



Nr B 2308
Juni 2018

Riskbedömning av svenska sjömäns yrkesmässiga exponering för toxiska luftföroreningar

Mätningar och enkätundersökning

Sarka Langer, Cecilia Österman, Bo Strandberg, Håkan Fridén



Finansierat av: Stiftelsen Sveriges Sjömanshus

Författare: Sarka Langer, Håkan Fridén, IVL Svenska Miljöinstitutet; Cecilia Österman, Linnéuniversitet; Bo Strandberg, Arbets- och miljömedicin, Lunds universitet

Medel från: Stiftelsen Sveriges Sjömanshus

Fotograf: Sarka Langer, Cecilia Österman

Rapportnummer B 2308

ISBN 978-91-88787-69-9

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2018**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Idén till denna undersökning av fartygs inomhusmiljö och luftkvalitet föddes när en inomhusmiljöforskare hamnade ombord en isbrytare under en sju veckor lång expedition till Antarktis. Resultat blev ett forskningsprojekt om luftkvalitet på svenska fartyg och inom det arbetet har inomhusmiljöforskaren och en fartygsforskare träffats och inlett samarbete och vänskap.

Projektet som beskrivs i rapporten är en naturlig fortsättning av 1) en undersökning av luftkvaliteten ombord på svenska fartyg och 2) en undersökning av intendenturpersonalens arbetsbelastning och hälsa. Några få tidigare studier har undersökt enskilda parametrar som berör luftkvaliteten på enskilda fartyg. De har främst fokuserat på driftbesättningen som arbetar inom maskin- och däckavdelningarna. Intendenturpersonalens inomhusmiljö och arbetsmiljö har i stort sett inte studerats. Det har däremot inte gjorts någon övergripande studie av det här slaget tidigare. Denna undersökning är den enda som studerat luftmiljön för alla personalkategorier som bemannar svenska fartyg.

Detta projekt skulle inte vara möjligt utan det intresse, nyfikenhet och omsorg om arbetsmiljön till sjöss som visas av Stiftelsen Sveriges Sjömanshus som har finansierat projektet.

Vi vill rikta ett stort och varmt tack till besättningen på alla fartyg som har deltagit i vår undersökning, till fartygsledningarna och rederierna som har gjort det möjligt för oss att komma ombord och ibland åka med på en sjöresa. Ni har alla bidragit till forskningen om arbetsmiljö och inomhusmiljö som är så viktig för både säkerhet, hälsa och välbefinnande.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	5
Summary	7
Inledning	9
Källor och hälsoeffekter av luftföroreningar	10
Luftföroreningar relevanta för denna studie	10
Regler och riktlinjer om luftkvalitet på fartyg	11
Projektets syfte och mål	13
Genomförande.....	14
Fartyg som ingått i studien	14
Metoder för provtagning och analys	15
Deltagande fartygspersonal.....	16
Upplevd luftkvalitet – enkätundersökning	17
Resultat och diskussion.....	18
Personlig exponering för luftföroreningar.....	18
Resultat summerat för alla fartyg	19
Resultat per befattning	23
Resultat per avdelning	27
Resultat från enkätundersökningen	33
Resultat summerat för alla fartyg	33
Resultat per befattning	35
Resultat per avdelning	36
Multivariat analys	38
Riskbedömning.....	42
Kumulativt riskindex	42
Statistisk jämförelse av kumulativt riskindex.....	44
Riskindex och riskbedömning i praktiken	46
Analys av orsaker till höga exponeringar	46
Slutsatser.....	55
Referenser.....	57
Bilagor	60
Bilaga 1 Multivariat analys.....	60

Sammanfattning

Ett fartyg utgör både en arbetsmiljö och en boendemiljö och besättningen vistas ofta långa tider ombord. Ombordtjänstgöringen kan vara i veckor eller månader och kan ibland passera flera klimatzoner. Eftersom vi tillbringar den största delen av vår tid inomhus är det där vi främst exponeras. På ett fartyg kan det vara svårt att påverka sin exponering för kemiska ämnen eftersom möjligheten att byta miljö är liten. Det är därför extra viktigt att inomhusmiljön är god.

Luften ombord präglas till stor del av de kemiska ämnen som har sitt ursprung i fartygets bränsle, smörjolja och motoravgaser. Det är en komplicerad blandning som innehåller mest koldioxid, kolmonoxid, svaveldioxid, kväveoxider men också kolväten såsom bensen, toluen, xylener, och polycykliska aromatiska kolväten. Flera av dessa ämnen är cancerframkallande eller hälsoskadliga på annat sätt. Det finns dock få vetenskapliga studier som undersökt den personliga exponeringen för farliga luftföroreningar som de sjömän som arbetar ombord utsätts för.

Syftet med projektet som presenteras i denna rapport var att kartlägga den personliga exponeringen för de toxiska luftföroreningarna bensen, kvävedioxid (NO₂) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) som alla kan spåras till fartygsbränslet och bränsleavgaser. Den uppmätta exponeringen har analyserats för att kunna identifiera eventuella skillnader mellan typ av fartyg och mellan olika avdelningar och befattningar ombord. De uppmätta halterna har jämförts med svenska lagkrav men också med internationella, icke bindande riktlinjer för inomhusmiljöer, för att få en uppfattning om halternas storlek. Dessutom har vi undersökt hur besättningen själva upplever sin luftkvalitet ombord. Projektets övergripande mål var att utveckla en metod för riskbedömning av exponeringen som kan användas av branschen, samt att formulera praktiska råd och rekommendationer.

Den personliga exponeringen har mätts med passiva diffusionsprovtagare som burits i andningszonen av personer som arbetar ombord. Totalt har vi resultat från 124 personer på 11 olika fartyg med olika typ av framdrivningsmaskineri och som går på olika bränslen. En enkät med frågor om upplevd luftkvalitet på arbetsplatsen och i hytten har delats ut till alla personer i besättningen på de besökta fartygen. Enkäten har besvarats av totalt 308 personer vilket motsvarar en svarsfrekvens på 78%.

Resultaten visar att samtliga uppmätta personliga exponeringar låg långt under Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden som också gäller svenskflaggade fartyg genom Transportstyrelsens föreskrifter. En del personer har exponerats för halter i nivå med och i vissa fall något över Världshälsoorganisationens hälsobaserade rekommenderade riktvärden för inomhusmiljöer. Dessa riktvärden är dock satta för inomhusmiljöer utan industriell verksamhet och med tanke på att barn, sjuka och äldre kan vistas i sådana inomhusmiljöer under en längre tid. Även om fartyget utgör en boendemiljö för de som arbetar ombord, så kan besättningen förväntas utgöras av friska personer i arbetsför ålder. Däremot pekar resultatet på vikten av att arbeta systematiskt med att minimera exponeringen för farliga luftföroreningar så långt som det är möjligt. Världshälsoorganisationen menar att det inte finns säkra halter av bensen och benzo(a)pyren. Därför kan de arbetsuppgifter som innebär en något högre exponering för dessa farliga ämnen behöva riskbedömas särskilt, till exempel sådana som innebär kontakt med bränslen, smörjolja, hydraulolja eller andra kemikalier, eller exponering för fordonsavgaser eller stekos.

En jämförelse av hela besättningens exponering på de olika fartygen visade att det fanns skillnader både mellan fartyg och inom fartyg. Här har multivariata analyser av resultaten gett en sammansatt bild av exponeringen och bekräftar individuella ämnen. Fartygets funktion och bränsle är indikativa

determinanter för exponeringens storlek. Fartyg som fraktar marint bränsle och de som drivs på tjockolja uppvisar högre exponeringsgrad än andra typer av fartyg.

Vid en jämförelse mellan befattning och avdelning ser vi att maskinmanskap generellt har högst uppmätta halter, följt av personal inom däckavdelningen och intendenturen som har lägst halter. Vid en jämförelse av resultaten för befäl och manskap på alla fartyg ser vi ingen skillnad i exponering.

Resultaten av enkätundersökningen visar att luftkvaliteten i stort upplevs som acceptabel. När vi bryter ner resultaten per avdelning ser vi att driftpersonalen, däck- och maskinavdelningarna, är mer nöjda med sin luftkvalitet än intendenturen. Skillnaden mellan avdelningarna syns också när det gäller luktsintensitet, där däck- och maskinavdelningarna upplever liten till måttlig lukt på sin arbetsplats och i sin hytt och intendenturpersonalen upplever en starkare lukt på sin arbetsplats, från måttlig till stark lukt.

Exponering för mer än ett ämne med liknande effekt innebär en så kallad additiv, hygienisk effekt. Ett kumulativt riskindex har därför tagits fram utifrån summan av kvoterna mellan uppmätt halt för ämnena NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen och deras respektive hälsobaserade riktvärde framtaget av Världshälsoorganisationen. Detta riskindex har använts för att jämföra exponeringen med normalbefolkningen i Sverige, samt för att identifiera skillnader mellan fartyg, befattningar och avdelningar. Kumulativt riskindex kan användas för riskbedömningar av arbeten och arbetsuppgifter med syfte att eliminera och minimera kända exponeringar så långt som möjligt.

Åtgärder för att minska den personliga exponeringen kan vara både tekniska och organisatoriska. Det är viktigt att säkerställa en god allmänventilation för såväl arbetsplatser som hytter. Vissa utrymmen kan behöva särskilda utsug, såsom arbetsplatser för svetsning och maskinbearbetning, rengöring av motordelar, blandning av färg, över stekbord i köket och liknande, för att fånga upp luftföroreningar nära källan. Alternativt kan befintliga utsug behöva förbättras. Det är också viktigt att ha bra rutiner för rengöring och underhåll av arbetsutrustning och ventilationsanläggningar. Organisatoriska åtgärder kan vara att planera och fördela arbetet för att minska exponeringen för den enskilde individen genom arbetsrotation, arbetsväxling och möjligheter till paus i utrymme med lägre exponering.

De skillnader i upplevelsen av luftens kvalitet som ses mellan avdelningarna kan dels förklaras av olika typer av arbetsuppgifter och exponeringar som personalen inom de respektive avdelningarna har men upplevelsen styrs också av psykosociala arbetsmiljöfaktorer som hög arbetsbelastning, höga krav i arbetet och liten möjlighet att själv kunna påverka sin arbetssituation, samt lågt socialt stöd och låg arbetstillfredsställelse. Här kan helt andra typer av arbetsmiljöåtgärder behöva diskuteras för att öka upplevelsen av inflytande, delaktighet och stöd i arbetet.

Summary

For the crew on board, the vessel constitutes both a working and living environment, and the crew often spend long times on board. A tour of duty can last for weeks or months and may pass several climate zones. Since we spend most of our time indoors, this is where we are primarily exposed for any harmful air pollutants, and on board a vessel, it can be particularly difficult to control the exposure.

The indoor air environment of a vessel is largely characterized by chemical compounds that originate from fuel, lubricants and engine exhausts. It is a complex mixture containing mostly carbon dioxide, carbon monoxide, sulphur dioxide, nitrogen oxides, as well as hydrocarbons such as benzene, toluene, xylene, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Several of these compounds are carcinogenic or harmful to health in another way. However, there are few scientific studies that investigated seafarers' personal exposure of hazardous air pollutants on board.

The purpose of the project presented in this report was to map the personal exposure of the toxic substances benzene, nitrogen dioxide (NO₂) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), all of which can be traced to the marine fuel and/or diesel exhaust emissions. The measured exposure has been analysed to identify any differences in exposure between different types of vessels, and between departments and professions on board. The measured concentrations have been compared with Swedish legal requirements, but also to international guidelines for indoor environments to be able to relate the results to exposures in the home environment. In addition, we have also investigated how the crew perceives the air quality on board. The overall aim of the project was to develop a method for risk assessments of exposure that can be used by the industry, as well as to formulate practical advice and recommendations.

The personal exposure has been measured with passive diffusion samplers carried in the respiratory zone of people working on board. In total, we have results from 124 persons on 11 different vessels with diverse types of propulsion machinery and operating on different fuels. A self-reporting questionnaire regarding the perceived indoor air quality at the workplace and in the cabin was distributed to all crew members on the visited ships. The survey has been answered by a total of 308 people, which corresponds to a response rate of about 78 %.

The results show that all measured personal exposures are well below the Swedish occupational exposure limits. Some persons' exposure levels were in line with and, in some cases, slightly above the World Health Organization's health-based recommended target values for indoor environments. The recommended target values are set for indoor environments without industrial activity, given that children, sick and elderly people may be present in the premises. Although the ship constitutes a living environment for those on board, the crew can be expected to be healthy people of working age. Rather, the results point to the importance of a systematic work to minimize exposure to hazardous air pollutants as far as reasonably possible. The World Health Organization states there are no safe levels of benzene and benzo(a)pyrene. Therefore, tasks involving a slightly higher exposure to these hazardous substances may need to be assessed in particular, such as for persons who during work get in contact with fuel oils, lubricants, hydraulic oils or other chemicals, or are exposed to vehicle exhaust gases or compounds originating in food frying.

A comparison of the entire crew's exposure on the individual vessels showed that there were differences both between ships and within ships. Here, a multivariate analysis of the results has given an integrated picture of exposure and confirms results for individual compounds. The vessel's

function and fuel are indicative determinants of the level of exposure. Vessels transporting marine fuels and those operated on heavy fuel oil exhibit higher exposure level than other types of ships.

In a comparison between the engine, deck and service departments on board the ships, we see that the engine personnel generally have the highest measured levels, followed by deck personnel. The service personnel report the lowest levels. When comparing the results between officers and crew on all ships, there were no statistically significant differences in exposure to the hazardous compounds.

The results of the self-reporting questionnaire on perceived indoor air quality show that the indoor air quality generally is perceived as acceptable by the crew. When analysing the results per department, we see that the deck and engine departments are more satisfied with the air quality than the service personnel. The difference between departments is also evident in the intensity of the odour, where the deck and engine departments report a perceived small to moderate odour at workplaces and in the cabins, while the service personnel report from moderate to strong odour at the workplaces.

The personal exposure to more than one substance with similar effects will give rise to a so-called additive, hygienic effect. Therefore, a cumulative risk index has been calculated based on the sum of the ratios between measured levels of NO₂, benzene, benzo(a)pyrene and naphthalene, and their respective health-based target values set by the World Health Organization. This risk index has been used to compare exposures with the normal population in Sweden, as well as to identify differences between ships, job positions and departments. The cumulative risk index can be used for risk assessments of work and tasks with the aim of eliminating and minimizing known exposures as far as reasonably possible.

Measures to reduce personal exposure may be both of technical and organizational character. It is important to ensure good general ventilation for both workplaces and cabins. Some spaces may need to be supplemented with local exhaust ventilation, such as welding and machine workplaces, spaces for engine parts cleaning, mixing of paints, over kitchen worktops, in order to capture air pollutants near the source. Alternatively, existing ventilation exhausts may need to be improved. It is also important to establish good routines for cleaning and maintenance of work equipment and ventilation systems. Organizational measures include planning and designing of work to reduce individual exposure, for instance by job rotation, job enlargement and the opportunity for rest in spaces with lower exposure to harmful pollutants.

The differences in the perception of air quality seen between the departments can be explained by different types of tasks and exposures for the personnel in the respective departments, but the perception is also affected by psychosocial work environment factors. A high workload, high job demands with limited decision latitude and low social support, as well as low job satisfaction are factors known to affect how the indoor air is perceived. Here, are other types of work environment measures are needed to improve the experience of job influence, participation and support at work.

Inledning

Ett fartyg utgör både en arbetsmiljö och en boendemiljö och besättningen vistas ofta långa tider ombord. Eftersom vi tillbringar den största delen av vår tid inomhus är det där vi främst exponeras och det kan vara svårt att påverka sin exponering för de kemiska ämnen som finns i fartygets inne- och arbetsmiljö.

Luftkvaliteten på ett fartyg präglas till stor del av de kemiska ämnen som har sitt ursprung i fartygets bränsle, smörjoljor och motoravgaser. Det är en komplicerad blandning som innehåller mest koldioxid men även kolmonoxid, svaveldioxid, kväveoxider och kolväten såsom bensen, toluen, xylener, och polycykliska aromatiska kolväten (PAH).

Flera vetenskapliga studier har uppmärksammat att yrkesmässig exponering för bränsleavgaser (speciellt dieselavgaser) och bränslekomponenter såsom bensen, NO₂ och PAH ger ökad risk för lungcancer. Detta har påvisats bland yrkesgrupper som t.ex. buss- och lastbilsförare, poliser och gruvarbetare (Silverman et al., 2012). Dessutom finns ett flertal studier som undersöker personlig exponering för olika luftföroreningar bland normalbefolkning och andra yrkeskategorier som i sitt arbete kommer i kontakt med emissioner och avgaser från bränslen (Jo & Song, 2001; Järvholm & Reuterwall, 2012).

Det finns få publicerade vetenskapliga studier som berör omfattningen av fartygspersonals exponering för luftföroreningar. Ett av få exempel är en äldre undersökning av däckspersonals exponering för bensen och PAH vid arbete på oljetankfartyg (Moen et al., 1995). Bensen påvisades i halterna 32 – 3 700 µg/m³ med ett extremt fall på 175 000 µg/m³. Som jämförelse är det svenska gränsvärdet 1 500 µg/m³ över en arbetsdag (AFS, 2018:01). Halterna av PAH uppgavs i artikeln som "låga" dock utan numeriska värden. Från en annan studie av besättningens bensenexponering på oljetankfartyg rapporteras halter från 139 mätningar på 3 – 53 000 µg/m³ med ett geometriskt medelvärde på 64 µg/m³ (Kirkeleit et al., 2006).

Världshälsoorganisationen (WHO) har utfärdat riktvärden för luftföroreningar i inomhusluft för ett fåtal kemiska ämnen med cancerframkallande eller på annat sätt skadliga hälsoeffekter. Bland dessa ämnen finns bensen, kvävedioxid (NO₂) och PAH. NO₂ används i arbetsmiljösammanhang som markör för exponering av dieselavgaser (WHO, 2010).

Förekomst av cancer bland svensk sjöpersonal har undersökts av bland andra Forsell m.fl. (2007), som visade att i synnerhet besättningen som arbetar i maskinrummet har förhöjd risk att drabbas. Resultat från andra nordiska länder visar att t.ex. dansk och finsk sjöpersonal har förhöjd risk för cancer jämfört med normalbefolkningen och att det finns skillnader i riskmönster mellan de olika arbetskategorierna fartygsingenjörer, matroser och däcksbefäl (Kaerlev m.fl., 2005; Saarni m.fl., 2002).

En del av problematiken kring exponering och insjuknande i cancer- och astmasjukdomar är att exponeringsundersökningar görs ofta *post factum*, dvs. för sent, och att man inte kan följa historiska data. Undersökningar av exponering för ohälsosamma luftföroreningar samt av förekomst av cancer bland sjömän har studerats i separata undersökningar vid olika tillfällen. Tidigare genomförda studier av exponeringsmätningar vid enskilda tillfällen visar att koncentrationen av cancerogena luftföroreningar kan ligga under eller mycket under det hygieniska gränsvärdet. Även om den uppmätta halten av en luftförorening ligger under det hygieniska gränsvärdet vid mättillfället kan vissa arbetssituationer innebära en tillfälligt högre exponering. Det finns också en oro bland besättningarna för vad de utsätts för i deras dagliga arbete. Till exempel har kökspersonal och annan personal inom

intendenturen så gott som helt missats i tidigare undersökningar av sjöpersonals exponering för farliga ämnen och upplevelse av luftkvalitet.

Enligt Transportstyrelsens sjömansregister arbetar över 130 000 personer ombord på svenska fartyg. Farliga ämnen från fartygets bränsle, motoravgaser och last kan bidra till långvarig exponering för luftföroreningar på fartyg. Även om förhöjd förekomst av cancer bland sjömän finns dokumenterad i vetenskaplig litteratur saknas kunskap om den faktiska exponeringen av fartygspersonal för luftföroreningar. Detta projekt har därför syftat till att undersöka, rapportera och dokumentera de faktiska exponeringarna hos de olika kategorierna av fartygspersonal för framtida studier av sambandet mellan ohälsa och exponering.

Källor och hälsoeffekter av luftföroreningar

De vanligaste källorna till luftföroreningar i inomhusmiljön i t.ex. bostäder och kontorsmiljöer härrör från inredningens färger, lim, möbler, byggnadsmaterial och rengöringsprodukter. Andra källor är produkter för personlig hygien såsom deodorant, schampo, kosmetika och människor själva. I utomhusmiljön härrör luftföroreningar främst från avgaser och restprodukter vid förbränning av fossila bränslen. Vid förbränning av t.ex. tjockolja och diesel sker flera kemiska reaktioner som bildar avgaser som innehåller ett stort antal ämnen, bland annat koldioxid (CO₂) och kolmonoxid (CO) men också kväveoxid (NO) som omvandlas till kvävedioxid (NO₂) i kontakt med ozon. Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) finns som komponent i bränslet samt bildas vid ofullständig förbränning. Alla dessa ämnen går att spåra i fartygens inomhusmiljö då de dras in genom ventilationssystemen ombord.

Epidemiologiska och toxikologiska studier visar på samband mellan exponering för luftföroreningar och hälsoeffekter. International Agency for Research on Cancer (IARC) uppgraderade år 2012 sin klassificering av dieseldavgaser till "cancerogent för människor", baserat på stort vetenskapligt stöd för att dieseldavgaser är kopplade till ökad risk för lungcancer (IARC, 2012). För de ämnen som undersöktes i denna studie – kvävedioxid (NO₂), bensen, flyktiga organiska ämnen (VOC), polycykliska aromatiska kolväten (PAH) – finns gränsvärden och/ eller rekommenderade riktvärden som baseras på forskning.

Luftföroreningar relevanta för denna studie

I denna studie undersöktes fartygspersonalens exponering för ett urval hälsoskadliga luftföroreningar, nämligen NO₂, bensen och benso(a)pyren. Bensen är ett av ämnena som ingår i begreppet VOC och benso(a)pyren är ett PAH-ämne.

