en naturligt förekommande nedbrytningsprodukt i cellerna. Väteperoxid har vid laboratorieförsök visats ha cancerframkallande egenskaper. Slemhinneirritation har också observerats. Dessutom är substansen starkt oxiderande. Får man flytande väteperoxid på huden så vitnar den pga. oxidation. Det hygieniska gränsvärdet för H_2O_2 är 1,4 mg/m^3.

3.4.3 Vätesulsid (svavelväte)

Svavelväte eller vätesulfid, (H_2S) är en färglös, mycket giftig gas. Den bildas i ruttna ägg och luktar som sådana. Gasen är lika giftig och farlig som cyanväte. Lukten märks redan vid halter på 0,03 mg/m^3 och är irriterande vid halter på 7 mg/m^3. Giftigheten är lömsk eftersom exponering för svavelväte snabbt avtrubbar luktsinnet så att förgiftade personer inte längre märker dess karakteristiska doft innan farliga halter (50-100 ppm) nås. Nivågränsvärdet är 14 mg/m^3 (10 ppm).

I naturen bildas svavelväte genom förruttning av organiskt material eller genom bakteriell nedbrytning av sulfater. I haven bildas svavelväte i syrefria miljöer genom bakteriell nedbrytning av sulfater.

I de öppnare delarna av Östersjön brukar de högsta svavelvätehalterna uppträda i de djupaste delarna av Gotlandsdjupet (dvs på ca 200-250 meters djup). Där når halten inte sällan 100 mikromol/l, och någon enstaka gång har den varit uppe kring 200 mikromol/l. Men variationerna är stora, och tidvis är bottenvattnet helt fritt från svavelväte (SMHI, 2005).

En källa till vätesulfid i en ubåt är via avluftning av barlasttankar som fyllts med förorenat havsvatten.

3.4.4 Halogenerade föreningar

Halogenerade kolväten är kemiska föreningar där kolatomer och en halogen ingår. Halogener är ett gruppnamn för grundämnena klor (Cl), brom (Br), fluor (F) och jod (I).

Klorider ingår i många rengöringsmedel men kan även bildas om ubåtens batterier kommer i kontakt med saltvatten. Bromid återfinns förutom i PVC-plast och som brandskyddsmedel i t ex TV-apparater i det automatiska systemet för brandsläckning.

Halogener har visat sig ha miljö- samt hälsofarliga -egenskaper och kan tillsammans med andra ämnen bilda giftiga gaser vid brand eller upphettning.

4 Mätmetoder

Inom studien har förutom fysikaliska parametrar (temperatur, tryck och relativ fuktighet), koncentrationer av gaser (koldioxid, oxygen, kolmonoxid, hydrogen, formaldehyd, kvävedioxid, ozon och flyktiga organiska ämnen (VOC)), aerosoler, mikrobiologiska föroreningar och flamskyddsmedel studerats.

Realtidsmätningar med direktvisande instrument har genomförts i den förliga (manöverrum) samt den aktra delen av båten (stirlingrum/maskinrum). Passiv samt pumpad provtagning för integrerande laboratorieanalyser har genomförts stationärt på olika platser i båten men även som passiv personburen provtagning. För instrumentens/provtagarnas placering se genomskärning av ubåt typ Gotland i figur 1.

I samband med mätningarna har besättningen sammanställt en detaljerad loggbok över aktiviteter/händelser som bedömts kunnat påverka luftkvalitén ombord. Loggboken har varit en förutsättning för korrekt utvärdering av resultaten och genom att kombinera anteckningarna med de uppmätta resultaten har eventuella felkällor och föroreningskällor kunnat identifieras. Besättningen har även hanterat och kalibrerat utrustning för realtidsmätning samt genomfört provtagning för integrerande laboratorieanalyser.

En sammanställning över de använda instrumentens/mätmetodernas detektionsgränser, loggningsintervall o s v återfinns i tabell 3, kap 5.

4.1 FOI monitor

Autonoma luftkvalitetsmonitorer har tagits fram för att samla information om luftprofiler i slutna utrymmen som t ex ubåtar (FOI Luftkvalitetsmonitor). Monitorn är sammansatt av en datalogger (AAC-2, INTAB, Interface-Teknik AB, Sweden) samt av inom industri och laboratoriemiljö mer eller mindre vanligt förekommande sensorer (se Tabell 2).

Tabell 2. Ingående sensorer i den vid FOI Försvarsmedicin framtagna Luftkvalitets-monitorn (AQM).

Komponent	Mätprincip	Fabrikat
Oxygen (O_2)	elektrokemisk	Figaro KE-25, Figaro Inc. USA
Koldioxid (CO_2)	IR-absorption	Dräger Polytron 2, Dräger, Germany
Hydrogen (H_2)	elektrokemisk	EIT Sensorstik, EIT, Exton, USA
Tryck (p_{tot})	membran	ED 517, Haenni Instr. Ag, Switzerland
Relativ fuktighet (RH)	tunnfilm	Humitter 50Y, Vaisala OY,
Temperatur (Temp)	Pt100	Helsinki, Finland

Alla parametrar analyserades kontinuerligt och medelvärden över olika tidsintervall (30 sekunder - 30 minuter) lagrades i dataloggern.

Kalibreringskontroll av sensorerna genomfördes före och efter mätperioderna. Dessutom tillfördes gassensorerna kända gaskoncentrationer vid flera tillfällen under mätperioden.

Vid de flesta mätningar registrerade de två monitorerna luftparametrar i manöverrum (MR) samt i stirlingrum (SR). Under de första åren användes endast en monitor. Den placerades i hjälpmaskinrum (HMAR) men analyserade miljön i manöverrum (MR).

4.2 Ubåtens interna instrument

Ubåten har ett centralt monitoreringssystem med perifera sensorer för oxygen, koldioxid samt hydrogen. Notera att under den långa mätprioden har två typer av instrumentering funnits monterade ombord. Den utrustning som idag finns monterad (Regard) har levererats av Dräger AG, Lübeck, Germany.

Uppgifter om kalibrering av de interna instrumenten saknas varvid jämförelser med data från dessa måste betraktas med stor försiktighet.

4.3 IR-spektrometri (kolmonoxid)

Kolmonoxid (CO) analyserades med hjälp av infra röd spektrometri (Unor 6 N Maihak AG Hamburg, Germany).

4.4 UV-absorption (ozon)

För ozonmätningar användes ett direktvisande instrument, Ozone Monitor Model 202 (2B Technologies Inc. CO. USA), vars mätprincip bygger på absorption av ultraviolett ljus. Ozonmolekylen har ett absorptionsmaximum vid 254 nm vilket sammanfaller med emissionen från en kvicksilverlampa av lågtryckstyp. Vid denna våglängd är mätmetoden enligt leverantören i princip bara korskänslig mot aromatiska kolväten. För att korrigera för denna korskänslighet dras mätgasen växelvis genom, respektive vid sidan om, en ozonskrubber. På detta sätt mäts omväxlande absorptionen från de aromatiska kolvätena och den totala absorptionen. Ozonhalten bestäms genom att jämföra de båda uppmätta mängderna absorberat ultraviolett ljus. Instrumentet har en detektionsgräns på 0,003 mg/m^3 och en övre operationsgräns av 200 mg/m^3.

Vid mätningarna registrerade instrumentet ozonkoncentrationen i manöverrum (MR). Instrumentet var placerat bakom styrpanelen på babord sida. Ozonkoncentrationen analyserades kontinuerligt och medelvärdet över 5 minuter lagrades i instrumentets internminne.

4.5 Fotoakustisk spektroskopi

Fotoakustisk spectroscopi (1312 Photo acoustic Multi Gas Monitor, Innova Air Tech Instruments, Denmark) användes för att monitorera kolmonoxid (CO) koldioxid (CO_2), svaveldioxid (SO_2) och ammoniakhalter (NH_3) samt totalhalten flyktiga organiska ämnen (TVOC).

4.6 Dräger CMS (Chip Measurement System)

Stickprov för förekomst av kolmonoxid (CO), ammoniak (NH_3), nitrösa gaser (NO_x), kvävedioxid (NO_2), svaveldioxid (SO_2) och o-xylen genomfördes med hjälp av kolorimetriska rör (Dräger CMS Dräger Sicherheitstechnik GmbH).