NO₂ bildas i förbränningsprocesser och ingår bland annat i avgaser från förbränningsmotorer. Den primära produkten är NO som omvandlas mycket snabbt till NO₂ under inverkan av ozon. NO₂ irriterar ögonen och luftvägarna, kan orsaka luftvägsinflammation, nedsatt lungfunktion och leda till nedsatt immunförsvar med ökad benägenhet för luftvägsinflammation (WHO, 2010). NO₂ påverkar även astmatiker och allergiker genom att öka känsligheten gentemot allergener (ämnen som orsakar allergi eller överkänslighet). Tester har genomförts där allergiker reagerat på en mycket liten dos av allergen, som i normalfall inte skulle påverka personerna, efter exponering för kvävedioxid (Staxler et al., 2001). Arbetsmiljöverket beslutade att kraftigt sänka de hygieniska gränsvärdena för yrkesmässig exponering för NO₂ under 2018. Nivågränsvärdet (tidsvägt medelvärde för 8 timmars arbetsdag) sänktes från 4 mg/m³ till 0,96 mg/m³ (4 000 µg/m³ till 960 µg/m³) och korttidsgränsvärdet (under en referensperiod på 15 minuter) sänktes från 10 mg/m³ till 1,9 mg/m³ (10 000 µg/m³ till 1 900 µg/m³).

Gränsvärdet för NO₂ är avsett att ta hänsyn till den samlade effekten av de ämnen som förekommer i diesellavgaser (AFS 2018:1).

Flyktiga organiska ämnen (VOC) har sina huvudsakliga källor inomhus. De avges från byggmaterial, inredning och kan också bildas vid matlagning. VOC medför hälsoeffekter vid kraftigt förhöjda halter, främst huvudvärk och irritation på grund av lukt. På ett fartyg är den största källan till VOC fartygets bränsle, både genom avdunstning och som komponent i avgaser. Bensen, ett av många kolväten som finns i brännolja, är cancerogent och kan ge leukemi.

PAH är en grupp av flera hundra ämnen som bildas när organiska material hettas upp eller förbränns ofullständigt, vid underskott av syre. PAH finns bland annat i tobaksrök och är också beståndsdel i vissa bränslen. Akuta och långvariga hälsoeffekter av PAH beror i huvudsak på hur exponeringen har skett (genom inandning, hudkontakt eller förtäring), hur länge och hur hög halten är. Det beror också på hur giftig PAH-föreningen är och den exponerade personens hälsotillstånd i övrigt (Kim et al. 2013). Kortvarig exponering för höga halter av PAH kan leda till irritation av hud och ögon, illamående och försämrad lungfunktion hos astmatiker. Långvarig exponering för låga halter av vissa PAH, bland annat benso(a)pyren som undersöks särskilt i detta projekt, kan orsaka lungcancer. Benso(a)pyren används ofta som markör för den totala PAH-exponeringen eftersom den i hög grad bidrar till hälsoeffekten av PAH (Choi et al., 2010). Benso(a)pyren är ett av de äldsta kända carcinogena ämnena för yrkesmässig exponering. Redan på 1700-talet upptäcktes det att sotare drabbades av en särskild typ av cancer som kunde härledas till deras exponering för sot (Pott, 1776) och 1933 identifierades benso(a)pyren som det ämne i sot och avgaser som kan orsaka cancer (Phillips, 1983).

Naftalen, ett annat PAH-ämne som undersöks särskilt i denna studie klassas som möjligtvis cancerframkallande hos människor. Naftalen uppkommer främst genom förbränningsprocesser och exponering för naftalen sker genom inandning av avgaser, lösningsmedel, smörjmedel, tobaksrök eller konsumentprodukter såsom hårspray (Buckpitt et al., 2010). Exponering för naftalen kan verka irriterande för ögon och slemhinnor och kan också ge upphov till hemolytisk anemi, ett tillstånd där de röda blodkropparna bryts ner (Preuss et al., 2003).

Regler och riktlinjer om luftkvalitet på fartyg

Arbetsmiljön på fartyg regleras i Sverige av Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om arbetsmiljö på fartyg (TSFS, 2009:119). Genom denna föreskrift sätts Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2018:1) om hygieniska gränsvärden i kraft för svenskflaggade fartyg. Gränsvärdena är bindande och får inte överskridas. De kan anges som medelvärde för en hel arbetsdag (nivågränsvärde) eller 15 minuter (korttidsgränsvärde). Utöver svenska lagkrav finns också internationella riktlinjer och standarder som gäller fartyg, bland annat från FN:s organ för sjöfartsfrågor, International Maritime Organization (IMO, 2018), klassificeringsbolag, branschorgan och lastägare som ofta ställer högre krav vad gäller arbetsmiljö och säkerhet ombord. För tankfartyg gäller den omfattande ISGOTT, International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ICS, 2006).

De hygieniska gränsvärdena är avsevärt högre än de halter som uppmätts i det här projektet. De är också satta för att passa industriella miljöer där arbetstagarna vistas under andra förhållanden än på ett fartyg där de anställda bor och arbetar ombord under längre tider än vad som normalt är fallet på en arbetsplats iland. För att kunna jämföra resultaten i denna undersökning med andra typer av inomhusmiljöer används därför hälsobaserade riktlinjer utfärdade av Världshälsoorganisationen (WHO, 2005, 2010) samt av Umweltbundesamt (UBA, 2018) – den tyska motsvarigheten till Naturvårdsverket. Dessa riktvärden gäller för bostäder och andra icke-industriella miljöer men används här för att relatera uppmätta halter i arbets- och boendemiljöer på fartyget. Dessa riktvärden är betydligt lägre än

de hygieniska gränsvärdena och *bör* inte överskridas. Det kan vara svårt för personer som inte är vana att läsa och analysera halter av luftföroreningar att sätta sig in i vad som är en hög eller låg halt och vad som är så att säga 'normalt'. För att få ytterligare perspektiv på de uppmätta halterna har halterna i fartygens inommiljö även jämförts med undersökningar som genomförts och utvärderat normalbefolkningens exponering (Hagenbjörk-Gustafsson et al., 2014; Yazar et al., 2011; Åkerström et al., 2009). Dessa jämförelser med hälsobaserade riktlinjer och halter som förekommer i bostäder är inte på något vis juridiskt bindande.

Halter av flyktiga organiska ämnen i inomhusluft anges ofta som en summa av analyserade ämnen, så kallade totalkolväten (TVOC – Total Volatile Organic Compounds). Det kan finnas omkring 6 000 ämnen i inomhusluften och halten varierar mellan olika inommiljöer. TVOC används för att ge en indikation på förekommande halter av organiska ämnen. Eftersom det finns en stor variation i vilka ämnen som ingår i TVOC, går det inte att dra några slutsatser om hälsoeffekter baserat på uppmätta TVOC-halter.

I Tabell 1 redovisas förekommande gräns- och riktvärden för de ämnen som ingått i denna studie. IARC har delat in närmare 1 000 ämnen (verksamma ämnen) i fem grupper beroende på cancerogenitet. Hur de undersökta ämnena har klassificerats framgår av kolumnen *IARC-grupp*. Vilken tidsperiod som avses för respektive gräns- och riktvärde framgår av kolumnen *Medelvärdesperiod*. Bensen och benso(a)pyren har både svenskt hygieniskt gränsvärde för yrkesmässig exponering, samt ett hälsobaserat riktvärde. Världshälsoorganisationen menar dock att det inte finns några säkra halter för dessa två ämnen (WHO, 2010). Exponeringen ska alltid hållas så låg som möjligt.

Tabell 1. Sammanställning av rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet inomhus. I kolumnen *Medelvärdesperiod* anges vilken tid som gäller för respektive rikt- eller gränsvärde.

Parameter	IARC grupp	Riktvärde inommiljö	Gränsvärde arbetsmiljö	Medelvärdesperiod	Referens
NO ₂ kvävedioxid	--	40 µg/m ³		1 år	WHO, 2010
			960 µg/m ³	Nivågränsvärde (8h)	AFS 2018:1
			1 900 µg/m ³	Korttidsgränsvärde (15 min)	AFS 2018:1
TVOC	--	300 µg/m ³		Långtidsgenomsnitt	UBA
Bensen	Grupp 1 carcinogent	1,7 µg/m ³		Hälsobaserat, hela livet	WHO, 2010
			1 500 µg/m ³	Nivågränsvärde (8h)	AFS 2018:1
			9 000 µg/m ³	Korttidsgränsvärde (15 min)	AFS 2018:1
Benso(a)pyren	Grupp 1 carcinogent	0,00012 µg/m ³		Hälsobaserat, hela livet	WHO, 2010
			2 µg/m ³	Nivågränsvärde (8h)	AFS 2018:1
			20 µg/m ³	Korttidsgränsvärde (15 min)	AFS 2018:1
Naftalen	Grupp 2B möjligtvis carcinogent	10 µg/m ³		1 år	WHO, 2010
			50 000 µg/m ³	Nivågränsvärde (8h)	AFS 2018:1
			80 000 µg/m ³	Korttidsgränsvärde (15 min)	AFS 2018:1

Eftersom PAH består av så många ämnen med varierande hälsoeffekter finns det inget riktvärde för totala halten PAH. Sedan 1970-talet har det funnits metoder för att mäta och analysera 16 prioriterade PAH-ämnen som identifierats av den amerikanska miljöskyddsbyrån US EPA (USEPA, 1986; Wise et al., 2015). Denna lista har länge varit en grundreferens för att bestämma halter och hälsoskadlighet vid PAH-exponering. Under senare år har fler ämnen lagts till i listan över PAH-ämnen som bör analyseras för att ytterligare bidra till kunskapen om exponeringar och potentiella hälsoeffekter. Vilka PAH-

ämnen som analyseras beror på område som studeras. Gemensamt är dock att benso(a)pyren ingår i alla metoder eftersom det är väl känt att det kan orsaka ohälsa och det finns ett riktvärde.

Projektets syfte och mål

Med avstamp i den bakgrund som presenterades i förra avsnittet har följande problemställning formulerats för projektet:

- Vad utsätts fartygspersonalen vid arbete och vistelse på fartyg för, i form av luftburna farliga föroreningar, och hur skiljer sig exponering för de olika kategorierna av fartygspersonal?
- Är fartygspersonalens hälsa mera i fara när de arbetar ombord än när de är hemma?
- Hur ska arbete och arbetsmiljö vara utformade för att eliminera och minimera höga exponeringar?

Syftet med projektet var att kartlägga den personliga exponeringen för toxiska luftföroreningarna kvävedioxid (NO₂), bensen, och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) som alla kan spåras till fartygsbränslet och bränsleavgaser. Vi valde att undersöka dessa ämnen eftersom de vid tillräckligt förhöjda halter kan vara skadliga för hälsan. Den uppmätta exponeringen har sedan jämförts med svenska och internationella lagkrav och riktlinjer för inomhusmiljöer. Vi har också undersökt hur besättningen själva upplever sin luftkvalitet ombord.

Målet för projektet var att:

- öka kunskapen om svenska sjömäns exponering för farliga ämnen NO₂, bensen och benso(a)pyren i fartygsluften
- ta reda på sjöpersonalens upplevelse av luftkvaliteten ombord
- utveckla råd och rekommendationer om åtgärder för att minimera den exponeringen

Projektets mål uppnås genom att kartlägga besättningens exponering på ett antal fartyg med olika funktioner, storlekar, framdrivningssätt och bränslen. Utvärderingen baseras på att undersöka likheter och/eller skillnader för typ av fartyg (fartyg med en specifik funktion eller med last), för personalkategorier (befäl och manskap) och för avdelningar (maskin-, däck- och intendenturavdelning). Projektets övergripande mål var att utveckla en metod för riskbedömning av exponeringen som kan användas av branschen, samt formulera praktiska råd och rekommendationer för både befintliga fartyg och nybyggnationer.

Genomförande

Fartyg som ingått i studien

Tabell 2 visar en sammanställning över de fartyg som ingick i studien, typ av framdrivningsmaskineri, vilket bränsle fartygen kördes på under provtagningen, samt antal personer som bar provtagare för mätning av personlig exponering på varje fartyg. Undersökningen genomfördes som tretton mätkampanjer på elva fartyg: antingen med en arbetsfunktion såsom ett kryssningsfartyg (passagerarfärja), ett ro-pax fartyg, ett seismikfartyg, ett örlogsfartyg, ett kustbevakningsfartyg och en isbrytare eller fartyg som fraktade någon last såsom ett bunkerfartyg, ett oljetankfartyg samt tre fartyg för torrlast som vid mättillfällena fraktade träpellets, papper respektive cement. Fartygen som ingick i studien identifierades med hjälp av referensgruppen och SAN - Sjöfartens Arbetsmiljönämnd.

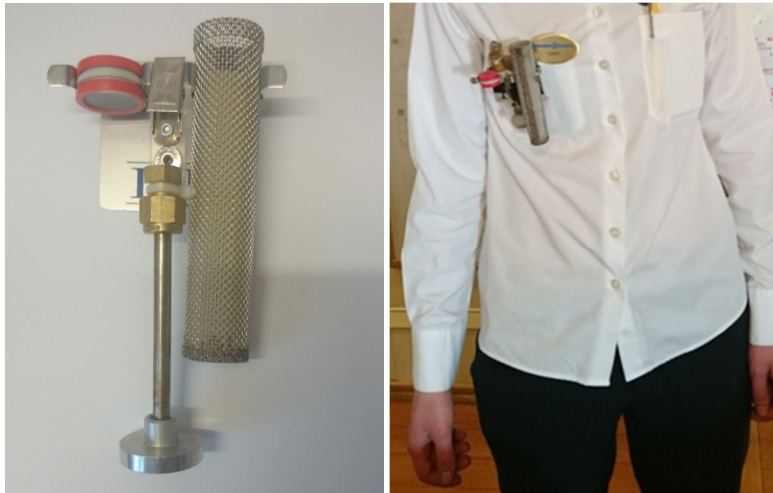
Den första mätningen på isbrytaren och båda mätningarna på kryssningsfartyget utfördes inom ramen för ett annat projekt, som en pilotstudie. På isbrytaren och på kryssningsfartyget genomfördes mätningar vid två tillfällen: före och efter byte av bränsle. Bränslebytet var påkallat av nya, internationella lagkrav som trädde ikraft 2015 och reglerar fartygs utsläpp av svaveloxider (SO_x) inom så kallade svavelkontrollområden (SECA) i Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen. För att uppfylla dessa krav bytte isbrytaren bränsle från en tjockolja (HFO) med 1 % S (svavelinnehåll) till marindiesel (MDO). Kryssningsfartyget bytte från HFO 1 % S till en ultralågsavlig hybridolja, RMB30 med 0,1 % S. Utvärdering av resultaten från pilotstudien resulterade både i data och i en praktisk metodik för den följande och mer omfattande studien.

Tabell 2. Sammanställning av fartyg som ingick i studien.

Fartyg	Bränsle	Framdrivning	Datum	Provtagare
Kryssningsfartyg HFO	HFO 1%S	Dieselmekanisk	2014-11-23 -- 2014-11-26	10 personer
Kryssningsfartyg RMB30	RMB30 0,1% S	Dieselmekanisk	2015-04-13 -- 2015-04-18	11 personer
RoPax	RMB30 0,1% S	Dieselmekanisk	2016-05-04 -- 2016-05-11	9 personer
Seismikfartyg	MGO	Dieselektrisk	2016-12-09 -- 2016-12-16	10 personer
Örlogsfartyg	MGO	Dieselektrisk	2017-03-27 -- 2017-03-31	11 personer
KBV kombinationsfartyg	Marin diesel	Dieselektrisk	2017-04-13 -- 2017-04-18	10 personer
Isbrytare HFO	HFO 1%S	Dieselmekanisk	2016-07-16 -- 2016-07-22	10 personer
Isbrytare MDO	Marin diesel	Dieselmekanisk	2016-08-06 -- 2016-08-18	10 personer
Bunkerfartyg	MGO max 0,1%S	Dieselektrisk	2016-04-01 -- 2016-04-08	8 personer
Oljetankfartyg	RBM30 0,1%S	Dieselmekanisk	2016-05-10 -- 2016-05-16	10 personer
Torrlastfartyg pellets	MGO 0,09%S	Dieselmekanisk	2016-03-21 -- 2016-03-28	6 personer
Torrlastfartyg papper	HFO ULS	Dieselmekanisk	2016-11-03 -- 2016-11-09	10 personer
Torrlastfartyg cement	MGO	Dieselmekanisk	2016-12-12 -- 2016-12-19	9 personer

Metoder för provtagning och analys

Mätningar av gasformiga luftföroreningar har gjorts med så kallade passiva provtagare som bär i andningszonen av ca 10 personer ur besättningen under 4–7 dygn (Figur 1). Provtagarna samlar upp de kemiska ämnena när de rör sig med naturliga luftrörelser, så kallad diffusion. De är lätta, ljudlösa och behöver inte kopplas till någon pump.



Figur 1. Till vänster ses passiva provtagare för NO₂ (röd knapp), VOC (stålrör) och PAH (en bit polyuretanskum i stål nätet). Till höger visas hur provtagarna bär av deltagarna i studien.

NO₂ uppmättes med IVL:s diffusiva provtagare (röd ”knapp” till vänster i Figur 1). Arbetsprincipen för diffusiv (passiv) provtagning är molekylär diffusion av gaser vid konstant hastighet. Gasmolekylerna diffunderar in i provtagaren där de kvantitativt samlas upp under provtagningstiden. Efter provtagningen analyserades proverna på IVL:s laboratorium med våtkemiska metoder. Resultaten visas som medelvärde för halter summerade över provtagningstiden. Mer detaljer om principer för diffusiv provtagning och analysmetoder finns beskrivna i Ferm (2001) samt Ferm & Rohde (1997).

För passiv provtagning av flyktiga organiska ämnen (VOC) användes rör innehållande Tenax[®] adsorbentmedium (Tenaxrör, model N9307005, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). VOC analyserades både som summa av VOC i provet (TVOC) och som individuella ämnen identifierade och kvantifierade med gaskromatografi/masspektrometri (GC/MS; GC 6890, MS 5973N, Agilent, USA). Totalhalter av flyktiga organiska ämnen, TVOC, uttrycks i toluen-ekvivalenter enligt internationell praxis. Detta innebär att beräkningarna har gjorts som om alla ämnen var enbart toluen. Detta görs för att få en uppfattning om totalhaltens storlek. Bensen har kvantifierats ämnesspecifikt.

PAH uppmättes med passiv specialprovtagare bestående av polyuretanskum (PUF) (Strandberg et al., 2018). Provtagaren är cylindrisk, ungefär 10 cm lång, 2 cm i diameter och med en upptagningsarea på 77 cm². Under provtagningen bärs PUF-provtagaren i en särskild skyddsbehållare av metall med en nätstorlek på 1 mm. Före provtagningen renas provtagaren genom lakning i ett organiskt lösningsmedel. För analys har provtagarna extraherats (lakats ur) i ett organiskt lösningsmedel och analyserats med gaskromatograf kopplad till masspektrometer (GC/MS). För detaljerad beskrivning av instrument och analysmetod, se Bohlin, m.fl. (2010).

Halten bestämdes för 32 specificerade PAH-ämnen; de 16 PAH-ämnena som prioriterats av US EPA samt 16 alkylerade PAH-ämnen. I rapporten kvantifieras och presenteras, förutom summa 32 PAH-ämnen, även de individuella PAH-ämnena benzo(a)pyren och naftalen.

Projektet påbörjades hösten 2015 och avslutades i juni 2018.

Deltagande fartygspersonal

I Tabell 3 redovisas en sammanställning över de personer som samtyckt till att medverka i undersökningen av den personliga exponeringen för luftföroreningar ombord. Totalt deltog 125 personer under tretton mätkampanjer på de elva fartygen. En provtagare råkade dock falla överbord under arbete på däck under provtagningen varför resultat redovisas för 124 personer.

Vi har strävat efter en så representativ fördelning som möjligt. Normalt har 10 personer per fartyg burit provtagare men i vissa fall har besättningen varit färre än så. Av de 124 personerna som medverkat arbetade 61 inom däcksavdelningen, 36 i maskin och 27 inom intendenturen. 54 personer arbetade som befäl och 70 som manskap.

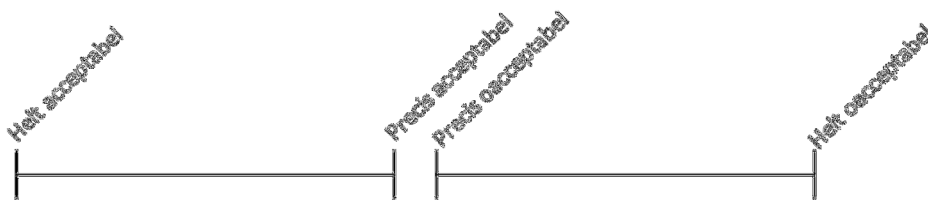
Tabell 3. Sammanställning av deltagande fartygspersonal: personlig exponering

Fartyg	Antal	Däck	Maskin	Intendentur	Befäl	Manskap
Kryssningsfartyg HFO	10	2	3	5	4	6
Kryssningsfartyg RMB30	11	2	3	6	4	7
RoPax	9	2	2	5	1	8
Seismikfartyg	10	6	4	0	5	5
Örlogsfartyg	11	7	3	1	6	5
KBV kombinationsfartyg	10	6	3	1	4	6
Isbrytare HFO	10	4	4	2	4	6
Isbrytare MDO	10	5	3	2	4	6
Bunkerfartyg	8	6	1	1	4	4
Oljetankfartyg	10	6	3	1	4	6
Torrlastfartyg pellets	6	4	1	1	4	2
Torrlastfartyg papper	10	6	3	1	5	5
Torrlastfartyg cement	9	5	3	1	5	4
Totalt	124	61	36	27	54	70

Upplevd luftkvalitet – enkätundersökning

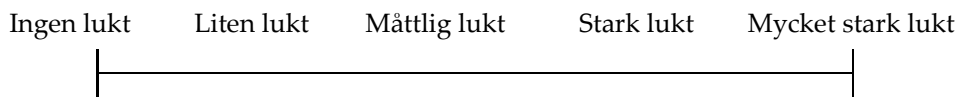
Besättningens upplevelse av sin luftkvalitet ombord undersöktes genom en enkel enkät som delades ut till de personer i besättningen som arbetade under mätperioden. I en del fall svarade också personer från utbytesbesättningen. Enkäten omfattar fyra frågor där respondenten bedömer luftkvaliteten först för arbetsplatsen (t.ex. maskinrum, däck, byssan) och sedan för den egna hytten.

Den första frågan handlar om att bedöma acceptansen av luftkvalitet i allmänhet på en kontinuerlig skala (Figur 2). Denna skala rekommenderas för otränade respondenter som inte är vana att bedöma luftkvaliteten inomhus (Wargocki, 2004). Svaren kodas mellan +1 (helt acceptabel) och -1 (helt oacceptabel).