4.7 Aerosolmätningar

Noggrann mätning av aerosoler är komplicerat och de flesta instrument som finns tillgängliga för fältmätningar har i regel relativt stor onoggrannhet. Vi har därför valt att använda flera olika mätmetoder för att studera halten av aerosoler.

4.7.1 Gravimetrisk analys

Stationär pumpad provtagning på glasfiberfyllda glasrör samt milliporfilter genomfördes för att detektera oljedimma samt totaldammhalter. Milliporfiltren analyserades även med avseende på förekomst av framför allt bly (Pb) kadmium (Cd), antimon (Sb), zink, (Zn), krom (Cr), koppar (Cu) samt silver (Ag). För detta ändamål användes induktivt kopplad plasma-masspektrometri (ICP/MS). Provtagningsvolymen låg på ca 2 - 2,5 l/min och provtagningstiden var ca 2 dygn. Damm och metallanalys genomfördes av Yrkes och miljömedicinska kliniken vid Lunds Universitssjukhus. Förekomsten av oljedimma analyserades av Analyslaboratoriet i Lund AB.

4.7.2 Laserfotometri

Det andra instrumentet som användes för aerosolbestämning var en laserfotometer (DustTrak 8520, TSI Inc., Minnesota, USA). Instrumentet mäter den samtidiga ljusspridningen från ett stort antal partiklar. Vid tolkning av signalen utgår instrumentet från en kalibrerad aerosol (ISO 12103-1 A1 -Arizona Test Dust), det vill säga partiklar av ett visst material och med en given storleksfördelning. På grund av detta kommer noggrannheten i resultatet från instrumentet att skilja sig beroende på sammansättningen av den aerosol man verkligen mäter. Vid mättillfället var instrumentet kalibrerat efter den fabrikskalibrerade aerosolen.

Beroende på vilken partikelstorlek man vill studera kan instrumentet förses men olika impaktorer vid luftinloppet (<10, <5, eller <2,5 µm, vilket motsvarar PM_{10}, PM_5 och $PM_{2,5}$). Masskoncentrationen av partiklar (PM) uppskattas utifrån den totala ljusspridnings-intensiteten från de infångade partiklarna. Varje dygn kontrollerades nollpunkten genom att et s.k. nollfilter monterades på inloppsslangen.

Instrumentet var placerat bakom styrpanelen på babord sida i kontrollrummet, intill ozone instrumentet och partikelräknaren.

4.7.3 Partikelräkning

Ett av instrumenten som användes vid mätningen var en laserdiodbaserad partikelräknare (CI-500, Climet Instruments Company, Redlands, CA. USA).

I denna optiska singelpartikelräknare späds provluftstrålen ut med partikelfri luft så att partiklarna passerar en och en genom en ljusstråle (50 mW laserdiod). På detta sätt kan de enskilda partiklarna detekteras. Ljusspridningen beror på partikelns storlek. Det spridda ljuset koncentreras i en elliptisk spegel innan det slutligen detekteras i fotodetektorn. Genom att storleksindela de elektriska signaler partiklar av olika storlek ger upphov till, kan storleksfördelningen för aerosolen bestämmas. Noggrannheten av de uppmätta resultaten är beroende av partiklarnas storlek, form och sammansättning. Den elliptiska spegeln fångar upp det spridda ljuset från en stor vinkel vilket bidrar till att minimera variation i mätsignalen på grund av partikelns form och brytningsindex. Partiklarna mäts upp och räknas i sex kanaler beroende på diameter: 0,3-0,5, 0,5-1, 1-5, 5-10 samt 10-25 µm. Tidsvägda medelvärden lagrades på en bärbar dator. Mjukvaran var utvecklad i Labview (National Instruments Corporation, Austin, Texas, USA).

Före mätningarna kontrollerades instrumentets noggrannhet avseende partikelstorlek och koncentration med hjälp av monodisperse di octyl sebacate aerosols. Flödeshastigheten genom instrumentet kontrollerades dagligen.

4.8 Personburen diffusionsprovtagning

4.8.1 Formaldehyd

För analys av halten formaldehyd har provtagning genomförts med UME^X 100 personburna diffusionsprovtagare (Scantec, Göteborg). Formaldehyd i luften diffunderar in till ett filter som är impregnerat med 2,4-dinitrofenylhydrazin. Reaktionsprodukten har desorberats med acetonitril och analyserats på vätskekromatograf med UV-detektor. Upptagshastigheten av formaldehyd är 28,6 ml/min och den minsta kvantifierbara mängden är 0,05 µg/prov. Detta ger en lägsta bestämbar formaldehydhalt i luft på 0,001 mg/m^3 vid 24 timmars provtagning. Den totala mätosäkerheten (Relative Overall uncertainty, ROU), inklusive provtagning är mindre än 15 %. Proverna har analyserats vid Yrkes och miljömedicinska laboratoriet, Sahlgrenska Universitetssjukhuset i Göteborg.

Personburen provtagning genomfördes på besättningsmän med huvudsaklig arbetsplats i för respektive akterskepp. Provtagningstiden uppgick till 2 perioder om 3 dygn i u-läge samt 9 tim under dieseldrift.

4.8.2 Kvävedioxid (NO_2)

För personburen provtagning av kvävedioxid (NO_2) användes diffusionsprovtagare (IVL, Svenska Miljöinstitutet AB, Göteborg). I laboratorium urlakas det impregnerade filtret och provet analyserades spektrofotometriskt med hjälp av Flow Injection Analysis (FIA). Noggranheten i analysen är 0,1 µg/m^3. Vid 1 månads exposition ligger detektionsgränsen på 0,1-800 µg/m^3. Interferens med HNO_2 samt peroxy-acetyl-nitrat (PAN) är påvisat.

Stationär diffusionsprovtagning genomfördes i för respektive akterskepp (MR samt EC) vid två förhållanden och då samtidigt i för och akterskepp. Provtagningstiden uppgick till två perioder om 3 dygn i u-läge samt 9 tim under dieseldrift.

4.9 Gaskromatografi/Masspektrometri (GC/MS)

4.9.1 Flyktiga organiska ämnen, VOC)

4.9.1.1 Pumpad provtagning

Vid pumpad provtagning användes provtagningsrör i rostfritt stål (Perkin Elmer) innehållande en **Tenax adsorbent**. Provtagningstiden var ca 1 timme och provvolymen ca 6-7 liter. Analysen utförs med GC/MS, gaskromatograf (Model 8500, Perkin Elmer Ltd. MA. USA) försedd med termisk desorptionsenhet (ATD-400, Perkin Elmer) och mass selektiv detektor (Ion Trap 800, Finnigan Ltd.). För att karakterisera innehållet av TVOC har ”Luftprofiler” tagits fram (Kristensson och Lunden, 1988). De totalt ca 180 analyserna genomfördes av Chemik Lab AB.

Provtagning genomfördes även på glasrör innehållande **aktivt kol** från kokosnötter (Anasorb CSC Lot 2000, SKC Anasorb CSC Coconut Charcoal 226-01) som adsorbent. I provtagningsrören finns två skilda partier med aktivt kol, det första partiet innehåller 100 mg och det andra partiet 50 mg aktivt kol. Det första partiet är den aktiva provtagningsdelen av röret. Den andra delen analyseras endast för att säkerställa att den inte absorberat någon VOC utan att allt absorberats i det första partiet. Skulle genombrott ha skett till det andra partiet får provet kasseras. Analysen av proverna utfördes av Dr Lennart Mårtensson vid Institutionen för Teknik, Högskolan Kristianstad. Proverna desorberades med koldisulfid och analyserades med GC/MS (trace GC, Quadropole MS type SSQ700, Thermo Electron Corporation, Woburn, MA., USA).

4.9.1.2 Personburen diffusionsprovtagning

För att uppskatta den mängd VOC som personer i för- respektive akterskepp exponeras för i samband med stirling och batteridrift kontra dieseldrift användes såväl persondosiometrar (SKC 575-002 med 500 mg Anasorb 747, SKC Inc., PA., USA.) som diffusionsprovtagare med TENAX TA adsorbent. Personburen passiv provtagning genomfördes på besättningsmän med huvudsaklig arbetsplats i för respektive akterskepp. Provtagningstiden uppgick till 3 dagar i u-läge samt 9 tim under dieseldrift. Dosiometrarna/diffusionsprovtagarna sattes fast i provpersonens kläder med en klämma. Efter provtagningens slut förseglas den aktiva adsorbenten för analys i laboratorium.

Totalt användes 6 persondosimetrar och analysen genomfördes med samma metod som vid analysen av övriga rör med aktivt kol.

De 6 adsorbentrören (Tenax TA) för diffusionsprovtagning analyserades med samma metod som övriga Tenaxrör

4.9.2 Flamskyddsmedel

Stationär provtagning har tillämpats, provtagaren bestod av ett glasfiberfilter och två polyuretanskumadsorbent placerade i serie. På glasfiberfiltret fångades den partikulära fasen upp och den semivolatila på polyuretan adsorbenten. Två adsorbent användes för att kontrollera eventuellt genomslag av trifosfater i provtagaren. Luft

pumpades genom provtagaren med en batteridriven pump, flödet var ca 2 l/min och provtagningstiden ca 12 tim.

Extraktion av filter och polyuretanadsorbenten utfördes med ultraljudsextraktion. Utbytet av fosfatestrarna vid denna extraktionsmetod är högre än 95 %. Ultraljudsextraktion med diklorometan som extraktionsmedium genomfördes i 40 minuter. För identifiering av de enskilda trifosfaterna i luftproverna har gaskromatografi-masspektrometri (GC-MS) använts. Med GC-MS med kemisk jonisering (detektion av positiva joner PICI) samt elektron impact (EI) joniseringsteknik, erhölls föreningarnas masstal och med hjälp av fragmentiseringen kunde de strukturbestämmas. Verifiering av identifieringen gjordes med referenssubstanser. Den kvantitativa analysen utfördes med högupplösande gaskromatografi med selektiv kväve-fosfor detektion (GC-NPD) och intern standard metodik (Carlsson, Nilsson et al. 1997).

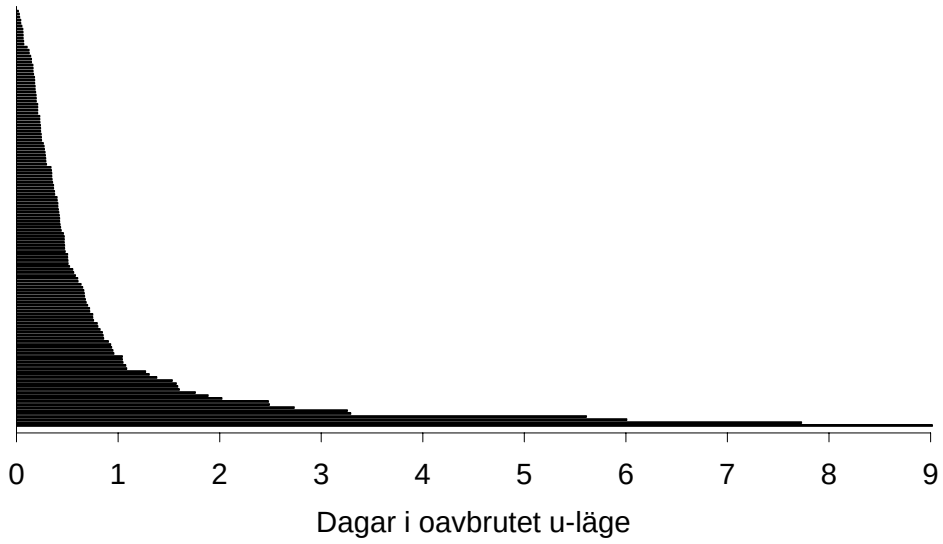
4.9.3 Mikrobiologiska föroreningar

Förekomsten av mikrobiologiska föroreningar har uppskattats med hjälp av en nyutvecklad metod för att bestämma och kvantifiera kemiska markörer för bakterier (Sebastian, Larsson, 2003). Metoden bygger på att mikroorganismer innehåller unika ämnen som inte finns någon annanstans i naturen. Dessa unika ämnen kan användas som kemiska markörer för att karakterisera mikrobiska kolonier i miljöprover, t ex damm eller vattenprover.

Proven togs i form av 1-5 mg dammprov från filterduken i det centrala luftkonditioneringsaggregatet, samt som 1 ml frystorkade vattenprover från slagvatten i HMAR, SR och MAR (se figur 1). Proven analyserades retrospektivt med GC-MS-MS. För analysen användes ett ”Saturn 2000 ion-trap GC-MS”-instrument (Varian, Palo Alto, Kalifornien, USA) med en kapillärkolonn (Chrompack, Middelburg, Nederländerna). Analysen av proverna utfördes av Aleksandra Sebastian på Institutionen för Bakteriologi vid Lunds Universitet.

5 Genomförda mätningar

Mätningar genomfördes i samband med 24 olika uppdrag under åren 1997 – 2003. Perioder med framdrivning med luftoberoende maskineri (stirling eller batteridrift med sluten båt) och dieseldrift (snorkling eller öppen båt) ingår i materialet. Den totala tiden med luftoberoende maskineri var ca 140 dygn (n=140) och ca 90 dygn med dieseldrift (öppen båt). De 140 perioderna med olika obrutet undervattensläge (u-läge) varierade från några timmar upp till 9 dygn. Ur figur 2 framgår hur längden på de 140 olika obrutna u-lägesperioderna var fördelade. I den här rapporten har tonvikten lagts på långa tider i u-läge.



Figur 2. Längd på oavbrutna u-lägen (n=140) under de 24 uppdragen.

Mätningarna genomfördes både som kontinuerlig on line mätning med hög tidsupplösning och som provtagning på adsorbent för off-line integrerande mätmetoder. I tabell 3 listas uppmätta parametrar, instrumentens detektionsgräns, loggningsfrekvens, under hur många uppdrag mätningar genomförts samt den längsta tid i u-läge under vilken mätning genomförts.

Då skillnaderna mellan för och akterskepp för kontinuerligt loggade parametrar är mycket små kommer enbart resultat från förskepp att presenteras. Detta ställningstagande grundar sig även på att MR (förskepp) är det utrymme där flest besättningsmän vistas. Inte heller har skillnader mellan de olika driftstyperna (stirling-, batteri- och dieseldrift) diskuterats utan tonvikten ligger på mätningar i samband med långa u-lägestider.

Tabell 3. Provtagningsmetodik och strategi.

Parameter	Detektions-gräns	Loggningsfrekv. /antal prov	Antal uppdrag	Längsta u-läge
On-line (kontinuerlig) mätning				
AQM – FOI Luftkvalitetsmonitor				
- Temperatur	0,1 °C	2-120/tim	23 (av 24)	9
- RH	5 %	-“-	-“-	9
- Totaltryck	0,1 kPa	-“-	-“-	9
- CO_2	0,01 %	-“-	-“-	9
- O_2	0,01 %	-“-	-“-	9
- H_2	0,01 %	-“-	-“-	9
CO (IR spektrofotometri)	1 ppm	6/tim	1	
O_3	0,0015 ppm	12/tim	1	7
Photo Acoustic Multi Gas Monitor				
- CO, SO_2, NH_3, TVOC*	< 1 ppm	2/tim	4	6
- CO_2	3 ppm	-“-	4	6
Dräger CMS (kolorimetriska rör)				
- CO	5 ppm	5	3	
- NH_3	2 ppm	5	3	
- NO_x, NO_2	0,5 ppm	5	3	
- SO_2	0,4 ppm	4	3	
- o-xylene	10 ppm	4	3	
Aerosoler,				
- PM_{10}	0,001 mg/m^3	30/tim	5	9
- Storleksfördelning		60/tim	1	7
Off-line (intermittent) mätning				
Formaldehyd	0,005 mg/m^3	12[1)]	1	7
NO_2		6[1)]	1	7
VOC/TVOC* (GC/MS)		180[2)]	23 (av 24)	9
Aerosoler				
- Totaldamm	0,1 mg/m^3	28[3)]	4	9
(Metalldetektion**)		-”-	4	9
- Oljedimma	0,001 mg/m^3	29[4)]	4	9
Flammskyddsmedel				
- Organofosfat estrar (OPE)		5[5)]	3	3
Mikrobiologiska markörer		7	1	7