Figur 2. Enkätfråga om acceptans av luftkvalitet

Enkätens andra fråga handlar om upplevelsen av lukt (Figur 3). Denna bedömning gjordes på en horisontell visuell analog skala (VAS). Svaren kodades på en skala mellan 0 och 10 där noll i svaren står för ingen lukt och tio står för mycket stark lukt.



Figur 3. Enkätfråga om upplevelse av luftintensitet

Resultat och diskussion

I följande avsnitt presenteras och diskuteras resultaten för de enskilda inommiljöparametrarna tillsammans med typiska exempel från mätningarna. Sedan följer resultaten från enkätundersökningen av besättningens upplevelse av luftkvaliteten i arbets- respektive bostadsutrymmen.

Av integritetsskäl redovisas inte de enskilda resultaten för varje fartyg i denna rapport men alla fartyg som vi besökt i studien har fått en egen fartygsrapport där alla individuella mätresultat framgår.

Personlig exponering för luftföroreningar

Det är viktigt att hålla i minnet att resultaten av exponeringsmätningarna är en överblicksbild som gäller för mätperioden som omfattade 5–7 dagar på fartygen. De rekommenderade riktvärden som anges är årsmedelvärden eller värden gällande för livslång exponering. Det betyder inte att personer med exponering för halter som överskrider det rekommenderade riktvärdet befinner sig i konstant hälsofara utan resultatet ska ses som en vägledning för fortsatt förbättringsarbete för minskad exponering.

I detta avsnitt presenteras uppmätt personlig exponering för följande luftföroreningar:

- Kvävedioxid (NO₂)
- Flyktiga organiska ämnen uttryckt som totalhalt (TVOC) och med särskilt fokus på det cancerogena ämnet bensen
- Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) uttryckt som summa av 32 PAH-ämnen med särskilt fokus på det cancerogena ämnet benso(a)pyren och naftalen som klassas som möjligtvis cancerogent.

Exponeringen för NO₂ jämförs med Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärde på 960 µg/m³, samt med riktvärdet för god inomhusluftkvalitet på 40 µg/m³. Innommiljöer innehåller många flyktiga organiska ämnen och bara ett fåtal riktvärden har definierats. Därför används en summa av VOC inom ett visst intervall som relaterar till en analytisk procedur, så kallad totalhalt av VOC, TVOC. Det finns inga riktvärden för TVOC på samma sätt som för individuella VOC och därför används ett spann istället för en given siffra. Rekommenderade riktvärden för individuella flyktiga organiska ämnen (VOC) härleds från toxikologiska och epidemiologiska studier om ämnes hälsoeffekter vid olika halter (UBA, 2018). Riktvärdet representerar en halt av ett ämne som, om den uppnås eller överskrids kan utgöra en förhöjd hälsorisk. För det cancerogena ämnet bensen jämförs de uppmätta halterna med det hygieniska gränsvärdet 1 500 µg/m³, samt med Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde för inomhusluft 1,7 µg/m³. Det saknas riktvärden för PAH-exponering som summa av de 32 uppmätta PAH-ämnena. Exponeringen för benso(a)pyren jämförs med det hygieniska gränsvärdet 2 µg/m³ (2 000 ng/m³) samt Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde för inomhusluft 0,000 12 µg/m³ (0,12 ng/m³) Naftalen jämförs med hygieniska gränsvärdet 50 000 µg/m³ och Världshälsoorganisationens riktvärde 10 µg/m³.

Resultaten från exponeringsmätningarna presenteras med så kallade låddiagram. Linjen inne i lådan är median, lådans kanter utgör 25:e respektive 75:e percentiler. Median är det värde där hälften av observationerna ligger över och hälften under. En percentil är det värde nedanför vilken en viss procent av observationerna av hamnar, till exempel är 25 procent av alla värden mindre än 25:e percentilen. "Morrhåren" indikerar 10:e respektive 90:e percentiler, och cirklarna värden under 10:e och över 90:e percentilerna.

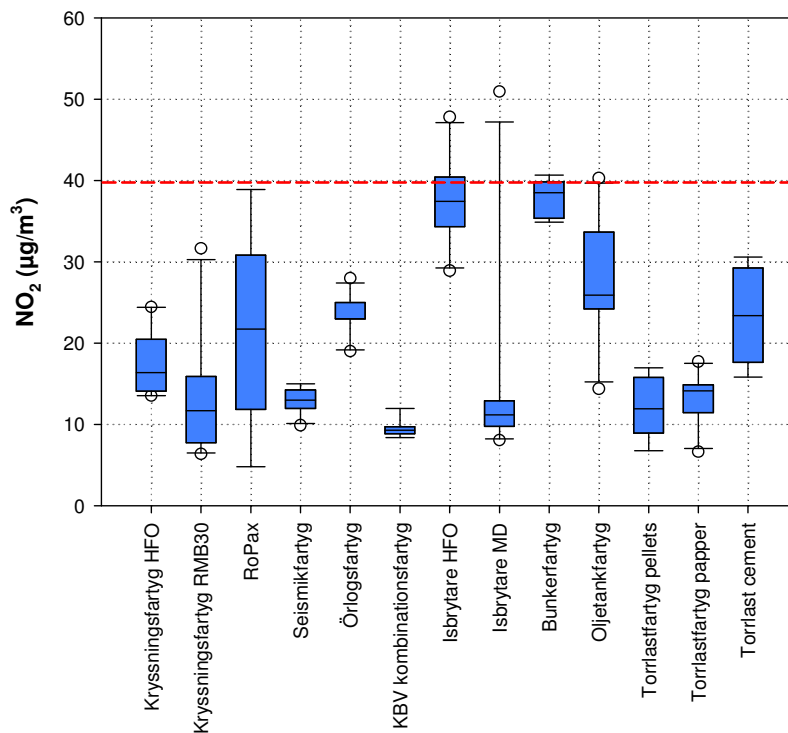
Resultat summerat för alla fartyg

I detta avsnitt presenteras resultaten för alla personer som deltog i undersökningen på alla fartyg. Normalt bars provtagare av 10 personer i besättningen utom i de fall då besättningen utgjordes av färre personer än så. På RoPax-fartyget råkade en provtagare falla överbord och mätresultat kunde bara erhållas från 9 personer.

Det bör observeras att de mätresultat som redovisas i detta avsnitt speglar personalens totala exponering i både arbets- och boendemiljöer under mätperioden.

Personlig exponering för NO₂

Som framgår av Figur 4 uppmättes exponeringar över riktvärdet för NO₂, 40 µg/m³ endast i ett fåtal fall (riktvärdet markeras i figuren med en röd streckad linje). Alla uppmätta halter låg med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet på 960 µg/m³. Som framgår av fartygens medianvärden och staplarnas storlek skiljer sig NO₂-halterna både *mellan* de olika fartygen (vissa fartyg har högre medianvärden än andra) och *inom* fartygen där olika personer ombord exponeras för olika höga halter. Under mätperioden exponerades sju personer (5,6 %) för högre halter av NO₂ än riktvärdet för inomhusluft på 40 µg/m³.



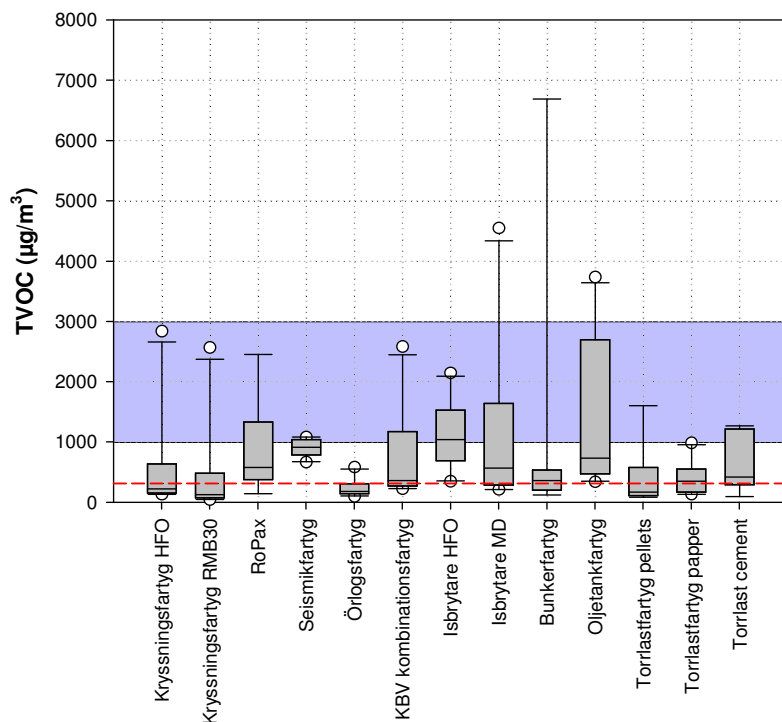
Figur 4. Personlig exponering för kvävedioxid för alla personer (n=124) på alla fartyg. Röd streckad linje visar riktvärdet för god inomhusluftskvalitet på 40 µg/m³.

Personlig exponering för TVOC och bensen

Figur 5 visar uppmätta halter av TVOC för alla personer på alla fartyg. Som tidigare nämnts finns inga gränsvärden för TVOC men UBA (2018) anger att halter inom intervallet 10–25 mg/m³ (10 000–25 000 µg/m³) är rimliga under en vistelse i inomhusmiljöer där man befinner sig under någon enstaka dag eller där halterna är tillfälligt förhöjda under särskilda situationer, till exempel under renoveringsarbeten i

hemmet. Halter mellan 1–3 mg/m³ (1 000 – 3 000 µg/m³) bör inte överskridas i inomhusmiljöer där människor vistas stadigvarande (alltså längre än enstaka dagar). Inriktningen bör enligt UBA vara att TVOC-halter i inomhusmiljöer ska hålla ett maximalt långtidsmedelvärde på 0,2 - 0,3 mg/m³ (200 - 300 µg/m³) eller lägre om möjligt.

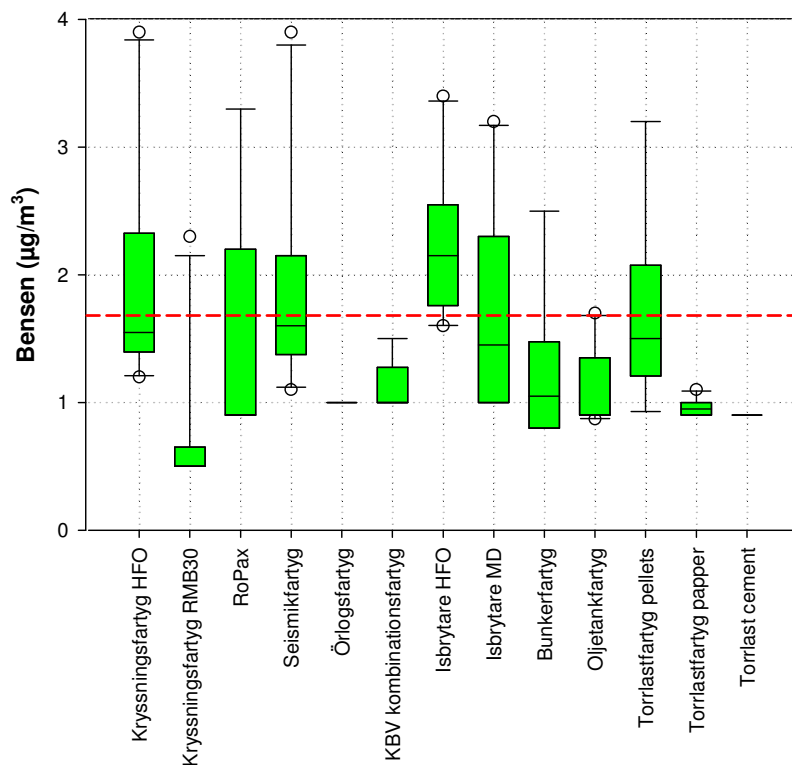
Ungefär en tredjedel av alla personer (45 av 124) exponerades under mätperioden för lägre TVOC-halter än UBA:s långtidsriktvärde och endast tre personer (2,4 %) uppvisade en personlig exponering högre än 3 000 µg/m³.



Figur 5. Personlig exponering för TVOC för alla personer (n=124) på alla fartyg. Röd streckad linje visar UBA:s långtidsriktvärde 300 µg/m³. Den lila boxen visar det haltområde som enligt UBA inte bör överskridas för inomhusmiljöer där människor stadigvarande vistas.

Även de uppmätta halterna av bensen (Figur 6) låg långt under det hygieniska gränsvärdet på 1 500 µg/m³. Även för bensen kan skillnader observeras mellan och inom fartygen. Bland annat är halterna markant lägre för all personal på kryssningsfartyget och något lägre för personalen på isbrytaren efter bränslebytet – med undantag för motorman som under provtagningsperioden tillbringade mycket tid med att rengöra separatorer.

WHO:s hälsobaserade riktvärde på 1,7 µg/m³ för god luftkvalitet inomhus är markerat med en röd linje i figuren. Detta värde härstammar från bedömningen av risken för leukemi på 1 av 100 000, under hela livet och för alla i befolkningen, inklusive känsliga populationsgrupper. Riktvärdet är alltså inte tänkt att direkt tillämpas för bedömning av yrkesmässig exponering utan används här i jämförande syfte. Tidigare studier har visat att yrkesmässig exponering även för lägre halter av bensen under gränsvärdet kan ge andra typer av hälsobesvär utöver cancer, bland annat sömnsvårigheter, yrsel och huvudvärk (Huang et al., 2016). Det finns därför anledning att arbeta systematiskt för att hålla halterna så låga som möjligt.



Figur 6 Personlig exponering för bensen för alla personer (n=124) på alla fartyg. Röd streckad linje visar WHO:s riktvärde för inomhusluft på 1,7 µg/m³.

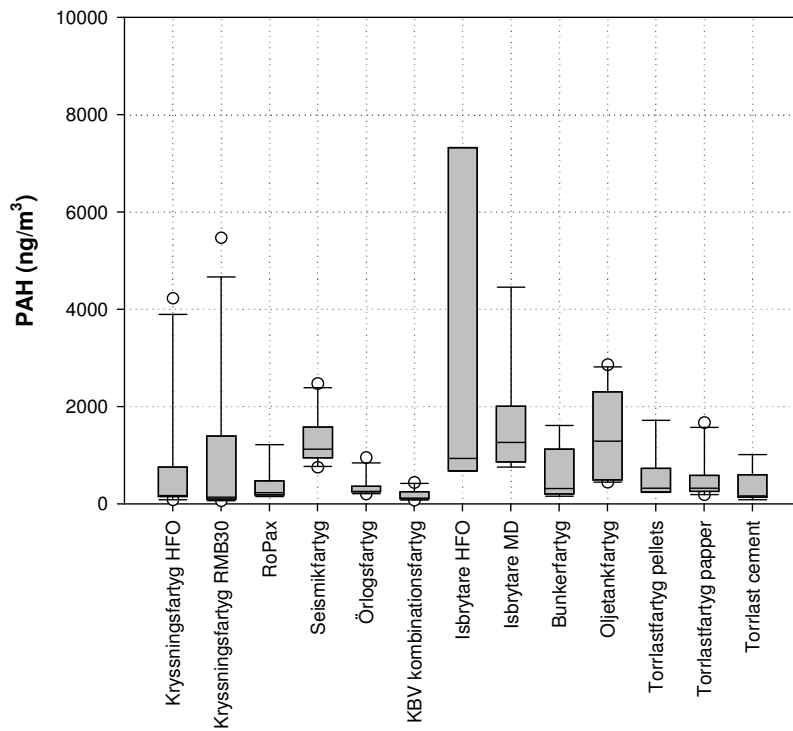
För två av fartygen (örlogsfartyget och torrlast – cement) har låddiagrammen reducerats till ett streck i Figur 6. Det innebär att bensenhalterna låg under mätmetodens detektionsgräns på dessa fartyg. Under mätperioden exponerades 24 personer (19 %) för högre halter av bensen än det långtidsriktvärdet för inomhusluft på 1,7 µg/m³.

Personlig exponering för PAH, benso(a)pyren och naftalen

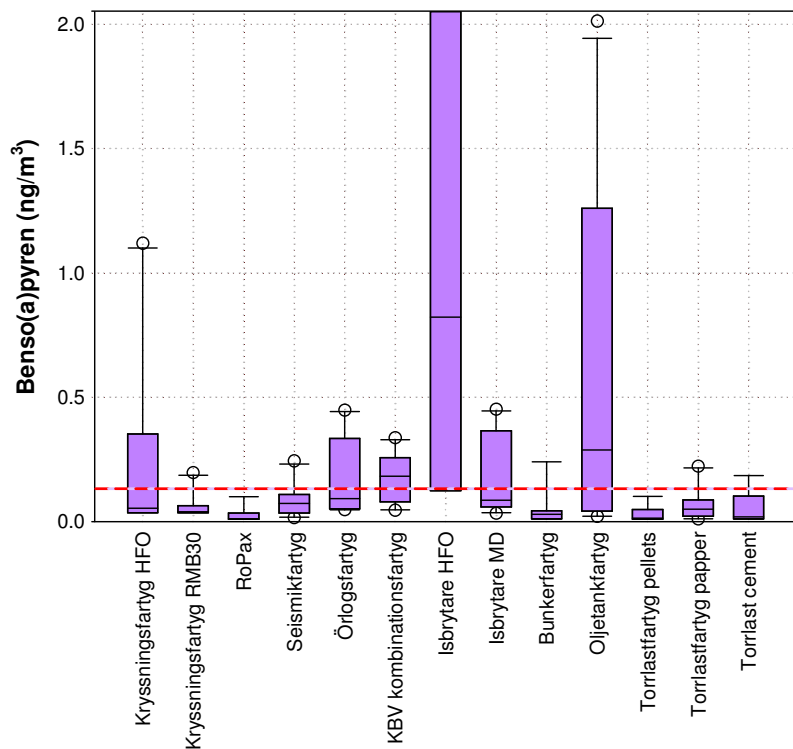
Observera att de uppmätta halterna av PAH, benso(a)pyren och naftalen här redovisas i enheten ng/m³ till skillnad från de tidigare ämnena som redovisades i µg/m³.

Figur 7 visar exponeringen för den totala halten av 32 PAH-ämnen för alla personer och alla fartyg. Även här ses skillnader mellan och inom fartygen. Som framgår av Figurerna 8–9 skiljer sig även halterna av benso(a)pyren respektive naftalen mellan och inom fartygen.

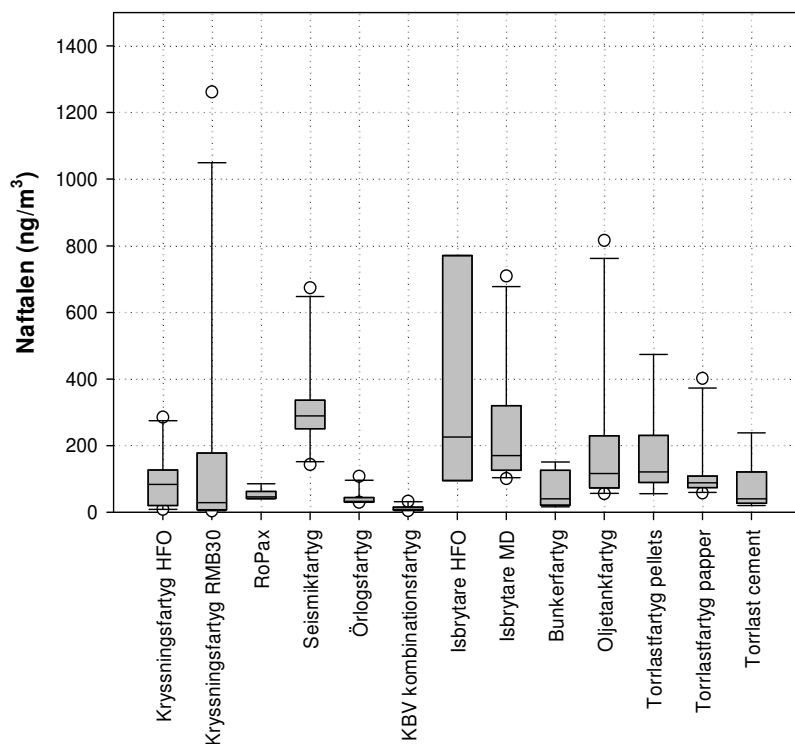
Uppmätta halter av benso(a)pyren (Figur 8) låg med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet på 2 000 ng/m³ i alla mätningar på samtliga fartyg. Däremot överskreds Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde på 0,12 ng/m³ vid ett antal mätningar (32 personer, 26 %). De högsta halterna av benso(a)pyren uppmättes för tre personer ur däcksmanskapet på oljetankfartyget, en motorman på kryssningsfartyget när de körde motorerna på HFO, samt ytterligare en motorman på isbrytaren under den första mätkampanjen när de körde på HFO.



Figur 7. Personlig exponering för den totala halten av 32 PAH ämnen för alla personer (n=124) på alla fartyg.



Figur 8. Personlig exponering för benso(a)pyren för all personal (n=124) på alla fartyg. Röd streckad linje visar WHO:s riktvärde för inomhusluft på 0,12 ng/m³. Ett värde på 7,1 ng/m³ för "Isbrytare HFO" ligger utanför y-skalan för tydlighetens skull.



Figur 9. Personlig exponering för naftalen för alla personer (n=124) på alla fartyg.

Även exponeringen för naftalen (Figur 9) låg med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet på 50 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i alla mätningar på samtliga fartyg (tusenfalt högre än medianvärdena av de uppmätta halterna). Samtliga halter ligger också Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde på 10 000 ng/m^3 .