* toluen ekvialenter
** Sb, Pb, Cd, Ag, Zn, Cr, Cu & Ni
*** 0,3-0,5, 0,5-1, 1-5, 5-10, 10-25, & >25 µm

provtagningsvolym & tid:
1) diffusion, 3dagar
2) 6 l/tim i ca 1 tim
3) 2 l/min i ca 48 tim
4) 2,5 l/min i ca 48 tim
5) 2 l/min i ca 12 tim

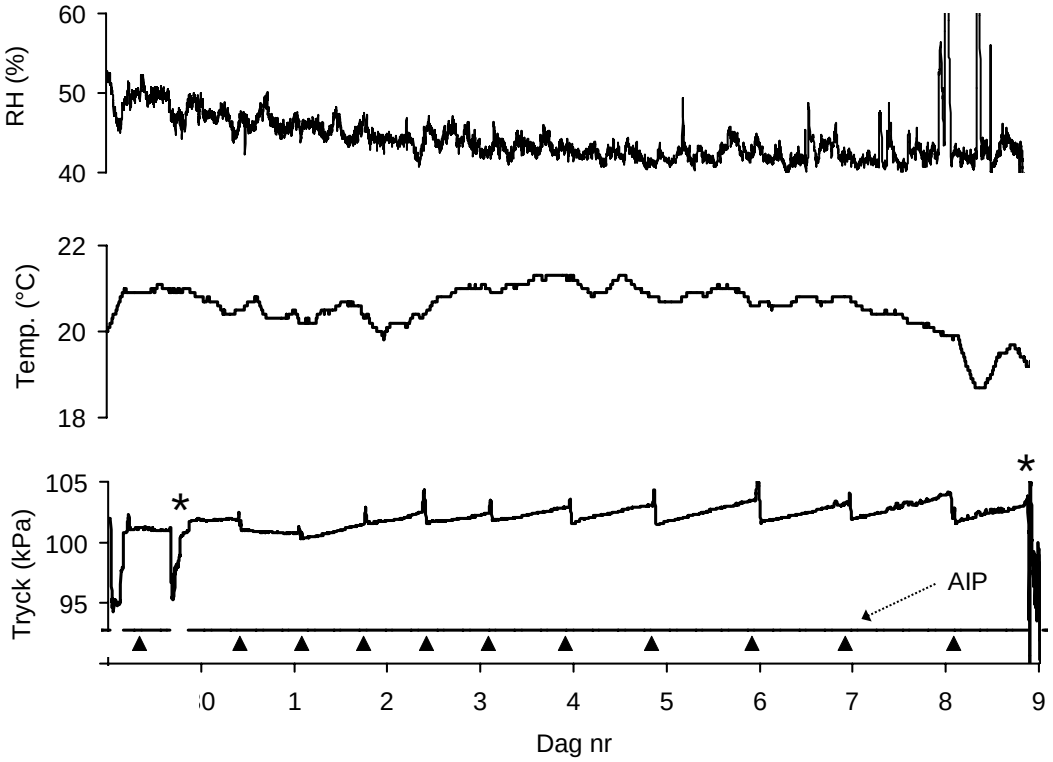
6 Resultat och diskussion

6.1 Termiskt klimat

Sammantaget alla mätningar med sluten båt (Stirling eller batteridrift) varierade temperaturen i förskepp (MR) mellan 18 och 21ºC. Den relativa fuktigheten (RH) varierade mellan 40-60 % RH.

Resultat från mätning av totaltryck, temperatur och luftfuktighet i samband med ett 9 dygn långt u-läge ges som exempel på dessa parametrar (se figur 4).

Totaltrycket i båtarna varierade mellan 86 och 109 kPa. I samband med längre tider i u-läge låg medeltrycket på ca 102 kPa samtidigt som tryckvariationerna var något mindre än vid dieseldrift. De största trycksänkningarna (5-10 %) uppmättes i samband med dieselstart. Till följd av att tryckluft används för att transportera kalk mellan förvaringsbox och kalkkaninstrar uppträder tillfälliga tryckstegringar i samband med kalkbyte (indikerat med trianglar i figur 4). Efterföljande trycksänkningar genomförs med hjälp av luftkompressor.



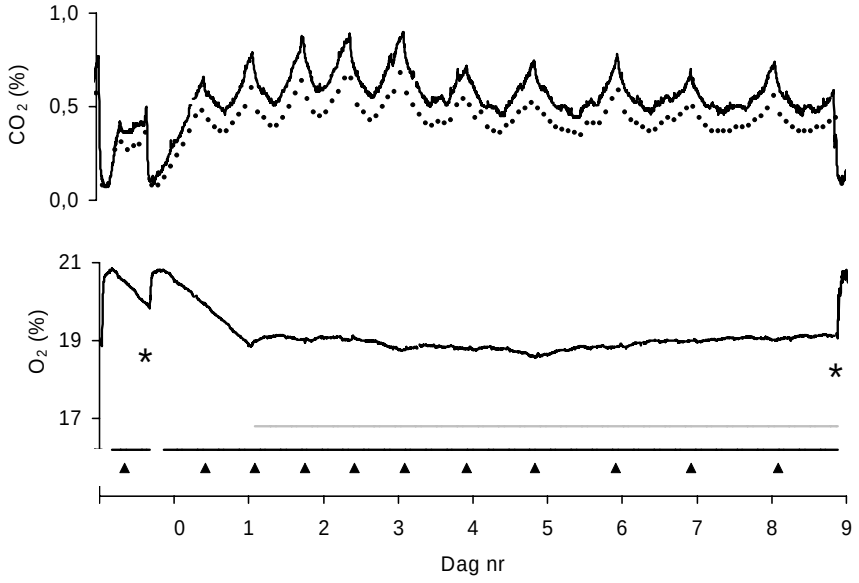
Figur 4. Resultat från mätning av totaltryck, temperatur och luftfuktighet i samband med ett 9 dygn långt u-läge. *- dieselstart, ▲ kalkbyte.

6.2 Oxygen (syrgas)

Resultat från mätning av oxygenpartialtryck (pO_2) har räknats om till volymhalt med hjälp av följande formel:

$$fO_2\,(\%) = \frac{pO_2\,(\text{kPa})*100}{p_{tot}\,(\text{kPa})}$$

I samband med långa tider i u-läge (6, 7 och 9 dygn) varierade oxygenhalten mellan 18,5 och 22,4 %. Det lägsta pO_2 som uppmätts är 17,3 kPa. I figur 5 framgår hur oxygenhalten varierade i samband med 9 dagars obrutet u-läge. När oxygentillsats påbörjades, efter ca 1 dygn stabiliseras halten på ca 19 %. Ubåtens interna analyssystem för oxygen (TR) avlästes varannan timme. I dessa noteringar indikeras något lägre oxygenhalt än i de mätningar som presenteras här.



Figur 5. Mätningar av O_2 och CO_2, i manöverrum i samband med 9 dagars oavbrutet u-läge. I den övre bilden indikerar prickar den koldioxidhalt besättningen uppmätt med ubåtens egna gasanalysinstrument. Den heldragna linjen indikerar tidpunkt för uläge samt när gasreningen var i drift. Den grå heldragna linjen indikerar när oxygentillsats pågick, * dieselstart**,** ▲ kalkbyte.

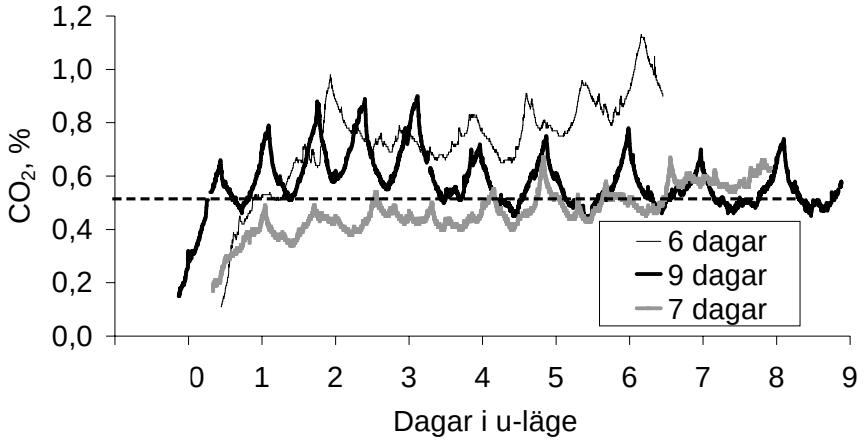
6.3 Koldioxid

Resultat från mätning av koldioxidpartialtryck (pCO_2) har omräknats till volymhalt CO_2 (%) genom att dividera det uppmätta värdet med totaltrycket (p_{tot}) i båten. Se formel i kap 6.2.

Volymhalten koldioxid varierade kraftigt i u-läge (0,1-1,1 %). Som framgår av figur 5 och 6 överskreds 8 timmars medelvärdet tillfälligt i samband med något enstaka uppdrag med lång tid i u-läge (se figur 5 och 6). Noteras bör att båtens interna instrument visade 0,1-0,2 % lägre koldioxidhalter (se figur 5). I samband med en avgasläcka i stirlingrum uppmättes temporärt 3,6 % CO_2. Medelvärdet i samband med dieseldrift överskred inte 0,3 %.

Även om gränsvärdet överskreds är det uppenbart att man med förbättrade kalibreringsrutiner skulle kunna hålla CO_2 halten under 0,5 % (NGV).

Att placera en sensor vid utloppet från koldioxidscrubbern är en annan åtgärd som leder till ett mer effektivare utnyttjande av kalken men bör även leda till att höga CO_2-topparna undviks. Sensorn kan kopplas till ett larm för att indikera när det är dags för kalkbyte, lämpligtvis vid 0,1% koldioxid i utloppet.



Figur 6. Mätningar av CO_2, i manöverrum i samband med 6, 7 och 9 dagars oavbrutet u-läge. Det hygieniska gränsvärdet för indikeras med streckad linje.

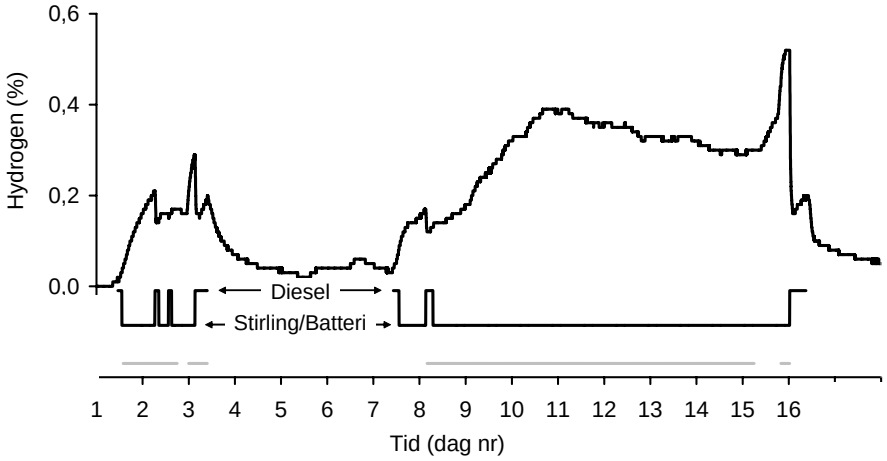
Det tar relativt lång tid att vädra ut båten efter övergång från batteri/stirlingdrift i u-läge till snorkeldrift. I samband med övergång från u-läge och luftoberoende maskineri till dieseldrift och snorkling är halveringstiden för koldioxidhalten ca 1,5 timmar.

6.4 Hydrogen (vätgas)

Volymhalten av hydrogen (H_2) varierade mellan 0,1 och 0,6 % i samband med Stirling-/batteridrift, endast vid ett uppdrag i samband med det 9 dygn långt u-läge översteg det tidsvägda medelvärdet 0,3 %. Denna högsta uppmätta halten H_2 motsvarar 15 % av den lägre explosionsgränsen för H_2 i luft (Lower Explosion Limit, LEL, 4,1 % H_2 i luft).

Det är framför allt vid laddning av ubåtens batterier som hydrogen bildas men viss avgasning sker också i samband med uttag. Den mängd vätgas som avges från ett batteri beror av laddningsstadium, batteriets historia, temperatur, konstruktion och ålder samt graden av uttag från batteriet. Gasningen från gamla batterier kan vara upp till 3 ggr större än från nya batterier (Lakeman 1995). Dessa faktorer gör det svårt att teoretiskt beräkna hur mycket vätgas som avges. Om en homogen blandning förutsätts i ubåten (volym ca 800m^3) motsvarar den ökning som sker i manöverrum under dygn 3 och 15 (se figur 6) en ökning med ca 200 l H_2/tim.

I figur 7 ges ett exempel på hur H_2 halten varierar med olika driftslägen. Den höjning i H_2 halten som uppträder dag 3 och dag 15 kommer av att H_2/CO katalysatorn ej är i drift i kombination med ökat uttag från batterierna.



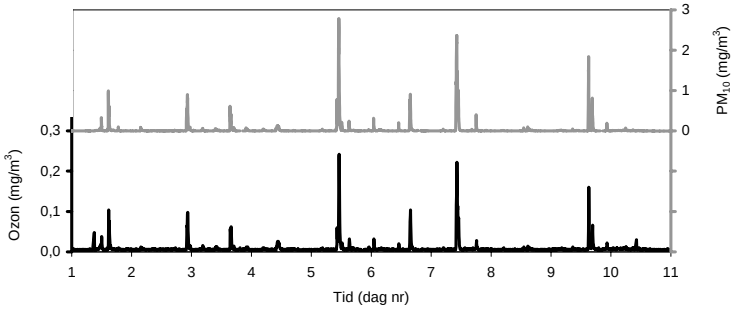
Figur 7. Variationer i H_2-halt. Den ljusgrå heldragna linjen längst ner i figuren indikerar när H_2/CO katalysatorn var i drift. Den heldragna svarta linjen indikerar tidsperioder med diesel- respektive luftoberoende maskineri.

6.5 Kvävedioxid

Diffusionsprovtagning för NO_2 visade koncentrationer under 0,02 mg/m^3.

6.6 Ozon

Mätning av ozon genomfördes endast vid ett uppdrag. Halterna varierade mellan 0,03 och 0,24 mg/m^3 men endast kortvarigt överstiger halterna detektionsgränsen (0,03 mg/m^3). Förhöjda koncentrationer korrelerar väl med förhöjda partikelhalter (se figur 8). Baserat på denna korrelation och på den mätprincip som används är det mest troligt att instrumentet har en korskänslighet för partiklar. Denna hypotes stöds av instrumenttillverkaren. Den enda slutsats som med säkerhet kan dras utifrån mätningarna är att bakgrundsnivån av O_3 är lägre än detektionsgränsen för instrumentet (0,03 mg/m^3).



Figur 8. Resultat från samtidig mätningar av ozon- och partikelhalter.

6.7 Kolmonoxid

Kontinuerlig mätning av CO-halt indikerar halter under 5 mg/m^3. Huruvida det beror på att halterna överlag är låga eller på att H_2/CO katalysatorn fungerar

tillfredställande kan inte avgöras men halterna är låga jämfört med det hygieniska gränsvärdet. För punktmätning av CO se kap. 6.8.

Förutom för mätning av CO var den fotoakustiska spektrofotometriska mätmetoden inte lämplig att använda i den miljö som en ubåt utgör (Risberg, Östberg, et al., 2004). Detta beror förmodligen på korskänslighet med andra kemiska ämnen.

6.8 Punktmätning av kolmonoxid, kväveoxid, ammoniak, svaveldioxid, kvävedioxid, o-xylene

Vid punktmätning (Dräger CMS) i samband med en avgasläcka i Stirlingmaskinrum uppmätes halter på 22 ppm CO och 4 ppm NO_x. Punktmätning av NO_2, NH_3, SO_2 och o-xylen visade inga halter över den lägre detektionsgränsen (0,5, 2, 0,4 och 10 ppm).