Resultat per befattning

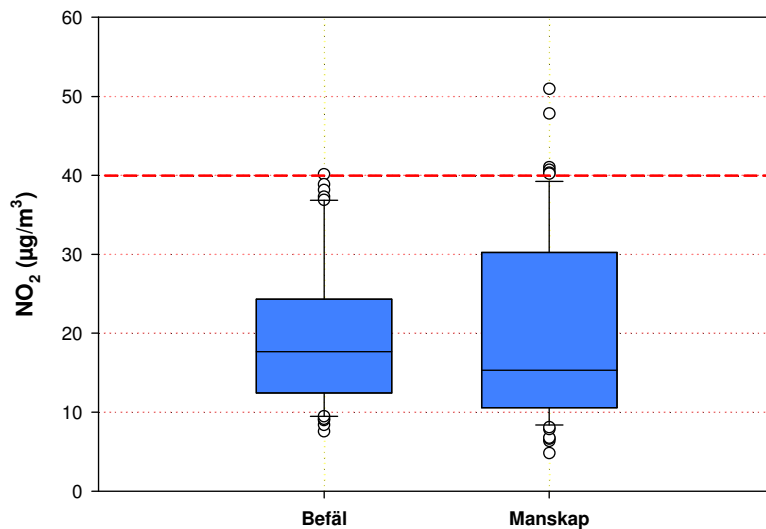
I detta avsnitt jämförs resultaten av exponeringsmätningarna för personalkategorierna befäl respektive manskap för samtliga fartyg. Även inom samma avdelning på ett fartyg kan arbetsuppgifterna skilja sig något åt mellan befattningarna. Befäl har i allmänhet fler (men inte uteslutande) övervakande arbetsuppgifter medan manskapet utför en stor del av det praktiska drift- och underhållsarbetet. Skiljelinjerna mellan sociala grupperingar kan ibland bli extra framträdande på ett fartyg jämfört med landbaserade arbetsplatser. Ur ett sociologiskt perspektiv är fartyget ett relativt slutet socialt system. Även om många av de traditionella hierarkiska markörerna som skilda mässar för befäl och manskap och användandet av titlar inte förekommer i samma utsträckning som tidigare så är maktordningen fortsatt tydlig mellan befattningar och fartygsavdelningar (Hult, 2010).

I denna analys av exponering för typen av befattning är fartygets identitet underordnad. Kategorin befäl innehåller 54 personer och kategorin manskap 70 personer.

Jämförelse av NO_2 -exponering

Som framgår av Figur 10 förelåg en liten skillnad i personlig exponering för NO_2 mellan befäl och manskap, där manskap generellt hade en något högre exponering. De flesta uppmätta halter låg under det rekommenderade riktvärdet på 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, med undantag för sju observationer: ett befäl på bunkerfartyget) och sex personer i kategorin manskap ombord bunkerfartyget (en), oljetankfartyget (en),

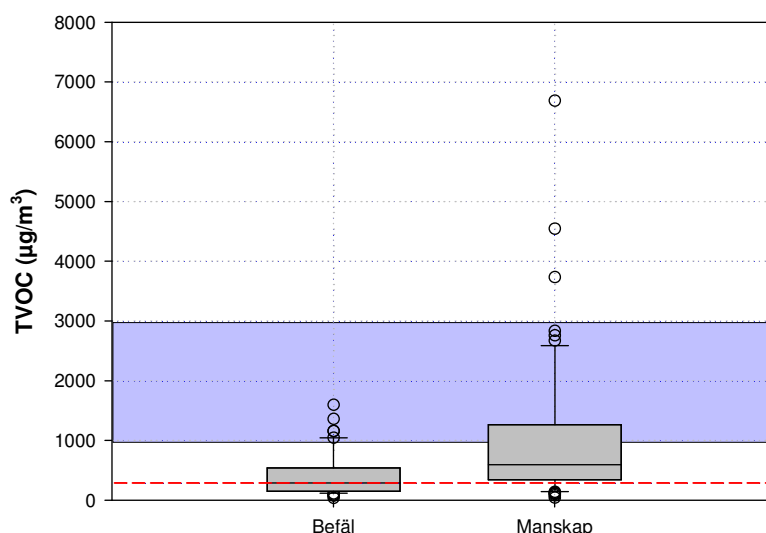
isbrytaren HFO (tre) och isbrytaren MDO (en). Alla halterna ligger med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet för NO₂ på 960 µg/m³.



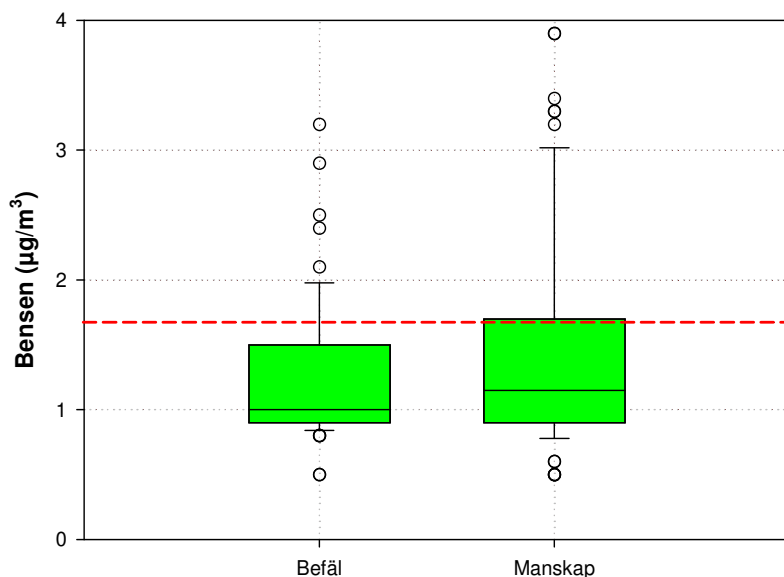
Figur 10. Personlig exponering för NO₂ för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg. Röd streckad linje visar WHO:s riktvärde för god inomhusluftkvalitet på 40 µg/m³.

Jämförelse av exponering för TVOC och bensen

Som framgår av Figur 11 ses en viss skillnad i personlig exponering för TVOC mellan befäl och manskap på alla fartyg. Medianvärdet för befälarna är 290 µg/m³, precis under UBA:s riktvärde för långsiktigt god inomhusluftkvalitet. Medianvärde för manskap ligger på 600 µg/m³. Halter av TVOC högre än 3 000 µg/m³ uppmättes hos tre personer, samtliga inom kategorin manskap (matros); en på isbrytaren under MDO-drift, en på bunkerfartyget och den tredje matrosen på oljetankfartyget.



Figur 11. Personlig exponering för TVOC för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg. Röd streckad linje visar UBA:s långtidsriktvärde på 300 µg/m³. Den lila boxen visar det område som enligt UBA inte bör överskridas för utrymmen där människor stadigvarande vistas.

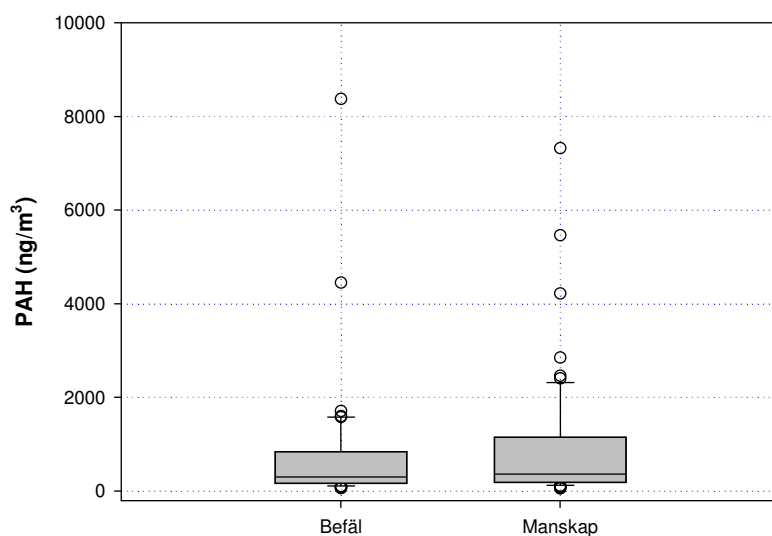


Figur 12. Personlig exponering för bensen för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg. Röd streckad linje visar WHO:s hälsobaserade riktvärde på 1,7 µg/m³.

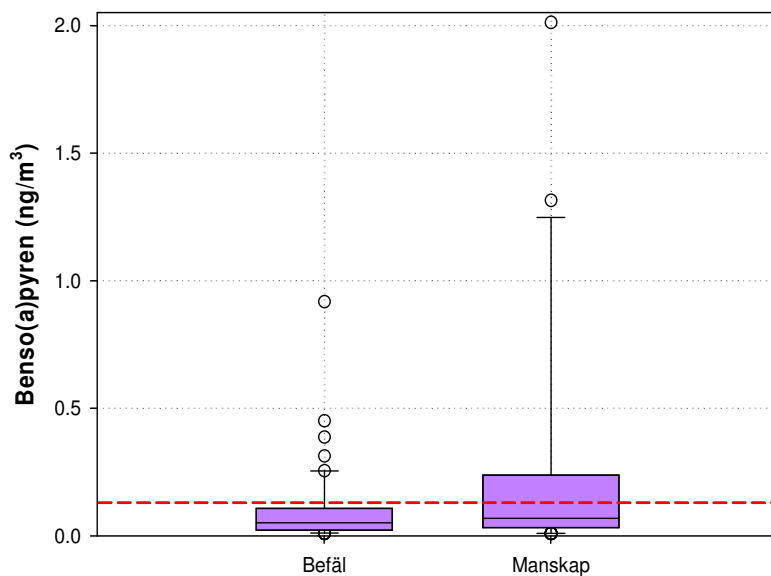
Inte heller bensenexponeringen skiljer sig markant mellan de två personalgrupperna (Figur 12), även om något högre värden uppmättes hos manskap även här. Samtliga värden ligger med betryggande marginal under det hygieniska gränsvärdet på 1 500 µg/m³. Däremot överskreds Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde på 1,7 µg/m³ i ett antal fall. Till exempel hos maskinmanskap som varit sysselsatta med rengöring och service av motordelar, däcksmanskap som varit sysselsatta med arbete på bildäck under lastning och lossning, eller på däck med målningsarbete. För dessa arbeten är det dock mer rimligt att jämföra de uppmätta halterna med de hygieniska gränsvärdena.

Exponering för PAH, benzo(a)pyren och naftalen

Figur 13 visar skillnader i uppmätt personlig exponering för den sammanvägda halten av de 32 PAH-ämnena. Som tidigare nämnts går det inte att relatera denna exponering till något riktvärde.

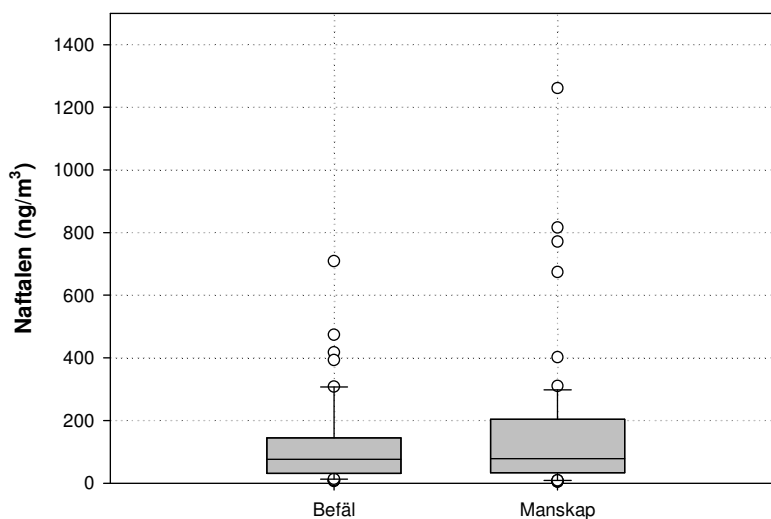


Figur 13. Personlig exponering för summa 32 PAH ämnen för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg.



Figur 14. Personlig exponering för benso(a)pyren för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg. Röd streckad linje visar WHO:s hälsobaserade riktvärde på 0,12 ng/m³.

Figur 14 visar skillnaden i uppmätt exponering för benso(a)pyren för befäl respektive manskap. För att göra figuren tydlig så har ett värde på 7,1 ng/m³ för "Manskap" uteslutits ut figuren eftersom det hamnade utanför y-skalan. Medianvärdena för både befäl och manskap är lägre än Världshälsoorganisationens riktvärde på 0,12 ng/m³ (markeras i figuren med röd streckad linje). För befäl ligger över 75 % av mätvärdena under riktvärdet för inomhusmiljöer medan det bland manskapet finns fler mätpunkter som ligger över. Alla halterna ligger under det hygieniska gränsvärdet för benso(a)pyren på 2 000 ng/m³.



Figur 15. Personlig exponering för naftalen för befäl (n=54) och manskap (n=70), alla fartyg.

Figur 15 visar personlig exponering för naftalen fördelat på befäl och manskap. Båda grupperna uppvisar liknande medianvärden (75 ng/m³ för befäl och 78 ng/m³ för manskap) och som tidigare

rapporterats låg samtliga uppmätta värden under Världshälsoorganisationens riktvärde ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 10\,000 \text{ ng}/\text{m}^3$), och mycket långt under det hygieniska gränsvärdet ($50\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Statistisk analys av skillnader mellan befäl och manskap

För att undersöka om dessa små skillnader i uppmätta halter mellan befäl och manskap är statistiskt signifikanta har vi använt ett så kallat icke-parametriskt Mann-Whitney U-test baserat på medianvärdena (Miller & Miller, 1993). Detta test görs för att identifiera skillnader i en variabel mellan två oberoende grupper. Det resulterande p-värdet anger sannolikheten mellan 0 och 1 att de skillnader som ses är "sanna" eller beror på den statistiska osäkerheten, det vill säga slumpen. Skillnader med p-värdet $<0,05$ brukar anges som gräns för statistisk signifikans, alltså att skillnaden kan ses som statistiskt säkerställd. Det visar dock bara *att* det finns en skillnad, inte hur stor denna skillnad är eller vad den beror på. Tabell 4 visar resultatet av den statistiska analysen. Vi ser här att p-värdet är avsevärt större än $0,05$ som är den lägsta signifikansnivån för alla skillnader utom TVOC. Detta innebär att de små skillnader som kan ses i exponeringen av dessa ämnen mellan befäl och manskap inte är signifikanta och därför kan betraktas som slumpmässiga. Däremot är skillnaden i exponering för TVOC mellan befäl och manskap statistiskt signifikant med den högsta signifikansnivån, $p < 0,001$. Denna skillnad förklaras troligen av de skilda arbetsuppgifter som befäl och manskap har, främst inom däck- och intendenturpersonalen.

Tabell 4. Statisk analys av skillnader i exponeringen mellan befäl och manskap baserat på uppmätta medianvärden.

Ämne	Enhet	Medianvärde befäl	Medianvärde manskap	p-värde
NO ₂	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	17	15	0,9920
TVOC	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	280	600	<0,00001***
Bensen	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,0	1,1	0,2983
Summa 32 PAH	ng/m^3	320	260	0,4902
Benso(a)pyren	ng/m^3	0,051	0,070	0,2113
Naftalen	ng/m^3	75	78	0,6745

Signifikansnivåer: **Fet stil** och *** = 0,001 nivå | ** = 0,01 nivå | * = 0,05 nivå |

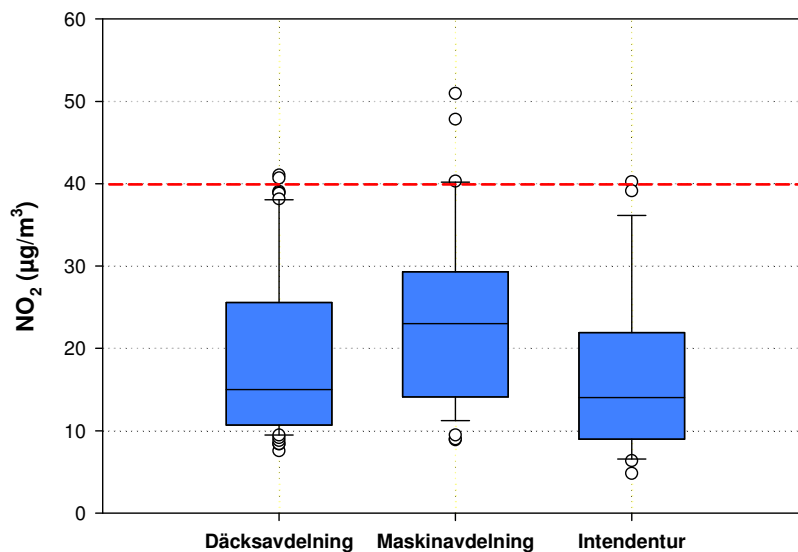
Resultat per avdelning

I detta avsnitt jämförs eventuella skillnader eller likheter i den personliga exponeringen mellan personal som arbetar inom olika avdelningar för samtliga fartyg, både befäl och manskap. Dessa avdelningar kan grovt delas in i däck, maskin och intendentur. Däcks- och maskinpersonal arbetar med fartygets framdrift samt lastning och lossning vid hamn. I praktiken innebär det en stor del förebyggande och avhjälpande service och underhållsarbete med framdrivningsmaskineri och kringutrustning. Ett fartyg kan liknas som ett litet samhälle i miniatyr, med egen elproduktion, vatten, värme och sanitet. Intendenturpersonalen sköter bland annat kosthållning och städning ombord. På passagerarfartygen utgör intendenturen den största personalkategorin och yrkets innehåll motsvarar i stora delar hotell och restaurangbranschen iland.

Jämförelsen mellan avdelningarna är baserad på medianvärden. Fartygets identitet är här underordnad avdelningarna. Kategorin däckspersonal innehöll 61 personer, maskinpersonal 36 och intendenturpersonal 27 personer.

Jämförelse av NO₂-exponering

Som tidigare redovisats ligger de flesta uppmätta exponeringar för NO₂ under det rekommenderade riktvärdet. Totalt sju personer hade en exponering över det rekommenderade riktvärdet på 40 µg/m³: två personer från däckavdelningen, fyra personer från maskin och en person från intendenturen. Det är inte några stora skillnader mellan de tre personalkategorierna men som förväntat uppmättes de högsta halterna av NO₂ hos maskinpersonalen (Figur 16) som under sin arbetstid vistas mycket i maskinutrymmen. Detta kan förklaras av att NO₂ bildas genom förbränningsprocesser och därmed finns i avgaser. Intendenturpersonalen uppvisar generellt något lägre halter av NO₂. Alla halterna ligger under dock det hygieniska gränsvärdet för NO₂ på 960 µg/m³.



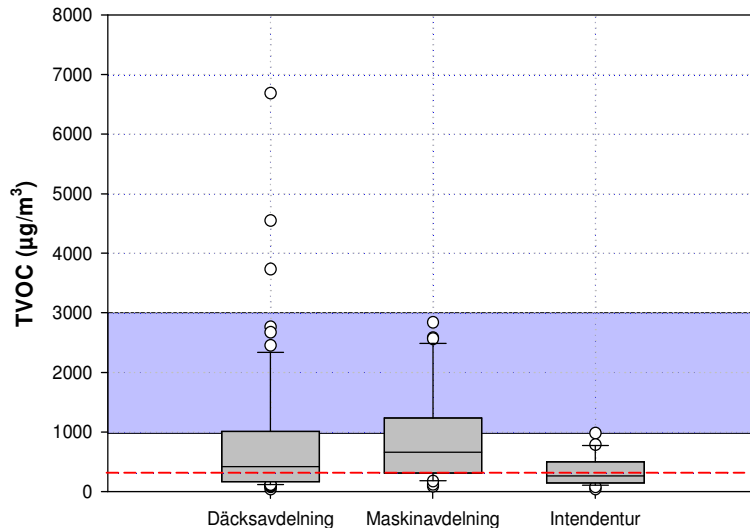
Figur 16. Personlig exponering för NO₂ för avdelningarna däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27). Röd streckad linje visar WHO:s riktvärde för god inomhusluftkvalitet på 40 µg/m³.

Jämförelse av exponering för TVOC och bensen

Figur 17 illustrerar halterna av TVOC för de tre avdelningarna. Vid en jämförelse med UBA:s riktvärden för icke-industriella inomhusmiljöer ser vi att de allra flesta värden ligger inom eller till och med under det område som av UBA betecknas som acceptabelt för längre vistelse än enstaka dagar, alltså mellan 1 000 och 3 000 µg/m³ (markerat med lila i figuren).

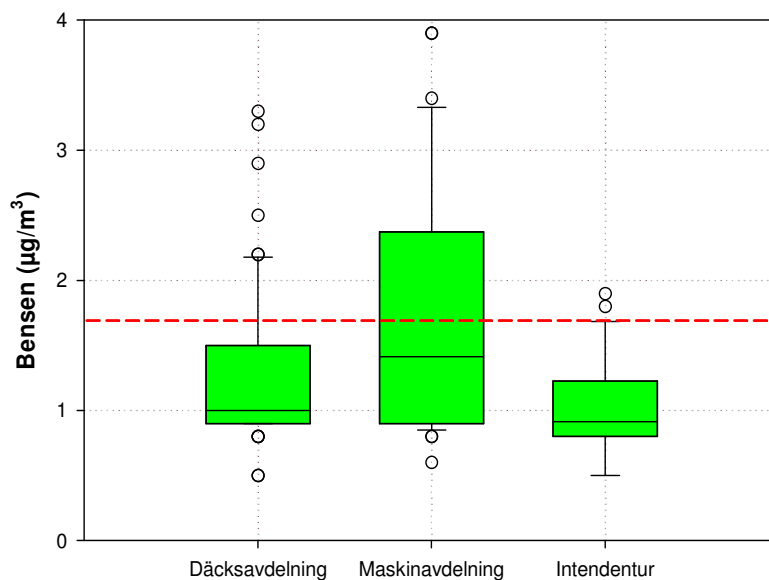
Detta område överskrids i tre fall. Det rör sig om tre matrosar som uppgav att de under mätperioden varit sysselsatta med målningsarbeten på däck. En av dem hade också rengjort utrustning med dieselolja.

Sammantaget har maskinpersonalen något högre exponering för TVOC än däck- och intendenturpersonalen, där de sistnämnda generellt har den lägsta exponeringen. Medianvärdet för däck är 420 µg/m³, maskin 660 µg/m³ och intendenturen 270 µg/m³, precis under riktvärdet för långsiktigt god inomhusluftkvalitet (markeras i figuren med röd streckad linje).



Figur 17. Personlig exponering TVOC för däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27). Röd streckad linje visar UBA:s långsiktiga riktvärde $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Den lila boxen visar det område som enligt UBA kan inte bör överskridas för utrymmen där människor stadigvarande vistas.