6.9 Formaldehyd

Den uppmätta halten formaldehyd översteg aldrig 0.01 mg/m^3. Detektionsgränsen med valda teknik var 0,001 mg/m^3. Halten formaldehyd var densamma oavsett om besättningsmannen hade sin huvudsakliga arbetsplats i för eller akterskepp. Resultaten indikerade inte heller någon skillnad mellan diesel och luftoberoende framdrivning.

6.10 Flyktiga organiska ämnen (VOC)

Enligt internationell praxis uttrycks totalhalten flyktiga organiska ämnen (TVOC) i toluenekvivalenter. Detta innebär att beräkningarna har gjorts som om alla ämnen vore toluen. På så sätt kan man få en uppfattning om koncentrationernas storlek. Observeras bör att TVOC är ett mycket ospecifikt värde. Genom jämförelser med frågeformulär, ”Örebroformuläret”, har en undre gräns för TVOC bestämts till 0,3 mg/m^3, där problem med inomhusluften börjar uppträda (Kling och Kristensson, 1993). Denna gräns är inte generell, utan beroende av den använda provtagnings- och analysmetoden. Dessutom måste man bedöma de enskilda ämnena som ger TVOC-värdet.

TVOC-halten uppmätt från totalt ca 180 pumpade Tenax adsorbent ligger mellan 0,1 och 13 mg/m^3 toluenekvivalenter. Halter över 4 mg/m^3 är mycket ovanliga och förekommer endast vid ett fåtal tillfällen och då i samband med någon form av maskinellt haveri.

I samband med ett 7 dygn långt u-läge har även diffusionsprovtagning (stationär och personburen) och provtagning med aktivt kol använts. TVOC i de 26 proverna varierar mellan 0,1 och 2,4 mg/m^3. Resultaten visar inte på någon skillnad mellan pumpad och diffusionsprovtagning, inte heller mellan prover tagna med olika adsorbent eller mellan prover tagna på olika platser i ubåtarna. Halterna ökar inte heller med tid i u-läge och det skiljer inget mellan prover tagna vid dieseldrift och vid luftoberoende framdrivning.

I proverna återfinns förutom bränslerester (alifatiska och aromatiska kolväten) xylener, n-butanol, limonen, tetrakloretylen, trikloretan, etanol samt låga halter av

isopren. I tabell 4 listas vanligt förekommande kolväten samt troliga källor till föroreningen. Halterna av xylener och n-butanol är ganska höga relativt övriga ämnen. Xylener och etylbensen har summerats och beräknats som m-xylen.

Det faktum att TVOC-halterna inte stiger med tiden i u-läge indikerar att luftreningssystemets filter med aktivt kol är dimensionerat för de flyktiga organiska ämnen som från olika tekniska system släpps ut till luften ombord.

En totalkolväteanalysator för intermittent mätning skulle kunna användas för att indikera trender i TVOC-halten ombord. Vid förhöjda halter kan instrumentet även användas till att identifiera källan till de förhöjda halterna. Om trenden visar ökade halter bör en kompletterande provtagning med t ex tenaxadsorbent genomföras. Införande av nya mätmetoder kräver dock att klara direktiv utgår avseende vilka halter man kan acceptera samt vilka åtgärder som ska vidtas och vid vilka halter åtgärderna ska vidtas.

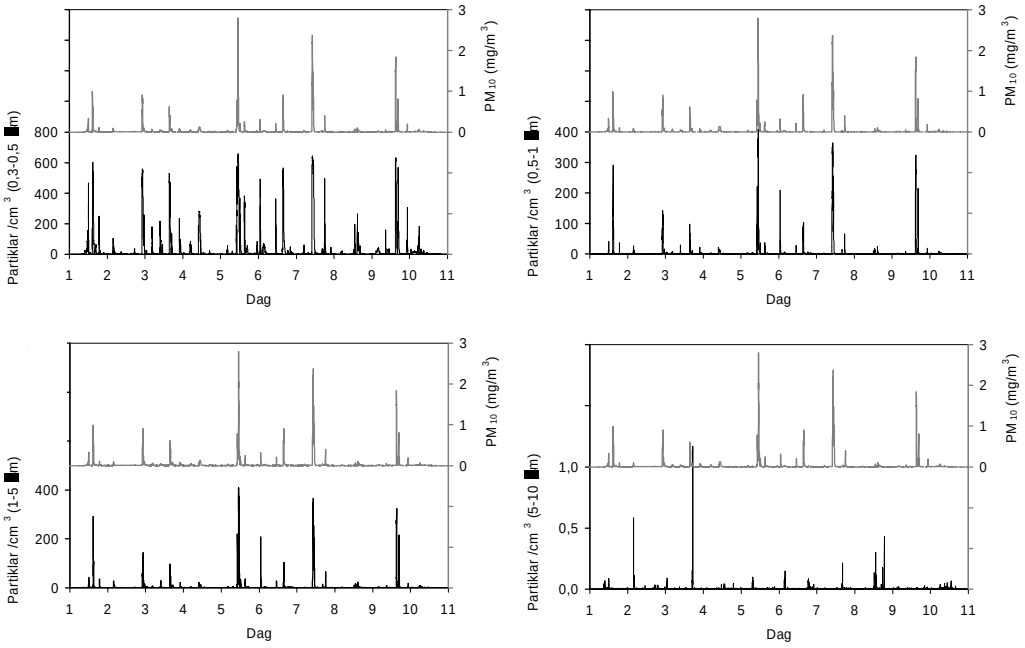
Tabell 4. Detekterade ämnen och möjliga föroreningskällor. (Källa: Henry Johansson, 1997, Prevent Kemiska Ämnen 11.0, 2005)

Detekterade ämnen	Exempel på förekomst/användningsområde
xylener	färg, lösningsmedel, rengöringsmedel, impregneringsmedel, oljor, golvbeläggningsmaterial, härdare för färg, lim
n-butanol	lösningsmedel, härdare för färg, bindemedel (färg, lim,etc), färgtillsatser, färger och lacker, rostskyddsfärg, spädmedel, syntesråvara, lösningsmedel, bilvårdsprodukter
limonen	citrondoft i tekniska produkter, lösningsmedel, skal från citrusfrukter, avfettningsmedel inom verkstadsindustrin, färger och lacker
1,1,1, -trikloretan	lösningsmedel, lim, impregneringsmedel för skinn & textilier, kemtvätt
fenol	desinfektionsmedel, saneringsvätskor
tetrakloretylen	rengöring av elkomponenter, klottersanering
trikloretan	lösningsmedel, lim
toluen	färg, lösningsmedel, rengöringsmedel, oljor
alifatiska kolväten	rengöringsmedel
etanol	lösningsmedel inom gummiindustrin och kosmetikaindustrin, konserveringsmedel och desinfektionsmedel, rengöringsmedel, härdare för färg, bindemedel
isopren	
etylbensen	lösningsmedel inom gummi och plastindustri
naftalen	bränsle
styren	tillverkning av polystyren, polyestrar och andra polymerer

6.11 Aerosoler

Exempel på resultaten från on-line mätningar av total dammhalt (PM_{10}, <10µm, samt antal partiklar i storleksfraktionerna 0,3-0,5, 0,5-1, 1-5 och 5-10 finns presenterade i Figur 9. Resultaten härrör från 11 dygn med olika driftsmood (diesel respektive AIP). Under de 5 uppdrag där partikelmätning genomförts (PM_{10}) har de uppmätta totaldammhalterna varierat mellan 0,001 och 3,6 mg/m^3. Det tidsvägda medelvärdet ligger dock under 0,03 mg/m^3.

Vid partikelstorlekar <5µm är överensstämmelsen i tidpunkt för förhöjda partikelhalter god mellan de två mätmetoderna. Partikelräkningen indikerar att det största tillskottet kommer från små partiklar. Notera att partikelräknaren, vid partikelkoncentrationer över 350 partiklar/cm^3, underskattar det totala antalet partiklar.



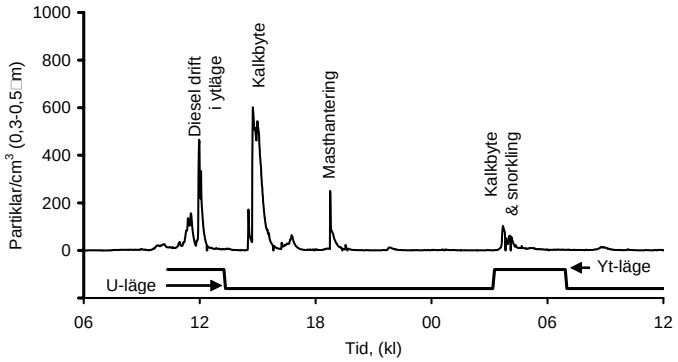
Figur 9. Korrelation mellan on-line mätningar av total dammhalt (PM_{10}) samt antal partiklar i storleksfraktionerna 0,3-0,5, 0,5-1, 1-5 och 5-10.

De kortlivade partikeltopparna korrelerar med vissa aktiviteter ombord (se figur 10). Hantering av master är en aktivitet som ger liknande partikeltoppar vid flera tillfällen. Kalkbyte och dieselstart däremot kan inte betraktas som typiska. Uppkomna toppar avklingar på ca 30 minuter. Aerosolmätningar (DustTrak) verkar vara ett billigt och bra sätt att spåra källor till luftföroreningar ombord.

Uppmätta medelvärden för de genomförda mätningarna ligger under hygieniska gränsvärden för alla typer av damm. Värt att notera är att resultaten från de två mätmetoderna överensstämmer med varandra såtillvida att de ger utslag vid samma tillfällen även om de uppmätta halterna inte är jämförbara.

Som jämförelse ligger totaldammhalterna på den svenska landsbygden på 0,008-0,017 mg/m^3, bakgrundsmiljön i stadsbebyggelse ligger på 0,014-0,023 och vid trafiktoppar kan halten i gatunivå ligga upp mot 0,035-0,044 mg/m^3 (Naturvårdsverket, 2003).

Jämförelser med andra miljöer är dock svåra att göra speciellt då det rör sig om olika typer av partiklar. Det innebär också en osäkerhet att göra jämförelser mellan resultat baserade på olika mätmetoder.



Figur 10. Korrelation mellan förhöjda partikelkoncentrationer och olika aktiviteter ombord.

Stationär pumpad provtagning på glasfiberfyllda glasrör samt milliporfilter genomfördes för att detektera oljedimma samt totaldammhalter. Dessa halter överstiger inte 0,004 respektive 0,1 mg/m^3. Koncentrationerna av bly (Pb), kadmium (Cd) och antimon (Sb) var lägre än 1/10 av det hygieniska gränsvärdet. Silver, zink, krom, koppar och nickel identifierades men koncentrationerna var så låga att de inte är relevanta när det gäller hälsoaspekter.

Låga aerosolhalter tyder på att luftreningssystemets partikelfilter är dimensionerat för de partikelhalter som genereras till luften ombord.

6.12 Flamskyddsmedel

Denna studie är att betrakta som en screening för att undersöka om det emitteras flamskyddsmedel till omgivningsluften i ubåtar under drift. Vid analys identifierades endast en organisk trifosfat, tri (klorpropyl) fosfat. De analyserade halterna var relativt låga 0,046- 0,1 mg/m^3. Halterna är 1/10 av halter som forskargruppen för analytisk kemi vid Stockholms Universitet uppmätta i inomhusmiljöer som kontor, skolor, daghem, sjukhus.

6.13 Mikrobiologiska föroreningar

Resultat från mätning av mikrobiologiska markörer i dammprov från filterduken i det centrala luftkonditioneringsaggregatet redovisas i tabell 5. Den i dammprovet uppmätta halten av mikrobiologiska markörer skiljer sig inte signifikant från halter uppmätta i boendemiljö (Saraf, Larsson et al. 1997; Sebastian and Larsson 2003).

Halterna av markörer i slagvatten varierar mellan 0,1 och 0,8 nmol/ml för gramnegativa bakterier (LPS), 9-85 ng/ml för grampositiva bakterier (MuAc) samt 2 - 36 ng/ml för svamp och mögel (Ergosterol). För vattenproverna finns inget liknande referensfall från normal miljö. Det finns dock en tendens till ökad

mikrobiologisk föroreningsgrad i prover tagna efter jämfört med prover tagna före uppdraget.

Tabell 5. Sammanställning av mätresultat. Lägsta och högsta uppmätta halt, hygieniskt gränsvärde för respektive parameter. (*Kursiva siffror* indikerar att halter över mätmetodens detektionsgräns inte uppmättes). ”30 d exp.” refererar till föreslagna riktlinjer för långtidsexposition (Filipsson, Johansson, 1997)

Parameter	Range	NGV/ (LEL)	30 d exp.	enhet
On-line (kontinuerliga mätningar)				
AQM – Air Quality Monitor				
- Temperatur	18 - 21			°C
- RH	40 - 60			%
- Tryck	86 - 109			kPa
- CO_2	0,1 - 1,1	0,5	0,5	%
- O_2	18,5 - 20,8			%
- H_2	0,01 - 0,6	(4,1)	0,4	%
Damm,				
- $PM_{<10}$	< 0,001 - 0,1	0,5-10		mg/m^3
- Storleksfördelning				
CO (Infra röd spektrofotometer)	0 - 4	25	5	mg/m^3
O_3	0,003 - 0,24	0,2	0,04	mg/m^3
Photo Acoustic Multi Gas Monitor				
- CO	1 - 5	25	5	mg/m^3
Dräger CMS – Chip Measurement System				
- CO	5 - 25	20	4	ppm
- NH_3	*< 2*	25	25	ppm
- NO_X	0,5 - 4	-	-	ppm
- NO_2	*< 0,5* 2	0,4	ppm	
- SO_2	*< 0,4*	2	0,4	ppm
- o-xylene	*< 10*	200	40	ppm
Off-line (intermittent provtagning)				
Formaldehyd	0,005 - 0,01	0,6	0,12	mg/m^3
NO_2 (spektrofotometer)	< 0,02	2	0,4	mg/m^3
VOC/TVOC*				
Aerosoler				
- Totaldamm	0,1 - 0,1	5	1	mg/m^3
- (Metall detektion**)				mg/m^3
- Oljedimma	0,001 - 0,004	1	0,2	mg/m^3
Flamskyddsmedel				
- Organophosphate esters (OPE)	< 0,0001			mg/m^3
Microbiologiska markörer för:				
- Gramnegativa bakterier	0,1			nmol/mg
- Grampositiva bakterier	5			ng/mg
- Svamp och mögel	0,2			ng/mg

6.14 Oxygen konsumption och koldioxidproduktion

Oxygenförbrukningen per besättningsman ligger på ca 0,5 l O_2/minut (30 l/timme). Motsvarande siffra för koldioxidproduktionen är 0,4 l/minut (24 l/timme). Denna beräkning bygger dock på ett antal osäkerheter: ubåtens volym som har uppskattats till 800m^3, loggningsintervallet vid den aktuella mätningen var 30 minuter dessutom finns osäkerhet i mätresultaten.

Det respiratoriska utbytesförhållandet, R (respiratory exchange ratio) är kvoten mellan, via lungan utsöndrad mängd CO_2 och upptagen mängd O_2 per tidsenhet. Det respiratoriska utbytesförhållandet skiljer sig beroende på aktivitet och vilken typ av energiomsättnng som kroppen utnyttjar.

I samband med ämnesomsättningen i kroppen talar man också om den respiratoriska kvoten, RQ (respiratory quotient), vilket är kvoten mellan producerad mängd CO_2 och konsumerad mängd O_2 för olika organ och kemiska reaktioner. RQ vid förbränning av kolhydrater (socker) är 1 och vid förbränning av fett ca 0,70. Då protein konsumeras i kroppen ligger RQ i snitt på 0,82. RQ beräknas i det här fallet till ca 0,8 (0,4/0,5).

7 Slutsatser

Sammantaget verkar klimatet i manöverrum (MR) på ubåt typ Gotland vara komfortabelt vid stillasittande arbete även om effekt av strålningstemperatur, lufthastighet, arbetsintensitet, beklädnad, ojämn temperatur, drag och temperaturskillnad mellan huvud och fot inte har beaktats i den här studien.