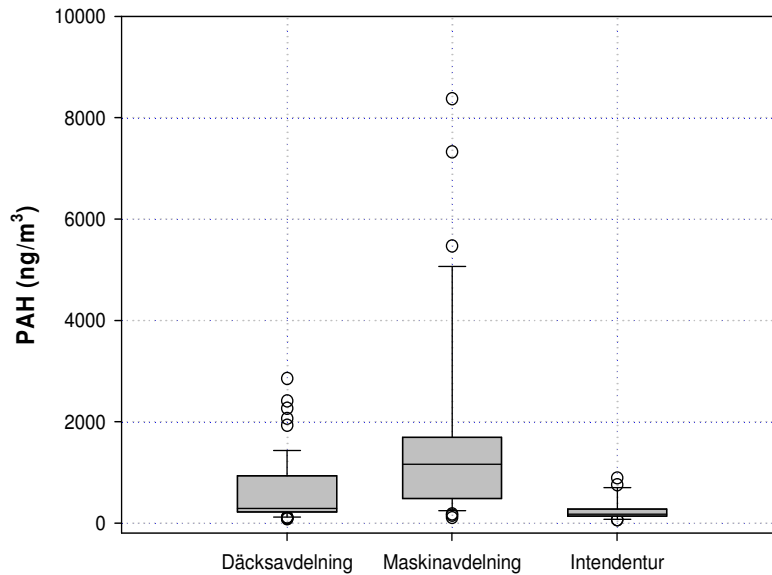
Figur 18 visar skillnaden i personlig exponering för bensen mellan avdelningarna. Alla halterna ligger med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet för bensen ($1\ 500 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Som jämförelse är Världshälsoorganisationens hälsobaserade riktvärde markerat i figuren med en röd streckad linje. Även här är exponeringen något högre för maskinavdelningen än för däck och intendenturen. Maskinpersonalen har också den största spridningen inom avdelningen, där de högsta halterna uppmättes främst hos maskinmanskaper. Inom intendenturen överskrids det långsiktiga riktvärdet för två kockar. Det innebär inte att dessa personer nödvändigtvis utsätts för hälsofara men visar att även de arbetsuppgifter som förekommer inom intendenturen kan behöva riskbedömas och nödvändiga åtgärder vidtas.



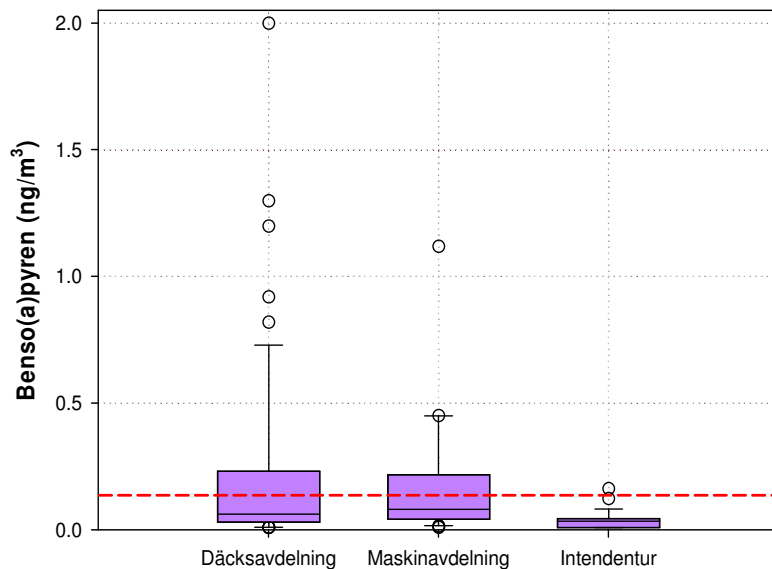
Figur 18. Personlig exponering för bensen för däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27). Röd streckad linje visar WHO:s hälsobaserade riktvärde för god inomhusmiljö på $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Exponering för PAH, benso(a)pyren och naftalen

Figur 19 visar skillnader i uppmätt personlig exponering för den totala halten av de 32 PAH-ämnena för de tre avdelningarna. Även här har maskinavdelningen högsta medianvärdet (1 200 ng/m³) och störst spridning mellan mätvärdena, följt av däcksavdelningen (290 ng/m³) och intendenturen (170 ng/m³) som också har den minsta spridningen av mätresultaten.



Figur 19. Personlig exponering för total halt av 32 PAH ämnen för däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27).

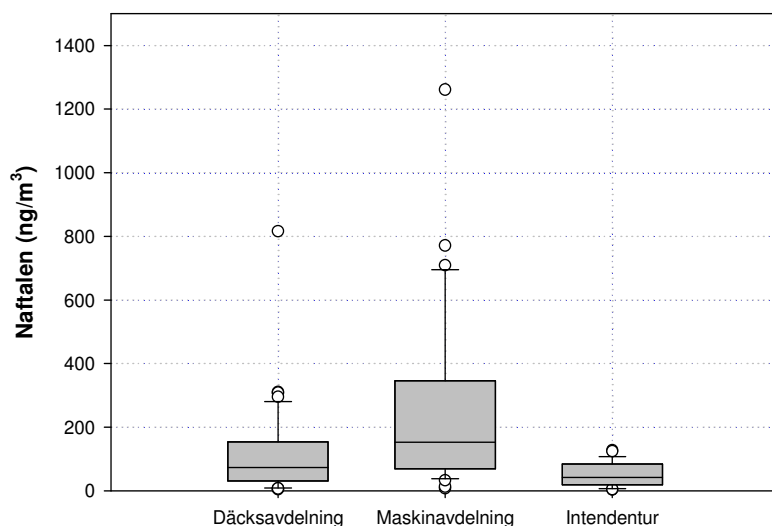


Figur 20. Personlig exponering för benso(a)pyren för däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27). Röd streckad linje visar WHO:s hälsobaserade riktvärde på 0,12 ng/m³.

I Figur 20 redovisas halterna av benso(a)pyren för avdelningarna. Som jämförelse är Världshälsorganisationens hälsobaserade riktvärde ($0,12 \text{ ng/m}^3$) markerat med röd streckad linje. Samtliga tre avdelningar har medianvärden som underskrider riktvärdet.

Precis som för den sammanvägda halten av de 32 PAH-ämnena är det maskinavdelningen som har ett något förhöjt medianvärde ($0,082 \text{ ng/m}^3$), följt av däck ($0,063 \text{ ng/m}^3$) och intendenturavdelningarna ($0,035 \text{ ng/m}^3$). Spridningen är dock som störst inom däckavdelningen och det är också här som de individuellt högst uppmätta halterna finns. Alla halterna ligger med god marginal under det hygieniska gränsvärdet för benso(a)pyren ($2\,000 \text{ ng/m}^3$).

Figur 21 visar en viss men liten skillnad i uppmätta halter naftalen för de tre avdelningarna. Alla uppmätta värden är genomgående mycket låga, med god marginal under både det hälsobaserade riktvärdet ($10 \text{ } \mu\text{g/m}^3 = 10\,000 \text{ ng/m}^3$), och det hygieniska gränsvärdet ($50\,000 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Som för benso(a)pyren är det maskinavdelningen som har det något högre medianvärdet och däck som har en något större spridning av resultaten.



Figur 21. Personlig exponering för naftalen för däck (n=61), maskin (n=36) och intendentur (n=27).

Statistisk analys av skillnader mellan avdelningar

Tabell 5 visar resultatet av Mann-Whitney U-test baserat på medianvärdena för de tre avdelningarna däck, maskin och intendenturpersonal. Jämförelsen omfattar skillnader och likheter i personlig exponering mellan de tre avdelningarna för både befäl och manskap på alla fartyg.

Skillnaden i exponering för NO_2 mellan maskin- och intendenturpersonalen var statistiskt signifikant med en något starkare signifikansnivå, p-värde $<0,01$. Även intendenturpersonalens skillnad i personlig exponering för TVOC och bensen gentemot däck- och maskinavdelningarna är statistiskt säkerställd. De små skillnader i exponeringen för NO_2 , TVOC och bensen som kan ses mellan däck- och maskinpersonalen i Figur 16–Figur 18 är däremot inte statistiskt signifikanta.

Eftersom NO_2 , TVOC och bensen alla är komponenter i fartygsbränsle och/eller uppkommer genom förbränningsprocesser tyder resultatet på att intendenturpersonalen i lägre grad än de andra avdelningarna exponeras för avgaser. Däremot kan t.ex. stekning av kött samt användandet av rengöringsmedel och andra kemikalier medföra förhöjd exponering för TVOC. Inom ramen för det systematiska arbetsmiljöarbetet med att eliminera och minimera kända hälsorisker kan även dessa

typer av arbeten kan därför också behöva identifieras, riskbedömas och hanteras så att exponeringen blir så liten som möjligt.

Totalt sett över alla fartyg uppvisar maskinavdelningen de högsta halterna av de analyserade PAH-ämnena. Här är skillnaden mellan såväl maskin och däck, som maskin och intendenturen statistiskt säkerställd med den högre signifikansnivån, $p < 0,001$. Maskinavdelningen uppvisar också de högsta halterna av de individuella PAH-ämnena benso(a)pyren och naftalen. Jämfört med intendenturen är skillnaden statistiskt signifikant med den högre signifikansnivån för båda ämnena. För naftalen är även skillnaden mellan maskin och däck statistiskt signifikant. Även här kan skillnaden i exponeringen troligen härröras till maskinpersonalens högre exponering för bränsle, smörjoljor och avgaser i sitt arbete. Det är viktigt att påpeka att i denna undersökning mäter vi endast exponeringen som sker via luften och inandning. Upptag av dessa ämnen sker också via huden.

Tabell 5. Statistisk analys av skillnader i personlig exponering mellan däck-, maskin- och intendenturavdelningarna, alla fartyg, baserat på uppmätta medianvärden (första kolumnen till vänster).

NO ₂ (µg/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
15	Däck	1	0,1141	0,1074
23	Maskin		1	0,0071**
14	Intendentur			1
TVOC (µg/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
420	Däck	1	0,0819	0,0340*
660	Maskin		1	0,0001***
260	Intendentur			1
Bensen (µg/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
1.0	Däck	1	0,1443	0,0099**
1.4	Maskin		1	0,0021**
0.90	Intendentur			1
Summa 32 PAH (ng/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
290	Däck	1	<0,00001***	0,0027
1 200	Maskin		1	<0,00001***
170	Intendentur			1
Benso(a)pyren (ng/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
0,063	Däck	1	0,2670	0,0008***
0,082	Maskin		1	<0,00001***
0,035	Intendentur			1
Naftalen (ng/m ³)		Däck	Maskin	Intendentur
73	Däck	1	0,0023**	0,0257
150	Maskin		1	<0,00001***
42	Intendentur			1

Signifikansnivåer: **Fet stil** och *** = 0,001 nivå | ** = 0,01 nivå | * = 0,05 nivå |

Resultat från enkätundersökningen

Tabell 6 redovisar en sammanställning av svaren från enkätundersökningen. Totalt besvarades enkäten av 308 personer som arbetade på de 11 fartygen under tiden för undersökningen. Enkäten delades ut till de personer som var mönstrade ombord vid mättillfället på alla fartyg utom isbrytaren vid första tillfället under HFO-drift. I några fall har hela eller delar av besättningen hunnit bytas ut under mätperioden och under det andra mättillfället på isbrytaren besvarades enkäten också av 15 forskare som var ombord för att arbeta med egna forskningsprojekt. På vissa fartyg är därför svarsfrekvensen över 100 %. På passagerarfartygen kan besättningens storlek variera under en vecka och det har varit svårare att nå samtliga. Totalt sett för hela undersökningen är svarsfrekvensen cirka 78 % vilket får anses vara en god nivå. Av praktiska och ekonomiska skäl är det inte möjligt att låta alla personer ur besättningen bära personliga provtagare på samtliga fartyg. Därför är antal mätningar mycket lägre än antal svar i enkätundersökningen.

Enkätsvaren utvärderades med avseende på den upplevda luftkvaliteten på arbetsplatsen respektive i hytten för alla i besättningen. Först presenteras resultaten för alla personer på alla fartyg, följt av de skillnader och likheter som kan ses mellan befäl och manskap, samt mellan däck-, maskin- och intendenturavdelningarna för alla fartyg.

Tabell 6. Sammanställning av deltagande: fartygspersonals upplevda luftkvalitet.

Fartyg	Antal	Däck	Maskin	Intendentur	Befäl	Manskap
Kryssningsfartyg HFO	31	1	3	27	3	28
Kryssningsfartyg RMB30	67	10	5	52	11	56
RoPax	56	5	13	38	14	42
Seismikfartyg	9	5	4	0	6	3
Örlogsfartyg	29	16	10	3	15	14
KBV kombinationsfartyg	20	14	5	1	9	11
Isbrytare HFO*	---	---	---	---	---	---
Isbrytare MDO**	30	11	15	4	15	15
Bunkerfartyg	15	11	2	2	8	7
Oljetankfartyg	12	7	4	1	6	6
Torrlastfartyg pellets	5	4	1	0	4	1
Torrlastfartyg papper	10	6	3	1	5	5
Torrlastfartyg cement	9	5	3	1	5	4
Totalt	293	95	68	130	101	192

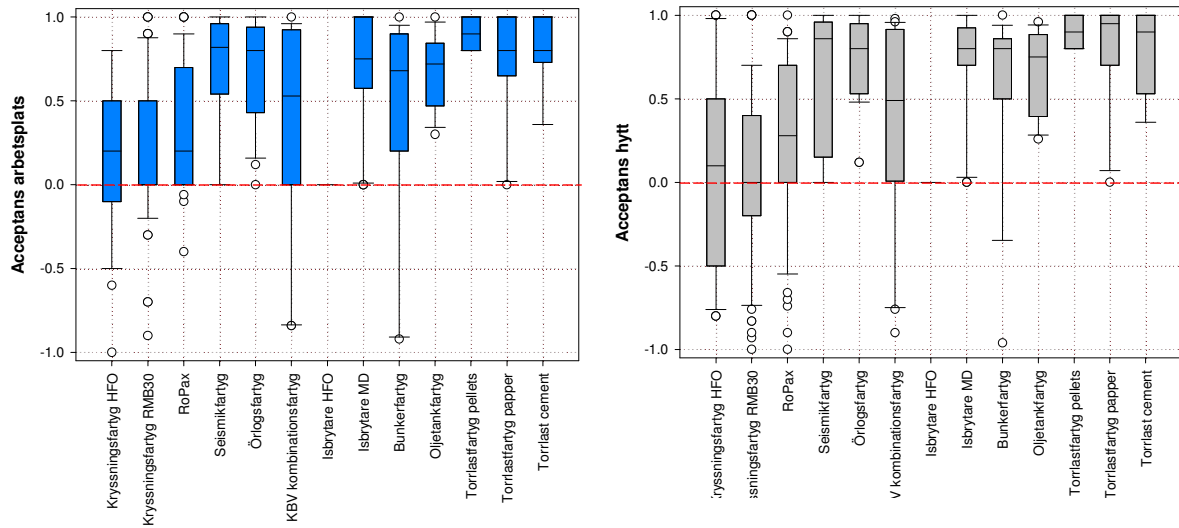
*Enkätundersökningen genomfördes inte på Isbrytare HFO | ** Endast besättning, inte forskare

Resultat summerat för alla fartyg

I detta avsnitt presenteras besättningens generella acceptans av luftkvaliteten på sin arbetsplats, respektive i hytten. Även om enkätundersökningen inte genomfördes på isbrytaren under HFO-drift så finns fartyget representerat i diagrammen i enlighet med tidigare figurer som visar resultat per fartyg.

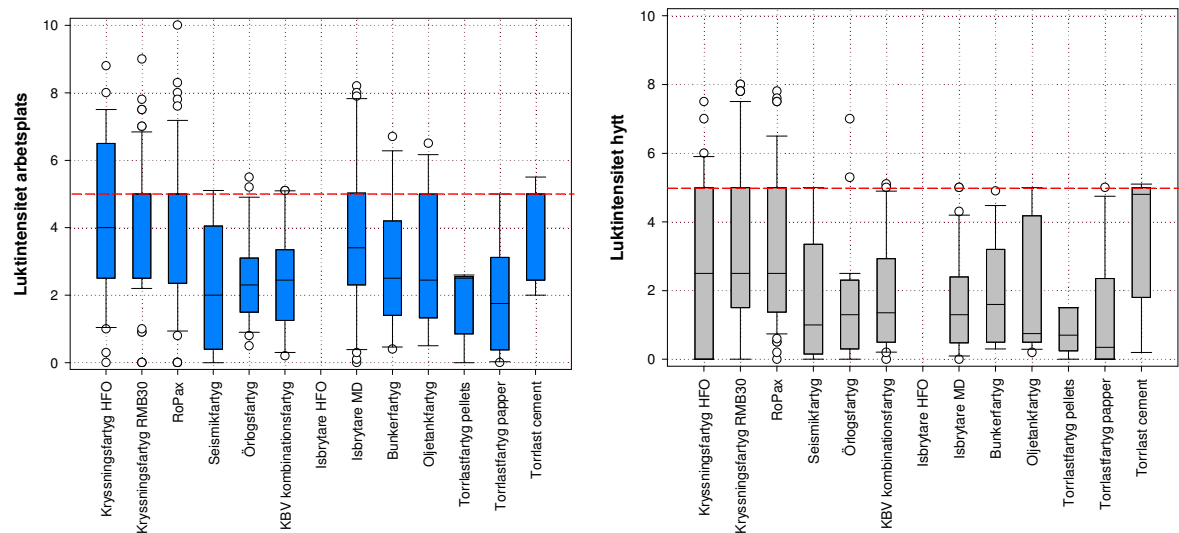
Skalan för upplevelse av luftkvalitet sträcker sig från +1 (helt acceptabel) till -1 (helt oacceptabel). Noll på upplevelseskalan delar dessa två åsikter och tolkas som att luften är precis acceptabel.

Som framgår av Figur 22 upplevde de flesta som besvarade enkäten luftkvaliteten som acceptabel (mellan 0 och +1) både på arbetsplatsen och i hytten. På arbetsplatsen upplevdes luftkvaliteten som oacceptabel (mellan 0 och -1) av 29 personer (9,9 %), medan 45 personer (15 %) upplevde luftkvaliteten som oacceptabel i hytten.



Figur 22. Upplevd luftkvalitet på arbetsplatsen (till vänster) respektive i hytten (till höger). Röd streckad linje visar neutral upplevelse av luftkvaliteten.

Luktintensitet graderades på en skala mellan 0 (ingen lukt) till 10 (mycket stark lukt). Mitten på skalan motsvarar "måttlig lukt". Resultaten visar att de flesta upplevde ingen till måttlig lukt (Figur 23) både på arbetsplatsen och i hytten. Upplevelsen av dålig lukt, mellan måttlig till mycket stark lukt rapporterades av 50 personer (17 %) på arbetsplatsen och av 32 personer (11 %) för hytten.



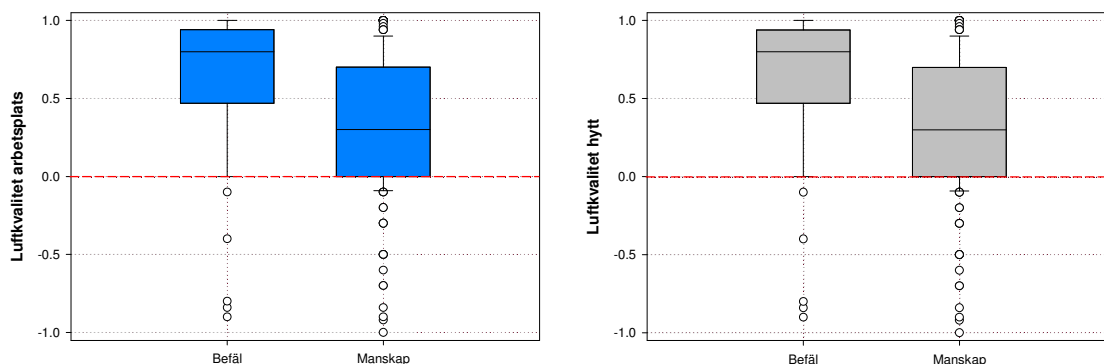
Figur 23. Upplevd luktintensitet på arbetsplatsen (till vänster) respektive i hytten (till höger). Röd streckad linje representerar "måttlig lukt".

Jämförelsen av luftkvalitetens acceptans mellan arbetsplatsen och hytten visar att det inte finns någon statistiskt signifikant skillnad på något av fartygen, varken för det enskilda fartyget eller för alla personer från alla fartyg tillsammans. Däremot ses en skillnad i hur lukten upplevs mellan arbetsplats

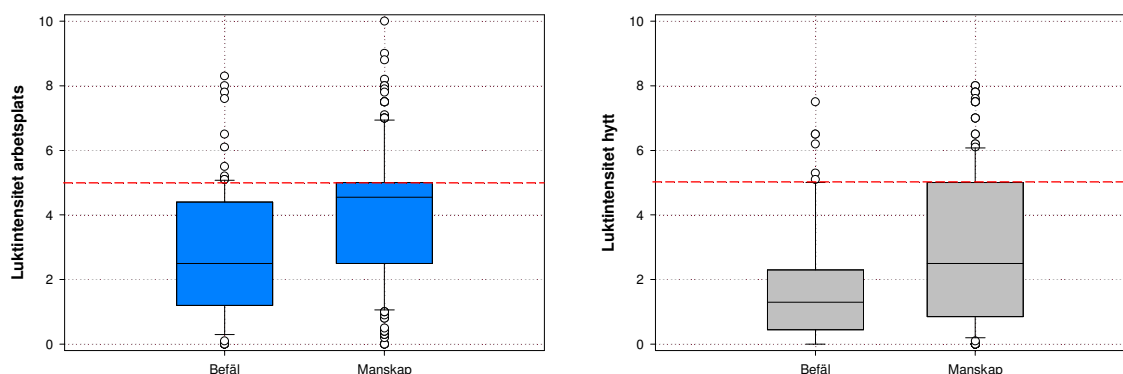
och hytt där skillnaden är statistiskt signifikant på kryssningsfartyget vid båda mättillfällena, både med HFO och RMB30, samt för RoPax-fartyget, örlogsfartyget, isbrytaren och oljetankfartyget. Vid jämförelse av all personal på alla fartyg tillsammans var skillnaden i upplevelse av lukt mellan arbetsplats statistiskt signifikant med den högre signifikansnivån.

Resultat per befattning

Upplevelsen av luftkvaliteten på arbetsplatsen och i hytten har också analyserats för personalkategorierna befäl och manskap för alla fartyg. Kategorin befäl innehåller 101 personer och manskap 192 personer. Resultaten visar att befäl generellt uppvisar en högre acceptans av luftkvaliteten än manskap, både när det gäller arbetsplats och i hytten (Figur 24). Befäl rapporterar också lägre grad av upplevd lukt på arbetsplatsen och i hytten (Figur 25). Dessa skillnader i upplevelsen mellan befäl och manskap är statistiskt signifikanta med den högre signifikansnivån (Tabell 7). Även om luftkvaliteten generellt sett uppfattas som god på alla fartyg så rapporteras negativa svar, där luften upplevs som oacceptabel på arbetsplatsen av 1,7 % av befälen och 7,8 % av manskapet för alla fartyg. Luftkvaliteten i hytten upplevs även där som oacceptabel av 1,7 % av befälen medan 14 % av manskapet upplever hyttens luft som oacceptabel.



Figur 24. Upplevd luftkvalitet på arbetsplatsen (vänster bild) och i hytten (höger bild) för befäl (n=101) och manskap (n=192).



Figur 25. Upplevd lukt på arbetsplatsen (vänster bild) och i hytten (höger bild) för befäl (n=101) och manskap (n=192).

Tabell 7. Skillnader i upplevelsen av luftkvalitet och luktintensitet mellan arbetsplats och hytt för befäl (n=101) och manskap (n=192).

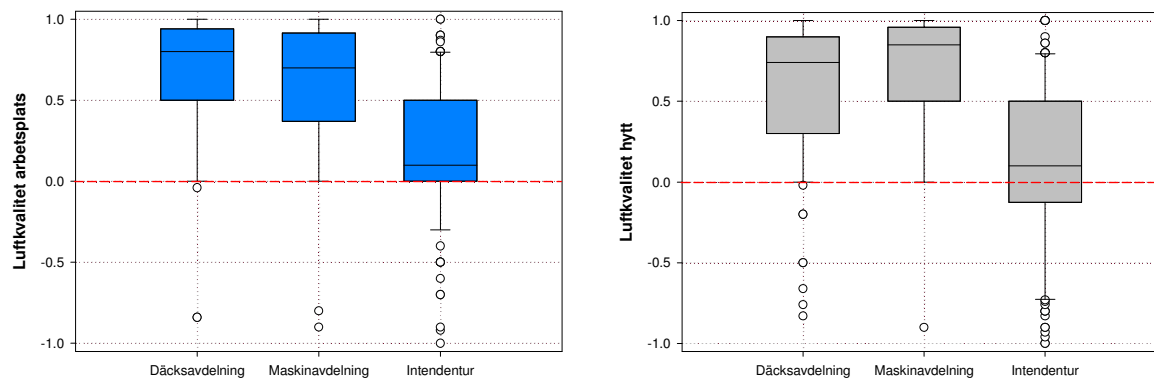
	Befäl	Manskap	p-värde
Luftkvalitet arbetsplats	0,80	0,30	<0,00001***
Luftkvalitet hytt	0,80	0,30	<0,00001***
Lukt arbetsplats	2,5	4,6	<0,00001***
Lukt hytt	1,3	2,5	<0,00001***

Signifikansnivåer: **Fet stil** och *** = 0,001 nivå | ** = 0,01 nivå | * = 0,05 nivå |

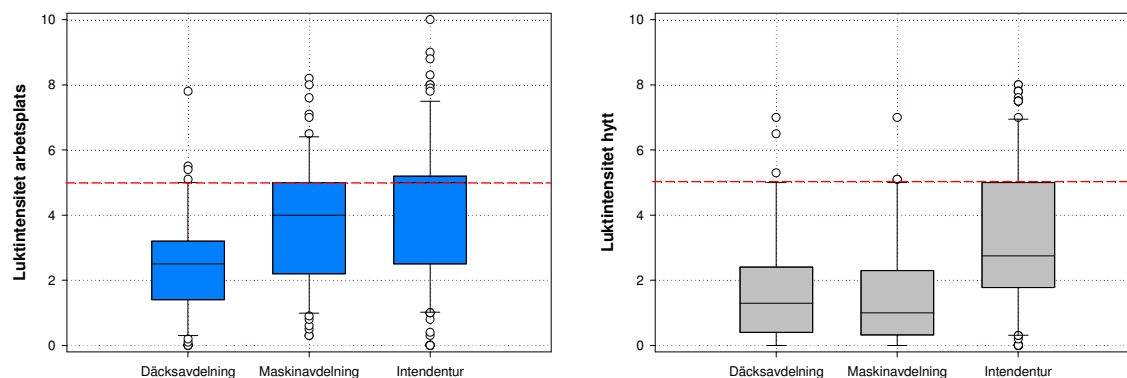
En stark till måttlig lukt på arbetsplatsen (svar över 5 på den 10-gradiga skalan) upplevs av 3,4 % av befälen och 14 % av manskapet. I hytten är det något jämnare, där rapporterar 2,0 respektive 2,7 % av respondenterna att de upplever en stark till måttlig lukt.

Resultat per avdelning

Figur 26 och Figur 27 visar hur luftkvaliteten respektive luktintensitet upplevs på arbetsplatsen och i hytten av personal i de olika avdelningarna för däck-, maskin- och intendenturpersonal, både befäl och manskap för alla fartyg. Kategorin däckspersonal innehöll 95 personer, maskin 68 personer och intendenturen 130 personer.



Figur 26. Upplevd luftkvalitet på arbetsplatsen (till vänster) och i hytten (till höger) för däck-(n=95), maskin-(n=68), och intendentur (n=130) avdelningarna.



Figur 27. Upplevd lukt på arbetsplatsen (till vänster) och i hytten (till höger) för däck- (n=95), maskin- (n=68) och intendentur (n=130) avdelningarna.

Vi ser att även om luftkvaliteten upplevs som acceptabel i hög grad av alla personalkategorier för både arbetsplats och hytt så rapporterar intendenturpersonalen en något lägre grad (Figur 26). Detsamma gäller för upplevelsen av lukt på arbetsplatsen och i hytten (Figur 27) där skillnaden framför allt ses när det gäller lukt i hytterna.

Som framgår av Tabell 8 så är dessa skillnader mellan intendentur- och driftpersonal statistiskt signifikanta med den högre signifikansnivån förutom upplevelsen av lukt på arbetsplatsen där det bara finns en skillnad mellan däck och intendentur. Troligen kan dessa skillnader delvis förklaras av olika typer av arbetsuppgifter och exponeringar som personalen inom de respektive avdelningarna har men sannolikt finns det flera bottnar bakom detta resultat. Tidigare svensk och internationell inomhusmiljöforskning visar att en individs subjektiva upplevelse av luftens kvalitet också påverkas av andra parametrar än de som berör själva inomhusmiljön. Upplevelsen styrs också av psykosociala arbetsmiljöfaktorer som hög arbetsbelastning, höga krav i arbetet och liten möjlighet att själv kunna påverka sin arbetsituation, samt lågt socialt stöd och låg arbetstillfredsställelse (Brauer & Mikkelsen, 2010; Frontczak & Wargocki, 2011; Lahtinen et al., 2004). En nyligen genomförd studie av intendenturpersonalens arbetsmiljö och arbetsförhållanden på svenska passagerarfartyg (Hult et al., 2017) visar att denna personalkategori har högre ohälsotal med många långa sjukskrivningar över 60 dagar relaterade till hög fysisk och mental arbetsbelastning. De rapporterar också en lägre arbetstillfredsställelse och lägre motivation i arbetet än driftpersonalen inom däck- och maskinavdelningarna. Den enskilde individens totala upplevelse av krav, inflytande och stöd i arbetet påverkar sannolikt både ohälsan i sin tur upplevelsen av inomhusmiljön.

Tabell 8. Statistisk analys av skillnader i upplevelsen av luftkvalitet och luktintensitet mellan avdelningarna (däck n=95, maskin n= 68 och intendentur n=130). Tabellens första kolumn representerar medianvärden.

Luftkvalitet arbetsplats		Däck	Maskin	Intendentur
0.80	Däck	1	0,2713	<0,00001***
0.70	Maskin		1	<0,00001***
0.10	Intendentur			1
Luftkvalitet hytt		Däck	Maskin	Intendentur
0.74	Däck	1	0,1188	<0,00001***
0.85	Maskin		1	<0,00001***
0.10	Intendentur			1
Luktintensitet arbetsplats		Däck	Maskin	Intendentur
2.5	Däck	1	0,0008	<0,00001***
4.0	Maskin		1	0,0643
5.0	Intendentur			1
Luktintensitet hytt		Däck	Maskin	Intendentur
1.3	Däck	1	0,6101	<0,00001***
1.0	Maskin		1	<0,00001***
2.8	Intendentur			1

Signifikansnivåer: **Fet stil** och *** = 0,001 nivå | ** = 0,01 nivå | * = 0,05 nivå |

Multivariat analys

I den här studien fokuserar vi främst på resultaten från sex variabler: uppmätta halter av de fyra individuella luftföroreningarna med hälsobaserade riktvärden (NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen), samt de två grupperna av luftföroreningar (TVOC och summa 32 PAH-ämnen). Dessa resultat härstammar från mätningar på 124 personer ombord 11 fartyg vid 13 måttillfällen.

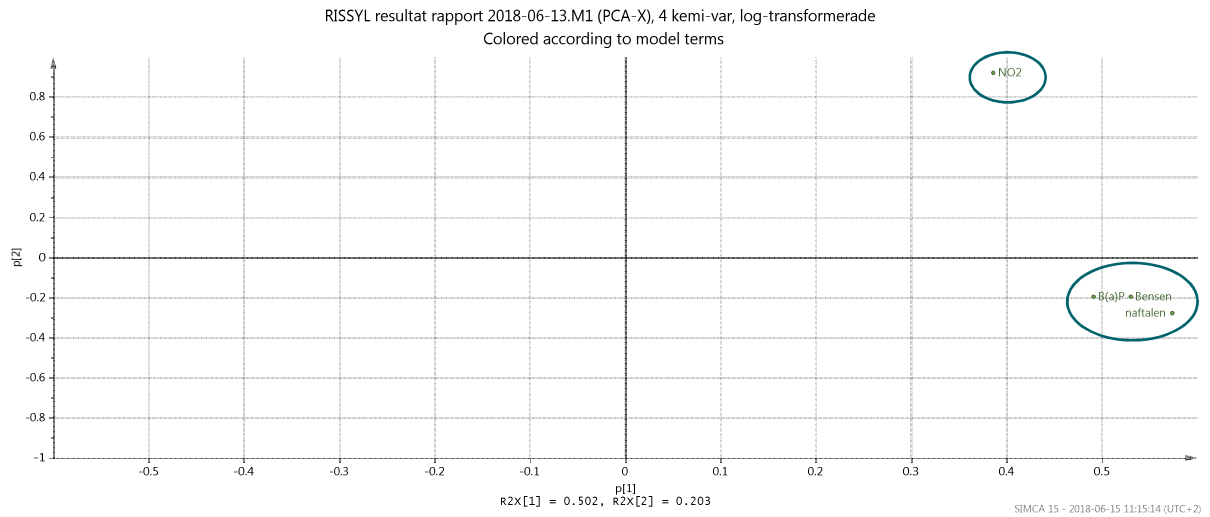
Med många variabler i ett dataset är det svårt att bilda sig en uppfattning om hur data hänger samman utifrån analys och visualisering av enskilda variabler. Här är den multivariata analysen, MVA, användbar. En enkel variant av MVA är principalkomponentanalys, PCA, som är en statistisk standardmetod för att beskriva och visualisera likheter och olikheter mellan prover. I en multivariat analys behandlas flera variabler samtidigt för att bestämma korrelation (styrkan och riktningen av samband mellan variabler) och grupperingar i en större mängd data från flera studerade objekt. Metoden kan spåras till statistikern Karl Pearsons artikel från 1901 (Pearson, 1901). En mer detaljerad beskrivning av den multivariata analysen i detta projekt återfinns i Bilaga 1.

Riktning av variabler som motsvarar de uppmätta halterna av de undersökta ämnena presenteras här i så kallade loading-diagram (x- och y-axeldiagram) och hur punkterna förhåller sig mot varandra presenteras i så kallade score-diagram (en oval med fyra kvadranter). Exponeringen analyserades genom PCA i två modeller: i den första analysen undersöktes de fyra individuella luftföroreningarna och den andra modellen ingick alla sex variabler.

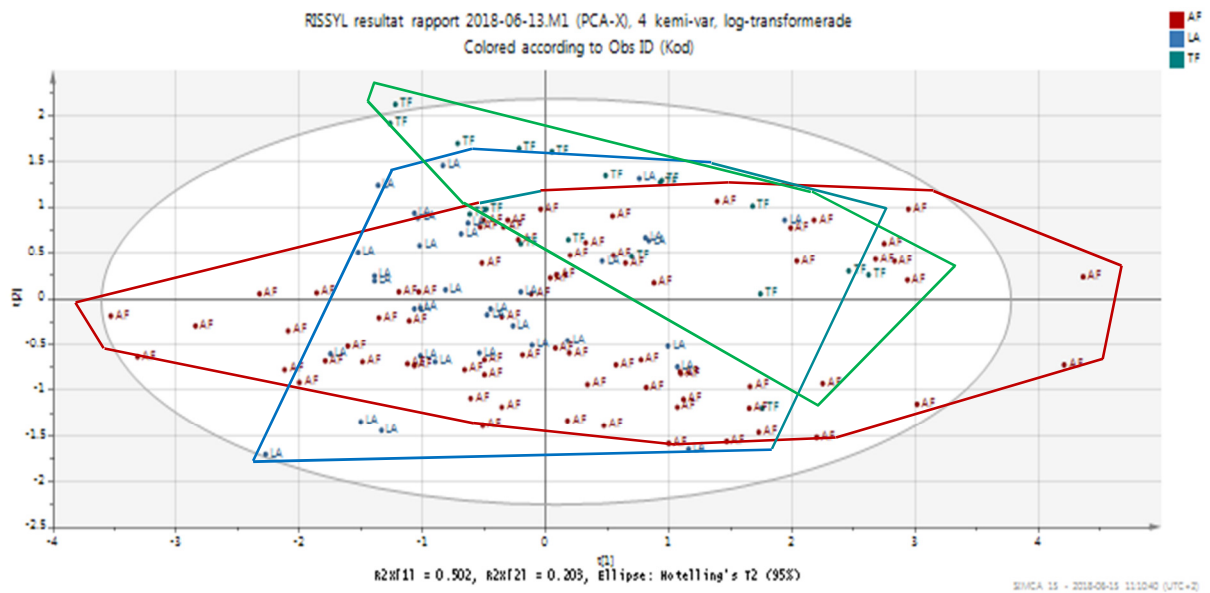
Resultaten från den första modellen presenteras likt föregående kapitel enligt fartyg, befattning och avdelning. För att göra det överskådligt har vi delat upp fartygen i tre kategorier enligt dess "funktion":

- **Arbets-/funktionsfartyg (AF):** kryssningsfartyg HFO, kryssningsfartyg RMB30, seismikfartyg, örlogsfartyg, KBV kombinationsfartyg, isbrytare HFO och isbrytare MD
- **Tankfartyg (TF):** bunkerfartyg och oljetankfartyg;
- **Torrlastfartyg (LA):** torrlastfartyg pellets, torrlastfartyg papper och torrlastfartyg cement.

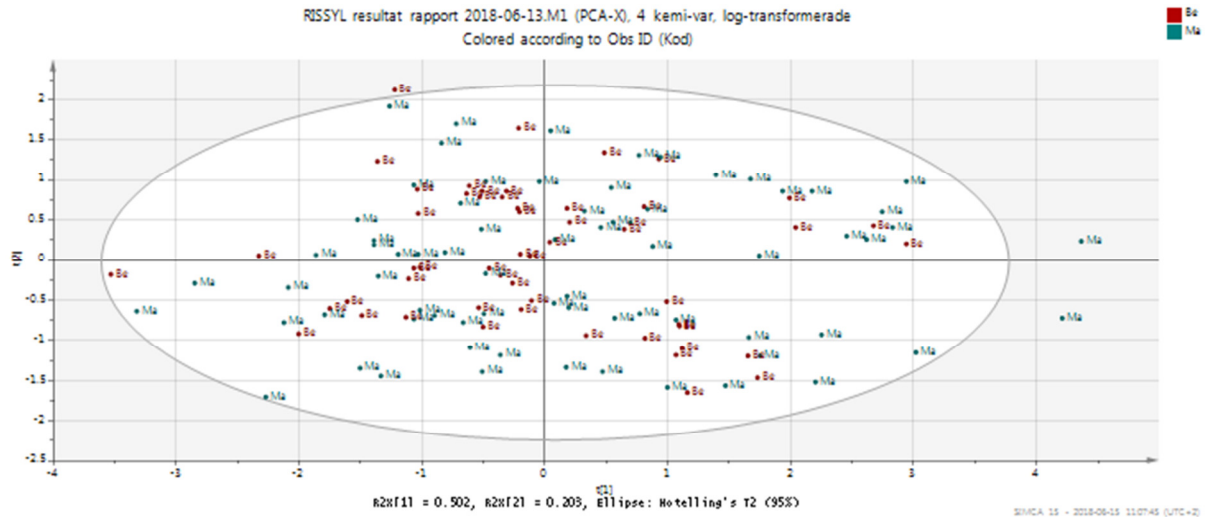
Figur 28 visar hur luftföroreningarna i den första multivariata modellen hänger ihop. Ämnen med högre halter ligger åt höger och uppåt. Det är halterna av kvävedioxid (NO₂) som skiljer ut punkterna i de följande score-diagrammen (Figureerna 29–31). NO₂ är markör för dieslavgaser. Bensen, benso(a)pyren och naftalen uppför sig på ett liknande sätt och bildar tillsammans en grupp.



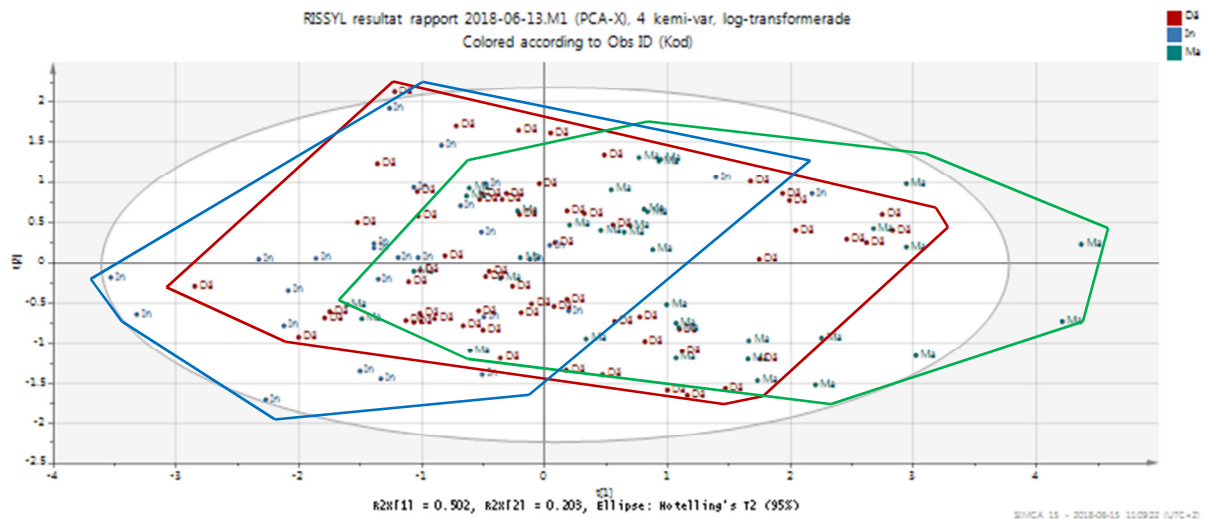
Figur 28. Loading-diagram från den första PCA-modellen (4 variabler).



Figur 29. Score-diagram enligt fartygskategori. AF = arbets-/funktionsfartyg (brun linje och punkter); TF = tankfartyg (grön linje och punkter); LA = torrlastfartyg (blå linje och punkter).



Figur 30. Score-diagram enligt befattning. Bruna punkter = befäl, gröna punkter = manskap.



Figur 31. Score-diagram enligt avdelning. Däcksavdelningen markeras med bruna punkter och linjer, maskinavdelningen med gröna punkter och linjer, samt intendenturavdelningen med blåa punkter och linjer.

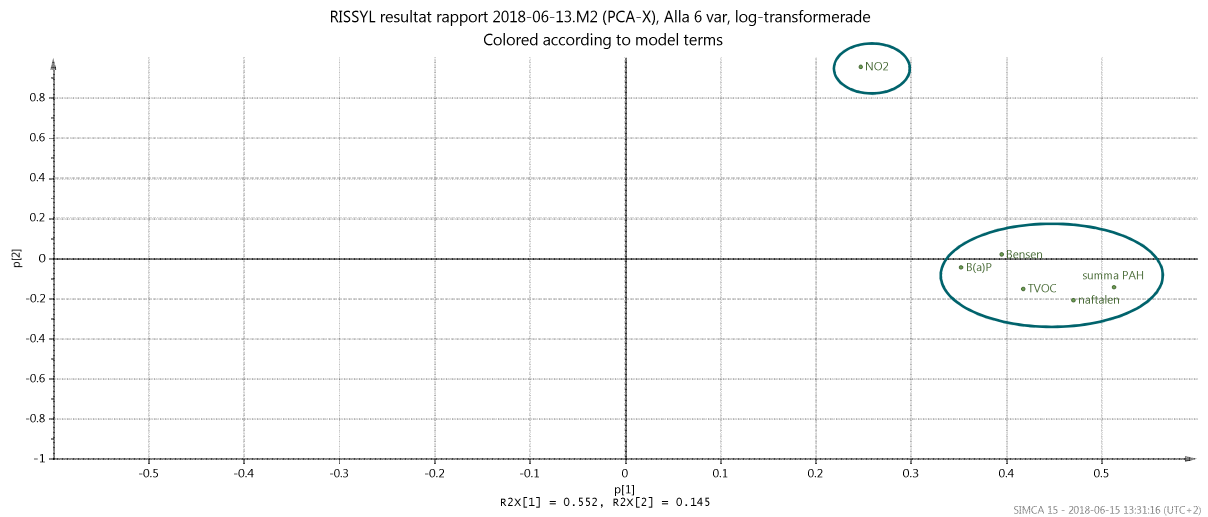
Som framgår av Figur 29 finns det en antydning till gruppering av fartygen enligt funktion (AF, TF och LA) i avseende på besättningens exponering för de undersökta luftföroreningarna. Dock är skillnaderna inte så tydliga eftersom linjerna som omringar varje grupp går in i varandra. Punkterna som förställer arbets-/funktionsfartyg sträcker sig, till exempel, över hela ovalen. Om uppdelningen enligt fartygsfunktion varit mycket skarp skulle de respektive punkterna ligga antingen i separata kvadranter eller fördela sig uppåt-neråt eller höger-vänster (eller kombination av dessa riktningar).