Oxygenhalten ligger väl över hypoxiska nivåer och tryckvariationerna är små. Koncentrationerna av formaldehyd, ozon, ammoniak, aerosoler och kvävedioxid överskred inte 5 % av det hygieniska gränsvärdet (NGV), vid något tillfälle överskred vätgashalten 10 % av den lägre explosionsgränsen (LEL, 4,1 %). Koncentrationerna av bly, kadmium och antimon var lägre än 1/10 av det hygieniska gränsvärdet. Silver, zink, krom, koppar och nickel identifierades men koncentrationerna var så låga att de inte är relevanta när det gäller hälsoaspekter. Kemiska markörer för mikrobiologiska föroreningar och flamskyddsmedel var lägre än nivåer detekterade i andra inomhusmiljöer.

Hydraul-, diesel- och smörjolja som används ombord ger det största bidraget till de totalhalter av flyktiga organiska ämnen som detekterats. Även om koncentrationerna överstiger de nivåer där problem börjar uppträda måste de betraktas som låga. Mätinstrument för detektion av TVOC och aerosoler kan avändas för att under drift spåra källor till luftföroreningar/läckage ombord.

I samband med en avgasläcka i u-läge uppmättes förhöjda kolmonoxidhalter.

Vid några tillfällen överskreds det hygieniska gränsvärdet för koldioxid (0,5%). Trots att påverkan på elektrolytbalansen och annan metabolisk påverkan har associerats med vistelse i miljö med en koldioxidhalt av 1-2 % (NIOSH, 1989) resulterar exposition för koldioxidhalter mellan 1,5 och 3 % i få om än några skadliga effekter.

Kunskapen om olika ämnens förstärkande verkan på varandras effekter (synergiska effekter) är ofullständig men vetskapen om att sådana effekter kan förekomma utgör grund för att hålla halterna av de enskilda ämnena så låga som möjligt vid sammansatta expositionsförhållanden.

En viktig aspekt är därför att undersöka behovet av specifika kemiska produkter ombord. Vilka produkter kan avvaras helt och vilka kan bytas ut mot mindre hälsovådliga alternativ? Allt sammantaget krävs engagemang från flera håll samt en noggrann riskbedömning för att ett så väl underbyggt val som möjligt ska kunna genomföras.

De mätningar som utförts på ubåt typ Gotland har inte indikerat någon ackumulering av luftföroreningar under upp till 9 dagars obrutet u-läge. Det måste dock påpekas att studien inte täcker alla föroreningar som finns i en ubåt. En ulägestid på 9 dagar är inte heller representativ för vad som är möjligt att genomföra med en modern ubåt med luftoberoende maskineri. Målsättningen bör dock vara att hålla halterna av de enskilda ämnena så låga som möjligt.

8 Rekommendationer

Följande åtgärder skulle kunna bidra till att minska koldioxidhalterna ombord

- en koldioxidsensor placeras i utloppet från koldioxidscrubbern. Sensorn kopplas till ett larm som indikerar att det är dags för kalkbyte, lämpligtvis vid 0,1% koldioxid i utloppet. Detta leder till ett effektivare utnyttjande av kalken.
- rutiner för en periodisk kalibrering av sensorerna ombord bör införas. Förekomsten av följande ämnen bör studeras då de bedöms kunna medföra en ökad risk för besättningen: svavelväte, väteperoxid samt halogenerade föreningar.

Baserat på genomförda mätningar rekommenderas att båtarna utrustas med instrument för kontinuerlig kolmonoxid analys.

Tackord

Ett stort tack riktas till besättningarna på ubåt typ Gotland utan vars hjälp mätningarna inte kunnat genomföras. Tack riktas även till Ola Persson, Eddie Bergsten, Aleksandra Sebastian, Mårten Spanne och Joakim Pagels.

Referenser

Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, AFS 1993:3, Arbete i slutet utrymme. 1993.

Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling. AFS 2000:3. Systematiskt arbetsmiljöarbete. 2000.

Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling. AFS 2000:42. Arbetsplatsens utformning. 2000.

Arbetsmiljöverkets författningssamling, AFS 2005:15, Vibrationer. 2005.

Arbetsmiljöverkets författningssamling, AFS 2005:16, Buller. 2005.

Arbetsmiljöverkets författningssamling, AFS 2005:17, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar. 2005.

Carlsson H, Nilsson U, et al. Organophosphate Ester Flame Retardants and Plasticizers in the Indoor Environment: Analytical Methodology and Occurrence Environ Sci Technol, 31, 2931-2936. 1997.

Filipsson A, G Johanson. Kontinuerlig exponering för luftföroreningar under lång tid. Förslag till regler för beräkning av riktvärden. Arbetslivsinstitutet, 1997.

Greén H, C Gustafsson (Östberg), M Loncar, H Örnhagen. The submarine atmosphere - a concern to everyone onboard?. In proceedings from submarine air monitoring and air purification conference, Portsmouth. England. 1997.

Greén H, C Gustafsson (Östberg), H Örnhagen. Analys av ubåtsluft, ett utbildningskompendium. FOA-R--98-00718-720—SE Rev. Febr 1999.

Gustafsson (Östberg) C, M Gennser, H Örnhagen. Effects of normobaric hypoxic confinement on human performance. FOA--R-97-00414-720—SE, 1997.

Johanssson Henry, TOX_INFO Handboken, del 10-11. Kemiska Ämnen A-Ö. Oktober 1997. Svenskt Tryck i Göteborg AB, 1997

Kemiska Ämnen 11.0, CD, Chemical Substances. Prevent.

Klenø JG and P Wolkoff. Eye irritation from exposure to ppb levels of limonene oxidation products. In: Proceedings Indoor Air. 2002.

Kling H and J Kristensson. A survey of ”sick offices” at a military air force base. In: Proceedings of the 6th international conference on indoor air quality and climate. By: Jaakkola, Ilmarinen and Seppänen. Helsinki, Finland July, 1993.

Krook Karl, Kemisk Yrkes och miljöhygien. Att identifiera, mäta och eliminera kemiska riskfaktorer i arbetslivet. Arbetslivsinstitutet och Prevent, 2001.

Kristensson J, Å Lunden. Air Profile – a method to characterize indoor air. In: Systems, materials and policies for healthier indoor air. Berglund B, T Lindvall. Swedish council for building research. Stockholm, Sweden, June 1988.

Lakeman J B. Gas evolution and performance assessment of submarine lead/acid batteries. J Power Sources, 53, 99-107. 1995.

Lundh A, H Olsson. Hur kallt får det vara inomhus? Arbetsmiljöverket. PM 2001-04-10, CTB 2199/01. 2001.

NASA. Spacecraft Maximum Allowable Concentrations for selected Airborne Contaminants, NASA. PB 95-106068, 1994.

Naturvårdsverket. Frisk Luft, 5318. 2003.

NIOSH, www.cdc.gov/niosh/pel88/124-38.html. OSHA comments from the January 19, 1989.

Raffaelli, P. "Occupational Hygiene Problems in Submarines-OELs for ContinuousExposure for Prolonged Periods of up to 3 Months." Ann Occup Hyg 33(1): 117-121, 1989.

Risberg, J, Östberg, C, et al. Atmospheric Changes and Physiological Responses During a 6-day "Disabled Submarine" Exercise. Aviat Space Environ Med 75: 138-149, 2004.

Saraf, A, Larsson, L, et al.. "Quantification of ergosterol and 3-hydroxy fatty acids in settled house dust by gas chromatography-mass spectrometry: comparison with fungal culture and determination of endotoxin by a Limulus amebocyte lysate assay." Applied and Environmental Microbiology 63(7): 2554-2559, 1997.

Sebastian, A and Larsson, L. "Characterization of the Microbial Community in Indoor Environments: a Chemical-Analytical Approach." Applied and Environmental Microbiology 69: 3103-3109, 2003.

SMHI, Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, http://www.smhi.se/, 31 okt. 2005

UbRäddnl FM; Ubåtsräddningsinstruktion för Försvarsmakten. Försvars-makten,1997