Figur 30 visar den sammansatta exponeringen enligt den första modellen uppdelad på befattningskategorierna befäl och manskap. Det syns tydligt att punkterna ligger i en "svärm" och att det inte går att dra några avskiljande omringande linjer. Det betyder att den sammansatta exponeringen inte skiljer sig mellan befäl och manskap, något som vi har observerat också med de individuella luftföroreningarna.

Figur 31 visar gruppering enligt avdelning. I likhet med grupperingen av fartygstyp (Figur 29) går de omringande linjerna för de respektive avdelningarna in i varandra. Dock kan vi här se en tydlig

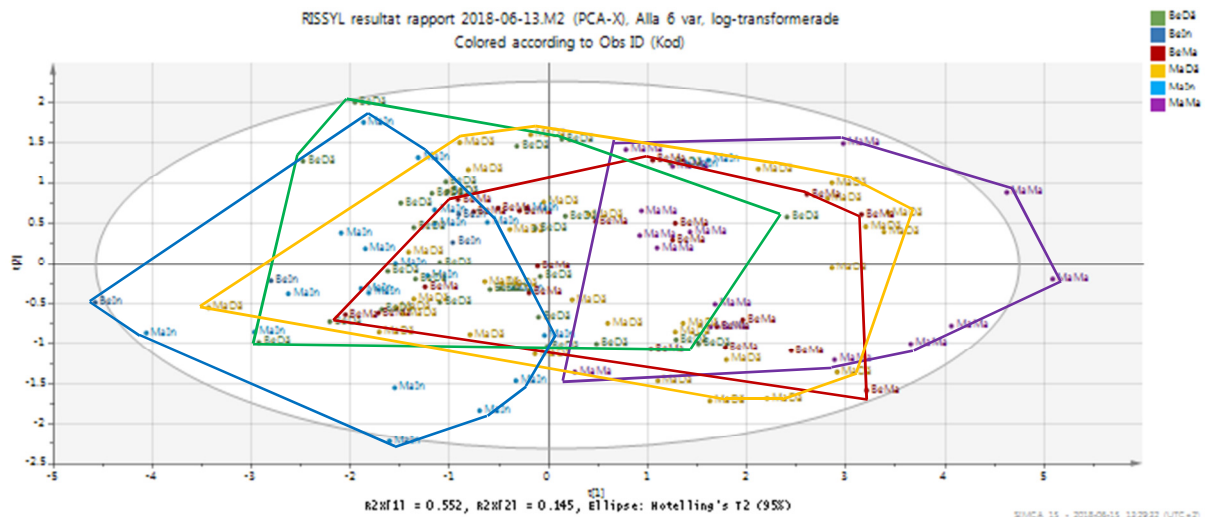
förskjutning till höger för maskinavdelningen vilket betyder att de har en mer avvikande exponering för NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen än personal som jobbar inom däcks och intendenturen.

Den andra PCA modellen inkluderade alla sex variabler; förutom de fyra första ämnena även totalhalt flyktiga organiska ämnen (TVOC) och summa 32 PAH-ämnen. Av Figur 32 framgår att även i denna modell var det halterna av NO₂ som bäst representerade den sammanlagda exponeringen. Halterna av de andra ämnena följde varandra.



Figur 32. Loading-diagram från den andra PCA-modellen (64 variabler).

I den andra PCA-modellen har vi delat upp personalkategorierna ytterligare för att studera hur exponeringen fördelar sig mellan befäl och manskap i däcks- och maskinavdelningen, samt intendenturen i sin helhet (befäl och manskap utgör en gemensam kategori eftersom det är få observationer för kategorin intendenturbefäl). I Figur 33 kan vi tydligt se hur fördelningen av grupperna maskinmanskap och intendentur är mycket tydligt avskilda i score-diagrammet.



Figur 33. Score-diagram enligt befattning och avdelning. Maskinmanskap markeras med lila punkter och linjer, maskinbefäl markeras med bruna punkter och linjer, däcksmanskap med gula punkter och linjer, däcksbefäl med gröna punkter och linjer och intendenturen med blå punkter och linjer.

Riskbedömning

Ett uttalat mål med denna undersökning var att utveckla en metod för riskbedömning av sjömäns exponering för farliga luftföroreningar, samt formulera praktiska råd och rekommendationer som kan användas av branschen. Arbetsgivarens ansvar för att regelbundet och på ett systematiskt sätt identifiera, riskbedöma och åtgärda alla faktorer i arbetsmiljön som kan orsaka ohälsa eller olycksfall regleras i både svensk arbetsmiljölag (SFS 1977:1166) och internationella regler för hur sjöfartens säkerhetsarbete ska organiseras (IMO, 2010). Dessutom finns särskilda regler om riskbedömning av kemiska arbetsmiljörisker i Arbetsmiljöverkets föreskrifter AFS 2011:19.

Med utgångspunkt i de omfattande mätningar som gjorts inom detta projekt presenteras här ett underlag för bedömning och hantering av risker förknippade med luftföroreningar ombord.

Kumulativt riskindex

Den grundläggande principen för riskbedömning av kemiska arbetsmiljörisker är baserade på arbetsgången i det systematiska arbetsmiljöarbetet: undersökning, riskbedömning, åtgärder och uppföljning. Exponeringen för luftföroreningar på fartyg innebär en samtidig påverkan från flera olika ämnen som kan ha likartade effekter, en så kallad additiv hygienisk effekt. Vissa kemiska ämnen kan också förstärka andra ämnens effekter, bland annat har till exempel tobaksrökvisats ha additiv och i en del fall till om med synergistisk effekt vid samtidig exponering för vissa ämnen. (Pope et al., 2004). Förstärkande effekter kan också förekomma vid samtidig exponering för buller och värme men detta är ingenting som har undersökts särskilt i denna studie.

Som stöd för att kunna bedöma och värdera risken för ohälsa och olycksfall som exponeringen för NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen utgör inte var för sig utan tillsammans, använder vi en modell som beskrivs av Ragas m.fl. (2011) för boendemiljöer. Vi har använt det nämnda tillvägagångssättet och tillämpat det så att vi kan väva samman de uppmätta halterna av de enskilda ämnena till en siffra – ett kumulativt riskindex. Kumulativt riskindex är baserat på kvoten mellan summerade uppmätta värden och rekommenderade hälsobaserade riktvärden (Formel 1) och definieras som en sammanvägd summa av halterna för de enskilda ämnena eller komponenter som ingår i exponeringen (USEPA, 1986).

Som referensvärden har följande värden använts från Tabell 1: NO₂ 40 µg/m³, bensen 1,7 µg/m³, benso(a)pyren 0,00012 µg/m³ samt naftalen 10 µg/m³.

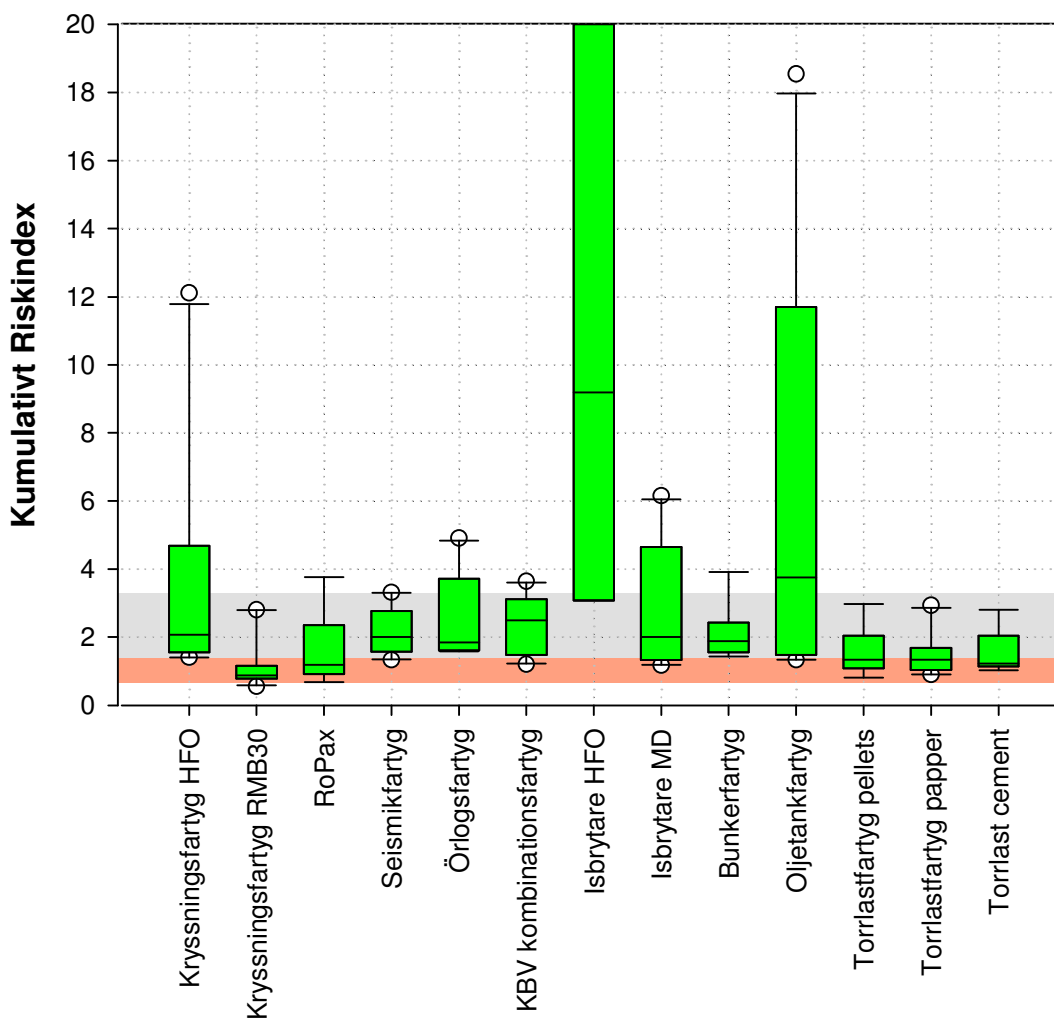
$$KR = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{Standard_i}$$

Formel 1. Kumulativt riskindex uttryckt som summa av de ingående exponeringskomponenterna.

KR = Kumulativt Riskindex, n = antal ämnen (n = 4), C_i = uppmätt halt av ämne i; Standard_i = referensvärde för ämne i.

Med den modifierade modellen får vi fram ett kumulativt riskindex som kan användas för att bedöma, värdera och framförallt jämföra exponeringar vid olika situationer, för olika personalkategorier och som underlag när beslut ska fattas om olika interventioner och åtgärder.

För att kunna jämföra riskindex för fartygspersonal i denna undersökning och relatera exponeringen ombord till vad vi normalt exponeras för i vår hemmamiljö så har index också beräknats för normalbefolkningen i Sverige, baserat på de fåtal studier som finns. Yazar et al. (2011) har undersökt exponeringen för NO₂, bensen och benso(a)pyren (samt isopren som inte ingick i denna studie) för 20–40 personer i Stockholm. Från andra svenska studier har erhållits ytterligare uppgifter för bensen och NO₂ (Hagenbjörk-Gustafsson et al., 2014; Langer & Bekö, 2013), samt för naftalen från Åkerström et al. (2009) som baseras på 36 mätningar i Göteborg. En kombination av exponeringen (medianhalter) från dessa fyra svenska studier gav ett intervall för riskindex för normalbefolkningen mellan 1,25 – 1,73.



Figur 34. Kumulativt riskindex per fartyg. Det aprikosfärgade fältet visar området för kumulativt riskindex för normalbefolkningen och det grå fältet visar kumulativt riskindex för svenska kokkar.

Figur 34 visar hur risker kopplade till exponeringen för NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen för besättningarna i denna studie förhåller sig till normalbefolkningens exponering inomhus i hemmamiljöer (aprikosfärgade fältet). Andel personer från fartygspersonalen som under sin ombordtjänstgöring har en exponering som motsvarar samma riskområde som normalbefolkningen var 26 %. Andelen fartygspersonal med lägre riskindex än normalbefolkningen utgjorde 24 %, medan 50 % hade ett högre riskindex. Det innebär att hälften av de personer som deltog i denna studie utsätts för en högre exponering för NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen inom sitt arbete än om de varit hemma.

Av Figur 34 framgår också tydliga skillnader i riskindex mellan mättillfällena med olika bränslen hos både kryssningsfartyget och isbrytaren som båda hade ett högre riskindex under HFO-drift. Eftersom resultaten baseras på två mätningar vardera på två fartyg går det inte att dra några definitiva slutsatser men det är rimligt att anta att bränslebytet som primärt genomfördes för att minska belastningen på yttre miljön även har en positiv inverkan på besättningens arbets- och innemiljö. Resultatet är särskilt intressant med tanke på att fem av de tio provtagarna på kryssningsfartyget vid båda tillfällena bars av intendenturpersonalen som inte hanterar brännolja, smörjolja eller förväntas exponeras för avgaser i samma utsträckning som framför allt maskinpersonalen.

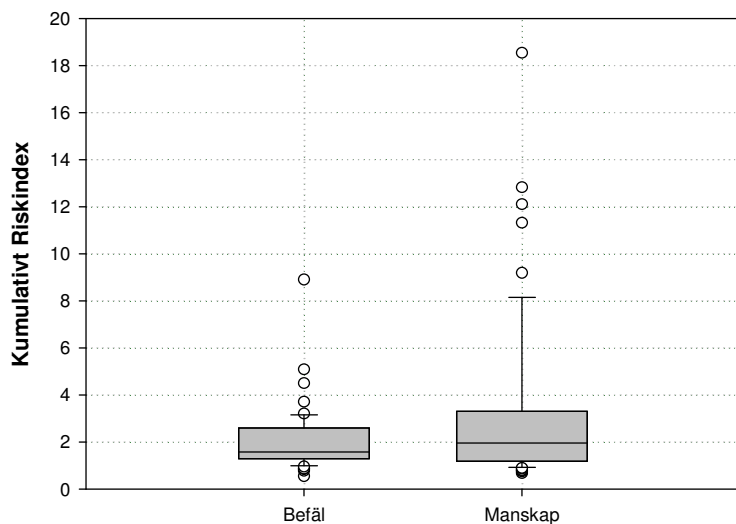
En annan yrkeskategori som i sitt arbete utsätts för de luftföroreningarna som studerats inom denna studie är personer som arbetar i restaurangkök. Som ytterligare jämförelse av våra uppmätta exponeringar har uppgifter erhållits för NO₂, benzo(a)pyren och naftalen från en exponeringsstudie av kökspersonal i fyra olika typer av svenska restauranger (Lewné et al., 2017). Kumulativt riskindex har beräknats för de lägsta och högsta exponeringshalterna för de respektive luftföroreningarna i den nämnda studien (visas i det grå fältet i Figur 34). Intervallet för riskindexet i det fallet låg mellan 1,74 – 3,28. Det är uppenbart att även andra yrkesgrupper utsätts för farliga luftföroreningar mera i sitt arbete än i hemmet och här ser vi att majoriteten av fartygspersonalens exponeringar ligger på likartade nivåer som i ett svenskt restaurangkök.

Som framgår av Figur 34 har oljetankfartyget det näst högsta riskindex. Det kan bero på att besättningen exponerades för ångor från lasten ombord. Fartyget fraktade vid mättillfället tjockolja (HFO 0,5 % S) och bland annat bytte en person ur däcksmanskapet en packning på en lucka till lastutrymmet. Men det kan också bero på andra arbetsuppgifter som besättningen utförde och som inte är direkt relaterade till typ av last. Under mätperioden var de fyra deltagande personerna i däcksmanskapet sysselsatta med målningsarbete på däck. Samtidigt har en fartygsingenjör rengjort separatorn och motorman svetsat. Alla sex personer hade förhöjda halter av summa 32 PAH, de fyra personerna på däck hade dessutom förhöjda halter av TVOC.

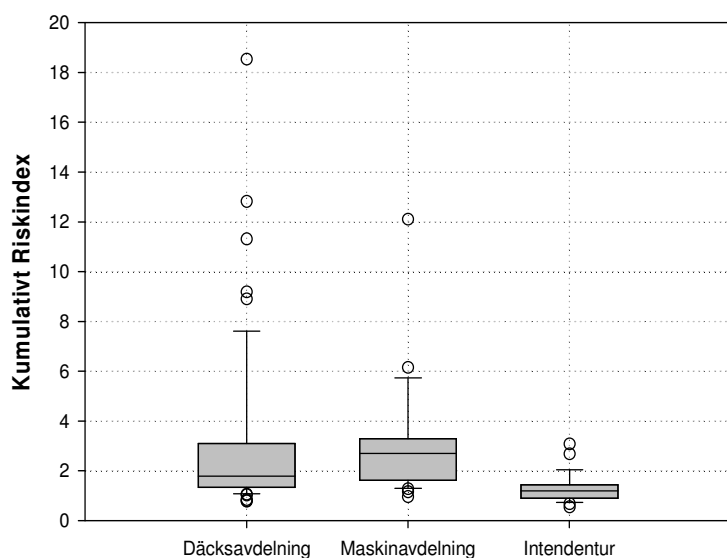
Statistisk jämförelse av kumulativt riskindex

När kumulativt riskindex beräknas baserat på medianvärdena för personalkategorierna befäl (1,58) och manskap (1,96) för alla fartyg (Figur 35) ser vi att båda ligger strax över området för normalbefolkningens exponering i innemiljöer (1,25 – 1,73). Även om medianvärden verkar vara olika så är det ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan de två grupperna ($p=0,2846$).

Som förväntat med tanke på tidigare redovisade resultat har maskinavdelningen högst riskindex (Figur 36 och Tabell 9). Skillnaden mellan däck- och maskinavdelningarna är dock inte statistiskt signifikant. Det är däremot skillnaden mellan driftavdelningarna och intendenturens lägre riskindex. Intendenturen har också en snävare spridning av de olika mätpunkterna, jämfört med både däck- och maskinavdelningarna som har avsevärt bredare spridning. Skillnaden mellan intendenturavdelningen och driftsavdelningarna är statistiskt säkerställd med den högsta signifikansnivån.



Figur 35. Kumulativt riskindex per befattning.



Figur 36. Kumulativt riskindex per avdelning.

Tabell 9. Jämförelse av riskindex mellan avdelningarna däck, maskin och intendentur för alla fartyg.

Riskindex median		Däck	Maskin	Intendentur
1,78	Däck	1		
2,70	Maskin	0,1074	1	
1,19	Intendentur	<0,00001***	<0,00001***	1

Signifikansnivåer: **Fet stil** och *** = 0,001 nivå | ** = 0,01 nivå | * = 0,05 nivå |

Riskindex och riskbedömning i praktiken

De värden för kumulativt riskindex som redovisas här för de respektive fartygstyperna och personalkategorierna ska ses som vägledande och utgör en del av det förberedande underlag som kan behövas fram innan en riskbedömning ska göras. Det kan också vara ett vägledande beslutsunderlag inför strategiska beslut vid utformning av nya fartyg, arbetsplatser eller arbetsuppgifter ombord.

Samtliga halter som uppmätts i denna studie ligger med mycket stor marginal under de hygieniska gränsvärdena som regleras i Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2018:1). Både svenska och internationella gränsvärden för yrkesmässig exponering av farliga ämnen baseras dels på vetenskapliga grunder om kända dos-respons-effekter, det vill säga hur höga doser av ett ämne som människor kan utsättas för utan att drabbas av akuta eller långvariga hälsoeffekter. Men gränsvärden sätts också med hänsyn till ekonomi, sociala konsekvenser och vad som är tekniskt och praktiskt genomförbart. Världshälsoorganisationen menar att det inte går att rekommendera några säkra halter av bensen och att all PAH-exponering i inomhusmiljöer är att betrakta som relevanta för hälsan (WHO, 2010). I praktiken innebär det att kända risker ska hanteras enligt principerna för preventionshierarkin – en åtgärds-trappa – där riskerna så långt som det är praktiskt möjligt (ekonomiskt och tekniskt) ska elimineras eller minimeras.

Resultaten av denna studie visar att riskindex påverkas av **fartygstyp och drivmedel**. Det här är beslut som fattas på strategisk operativ nivå och som besättningen har ingen eller liten möjlighet att påverka. Från tidigare undersökningar (Langer et al., 2015), ser vi dock att det med genomtänkt utformning av fartygets tekniska utrustning och ventilationssystem går att få ner halterna av farliga luftföroreningar även på tankfartyg och i maskinutrymmen, där generellt de högsta halterna kan förväntas. Vidare visar resultaten från denna undersökning att de **arbetsuppgifter** som utförs har stor påverkan på exponeringen. Även om intendenturpersonalen generellt har uppvisat lägre uppmätt exponering för de farliga ämnena som undersökts och därmed har ett lägre kumulativt riskindex, så kan det finnas arbetsuppgifter och arbetsförhållanden även här som behöver undersökas. Det är därför viktigt att för samtliga personalkategorier identifiera de arbetssituationer ombord som kan innebära förhöjd risk för ohälsa och olycksfall, för att kunna vidta lämpliga tekniska, organisatoriska och individuella åtgärder.

Analys av orsaker till höga exponeringar

I det här avsnittet analyserar och beskriver vi några särskilda fall där exponeringen för ett eller flera ämnen har visat sig vara påtagligt hög eller skiljer sig från de övriga proverna och där vi har vetskap om vad som kan ha orsakat denna avvikelse. Syftet är att illustrera hur vardagliga arbetssituationer för olika personalkategorier ombord påverkar exponeringen för luftföroreningar.

Vi har rangordnat mätresultaten från alla personer på alla fartyg enligt stigande riskindex, halter TVOC, samt halter summa 32-PAH. Från denna rangordning har vi identifierat 10 % av de fall (12 personer) som har antingen de lägsta eller de högsta värden av dessa tre parametrarna. Beroende på vilken parameter som används för rangordningen så är det inte exakt samma personer som hamnar i de högsta eller lägsta grupperna men det finns vissa likheter.

När vi sorterat resultaten enligt **riskindex** som baseras på NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen, finns i gruppen med de 10% lägsta riskindex nio personer som arbetar inom intendenturen, framförallt från kryssningsfartyget efter att de bytt bränsle (RMB30). I gruppen med högsta riskindex ligger

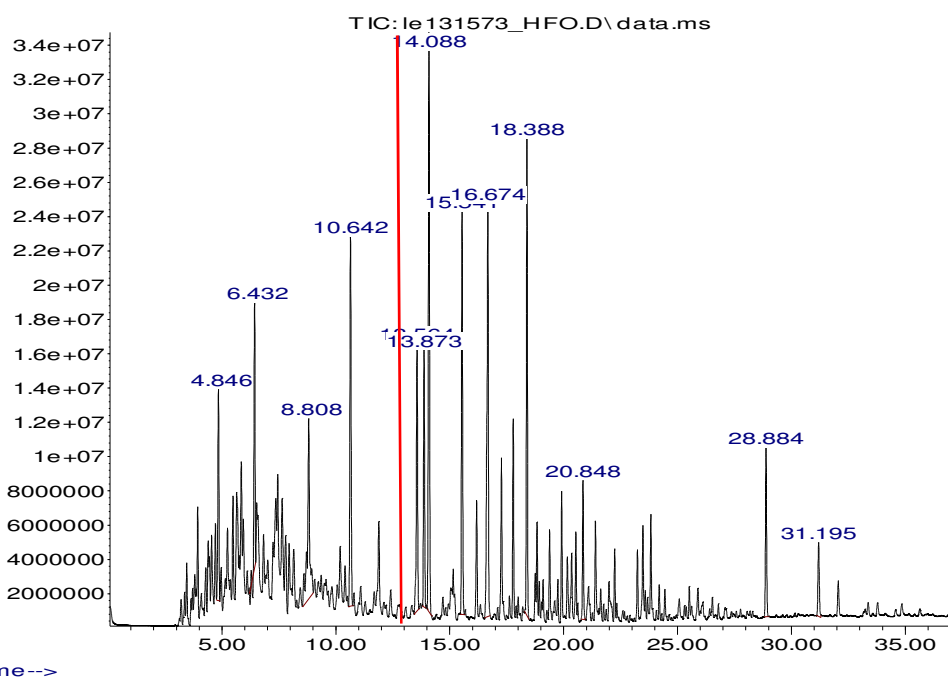
sex personer från vardera maskin- och däcksavdelningen (matros, motormän, reparatörer), framförallt från isbrytaren (båda bränslen) och oljetankfartyget.

I gruppen med de lägsta halterna av TVOC finns sex personer från intendenturen, fem personer från däcksavdelningen och en från maskinavdelningen, framförallt från kryssningsfartyget efter bränslebytet, men också från torrlastfartygen och bunkerfartyget. I gruppen med högst halter TVOC finns matros, motormän och reparatörer fördelade på sju personer från däcksavdelningen och fem personer från maskinavdelningen, framförallt från isbrytaren, oljetankfartyget och tankfartyget.

Bland de 10 % lägsta halterna av **summa 32 PAH-ämnen** finns sju personer från däcksavdelningen, fyra personer från intendenturen och en person från maskinavdelningen, framförallt från kryssningsfartyget (båda bränslen) och från Kustbevakningens fartyg. I gruppen med högst halter PAH finns igen sju personer från maskinavdelningen och fem personer från däcksavdelningen – alla var antingen motormän, matros eller reparatörer framförallt från isbrytaren (båda bränsletyperna), oljetankfartyget men även kryssningsfartyget (båda typer av bränsle).

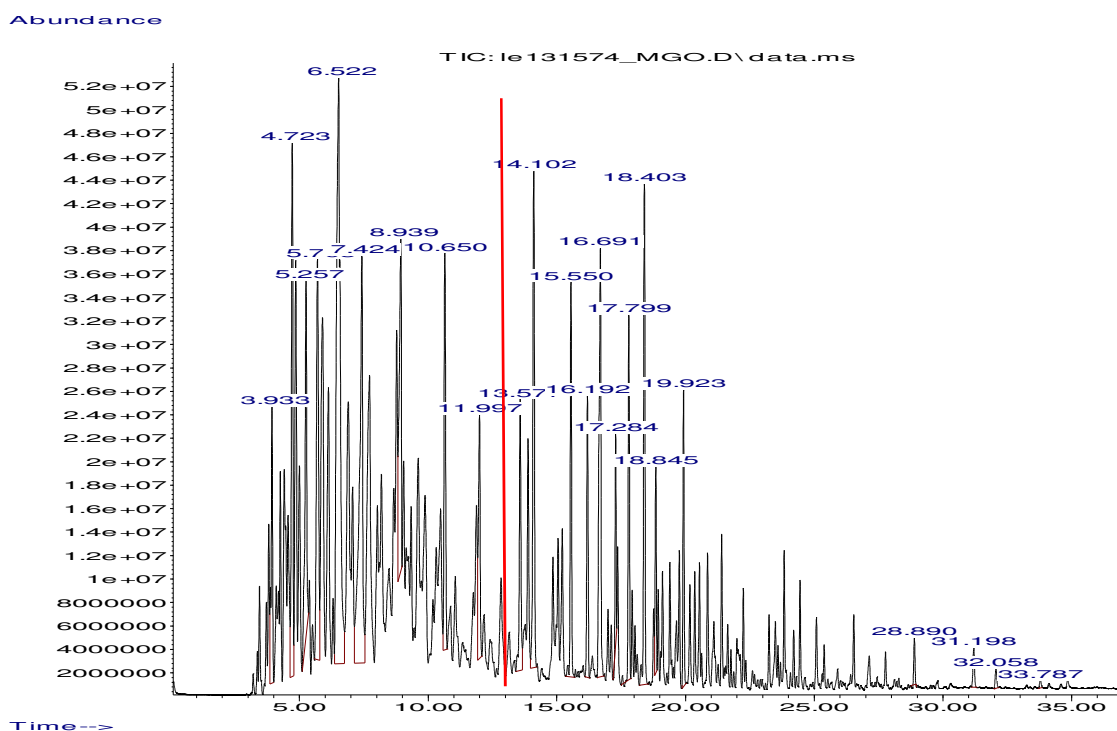
Vi har erhållit bunkerprover av tjockolja (HFO) och marin diesel (MD) och utfört en analys av bränsleångor med så kallad head-space gaskromatografi/masspektrometri. Resultat av en sådan analys – ett kromatogram – visas i Figur 37 och Figur 38. Varje topp i kromatogrammet representerar ett organiskt ämne som ingår i blandningen och som kan identifieras. Kromatogrammens x-axel är tid (i minuter) vid vilken varje ämne detekteras och y-axel motsvarar ämnets halt. På det sättet har vi erhållit ett fingeravtryck av bränsleångorna från det specifika bunkerprovet. Bränslen består huvudsakligen av raka och grenade kolväten alkaner samt aromater.

Abundance



Time-->

Figur 37. Kromatogram av HFO. Alkaner ligger till vänster och aromater till höger om den röda linjen.



Figur 38. Gaskromatogram av MDO. Alkaner ligger till vänster och aromater till höger om den röda linjen.

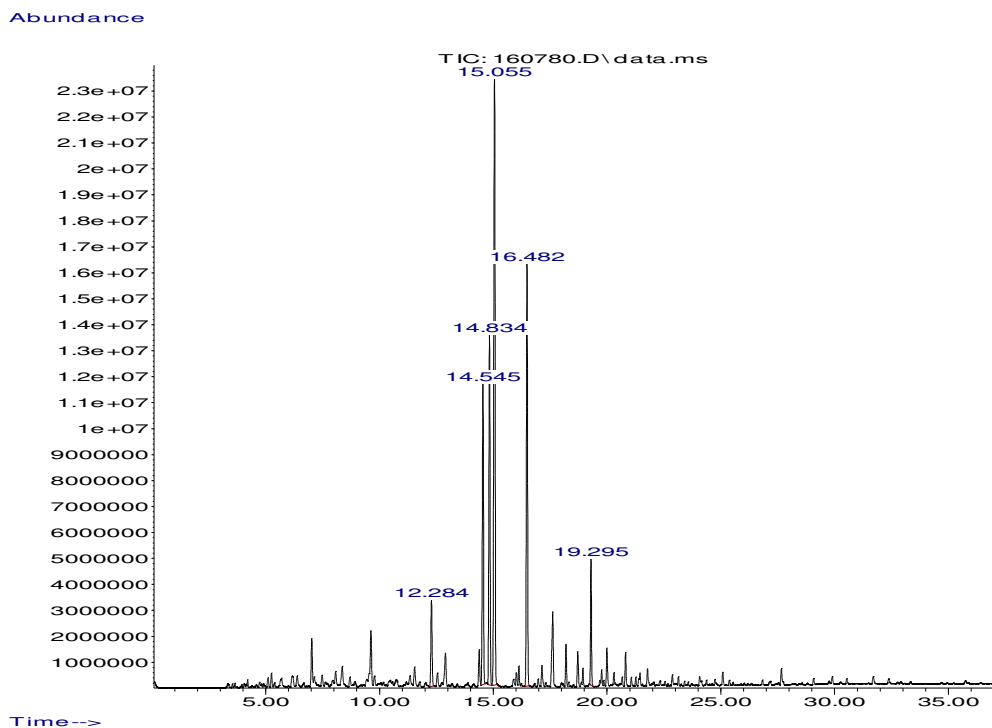
Vidare kunde vi använda prover av flyktiga organiska ämnen (VOC) vars totalhalt TVOC presenteras i avsnitt Resultat och Diskussion, Personlig exponering för TVOC (och bensen). De identifierade organiska ämnen kan spåras till en källa och relateras till arbetsuppgifter.

Här nedan presenteras några utvalda exempel på personal som hamnade i den övre respektive lägre exponeringsgrupp, baserat på Kumulativt Riskindex.

I gruppen med **10 % högsta värden av riskindex** ingick matrosar, motormän och reparatörer. Högt riskindex innebär också högre exponering för flyktiga organiska ämnen och summa 32-PAH-ämnen. Ämnen från VOC-kromatogrammen kan spåras till arbetsuppgifter.

Däcksmanskap på t.ex. oljetankfartyg och isbrytare

Däcksmanskap på oljetankfartyget och isbrytaren (båsar och matrosar) var några av personer med högst riskindex och högsta TVOC-halter. Under mätperioden hade de huvudsakligen varit sysselsatta med målnings- och rengöringsarbeten som är typiska för yrket (Figur 40). De dominerande kemiska ämnen som påvisades i kromatogrammen (ett exempel för alla visas i Figur 39) var xylener och acetater (etyl och butylacetater) som ingår i rengöringsmedel, lösningsmedel för färg och thinners, samt alkaner och aromater från bränslet (i något mindre omfattning).



Figur 39. Kromatogram med ämnen som härstammar från thinners och rengöringsmedel.



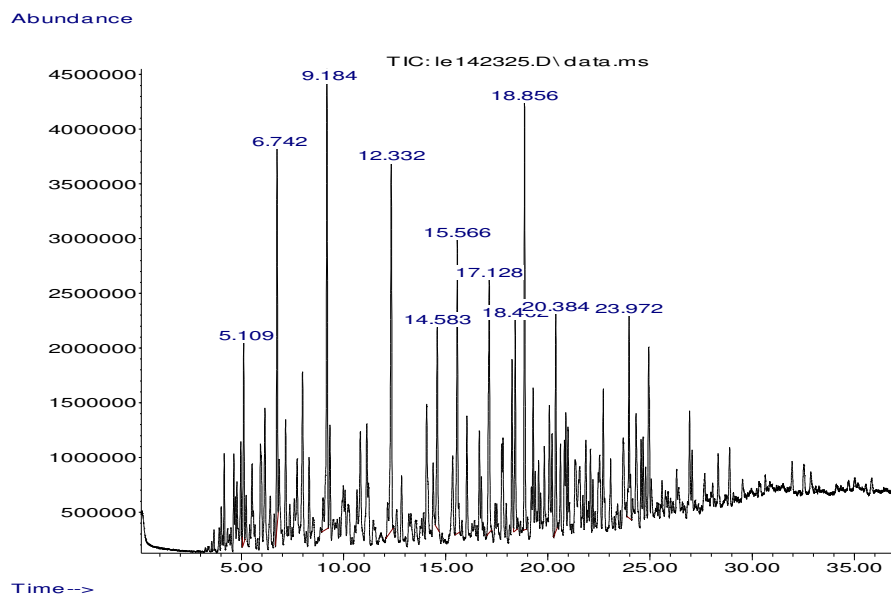
Figur 40. Exempel på målningsarbete på fartyg

Motormän och reparatörer

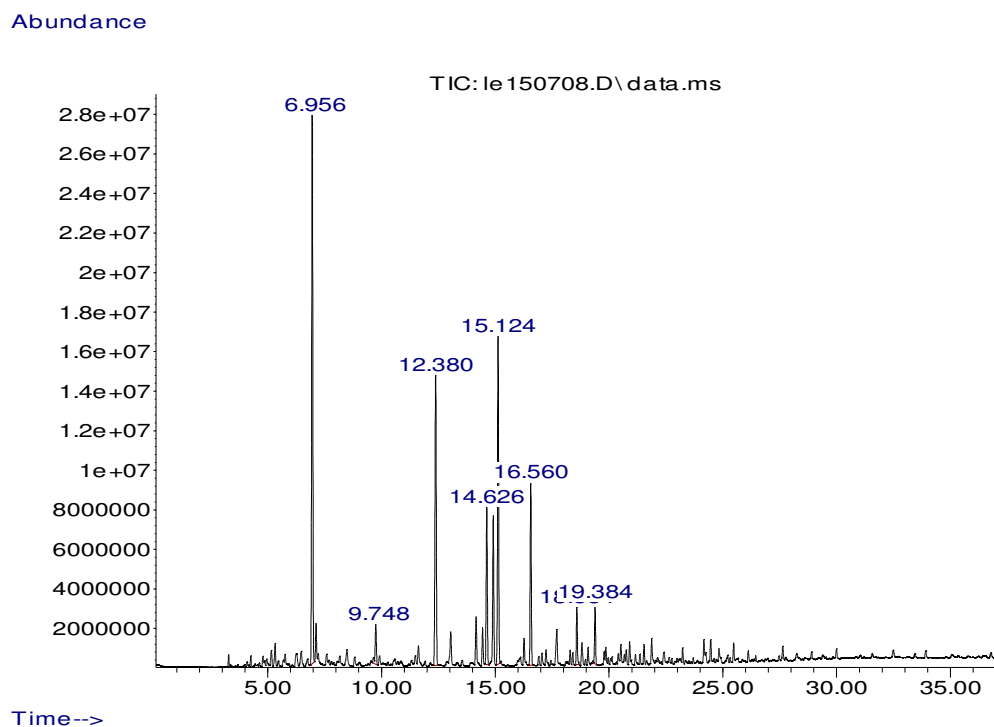
Maskinmanskapat med högst riskindex har typiskt ägnat sig åt rengöring av separatorer och bränslefilter. Detta görs ofta i separatorrummen som enligt tidigare undersökningar ofta har mycket höga halter av TVOC. Undersökning av kromatogrammen från motormän-prover visade att man använde antingen bränslet (diesel) eller lösningsmedel/thinners eller kombination av båda för dessa arbetsuppgifter. Exempel visas i Figurer 41–43.

Reparatörer uppvisade liknande mönster som motormän men i Figur 44 visas ett exempel på en reparatör som utfört plastarbete med styren under mätperioden. Det är ett arbete som kanske inte

utförs så ofta av maskinavdelningen men som här har gjort ett tydligt utslag i analysen. Reparatören använde andningsskydd med kolfilter under plastarbetet varför den faktiska personliga exponeringen var lägre än vad provtagaren har exponerats för.

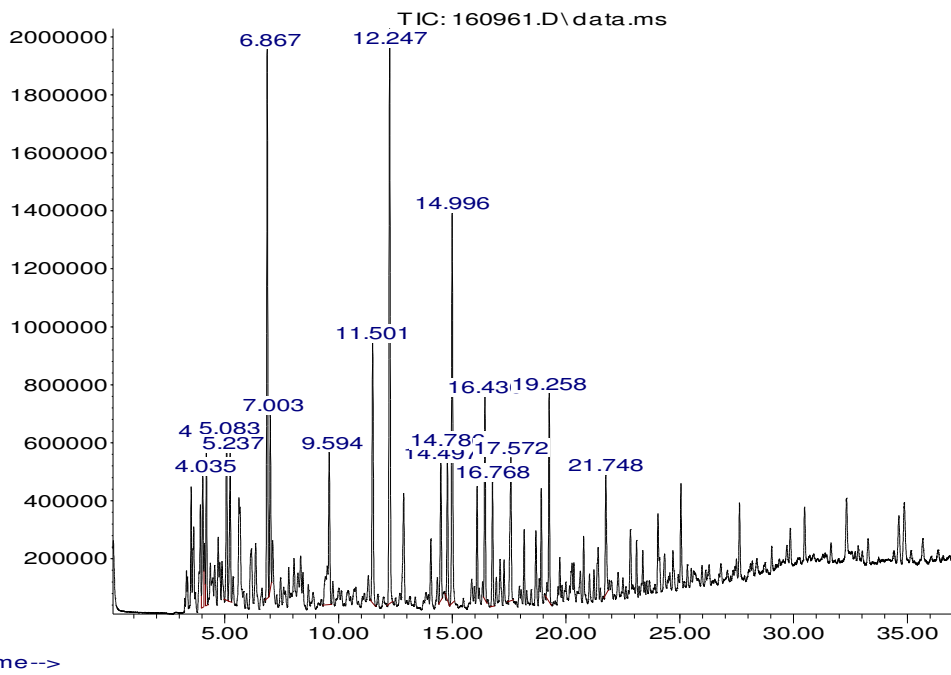


Figur 41. Motorman vaktgående: Kromatogram med ämnen som härstammar från marina bränslen.



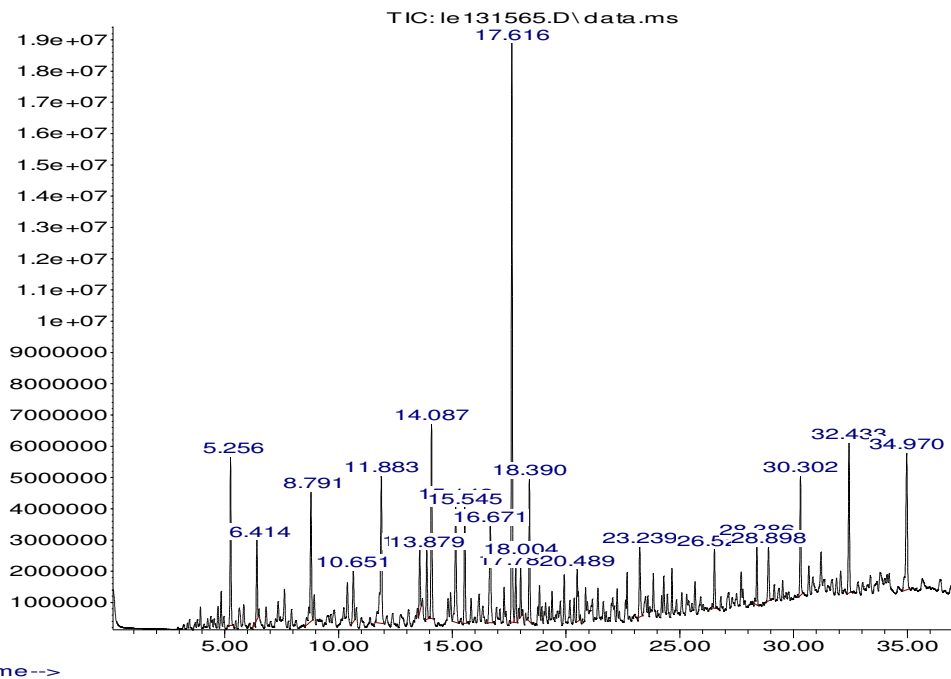
Figur 42. Motorman vaktgående: Kromatogram med ämnen som härstammar från thinner och lösnings-/rengöringsmedel.

Abundance



Figur 43. Reparatör: Kromatogram med ämnen som härstammar från thinner och lösnings-/rengöringsmedel och från fartygsbränsle.

Abundance



Figur 44. Reparatör: Kromatogram med ämnen som härstammar från marina bränslen. Det största ämnet är styren (toppen vid 17 minuter).

Tekniska åtgärdsförslag för att minska maskinpersonalens personliga exponering för dessa luftföroreningar är till exempel att:

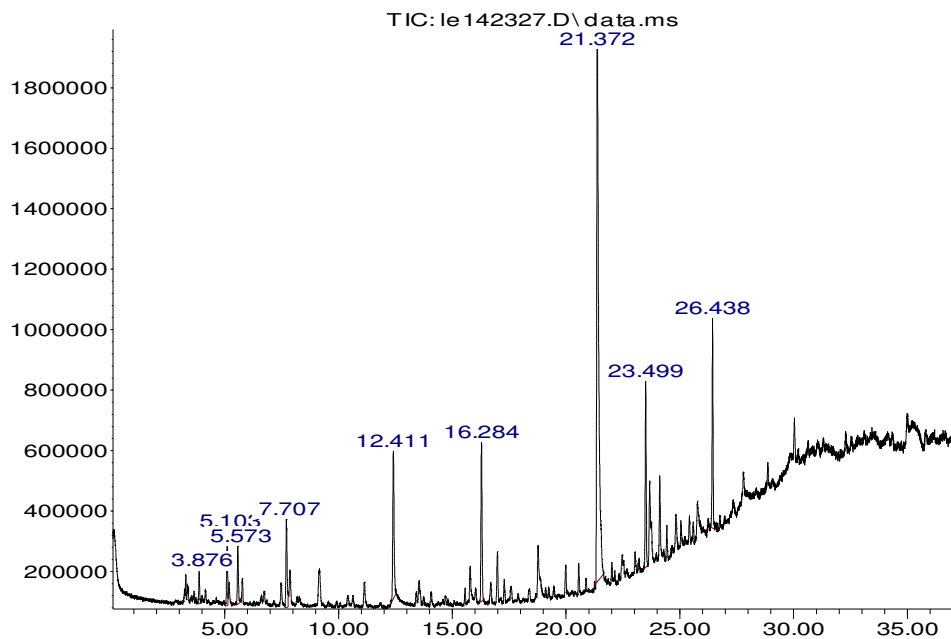
- överväga att byta bränsle från HFO till renare bränslen,
- se till att det finns ordentliga rengöringsrum med processventilation,
- så långt som möjligt använda teknisk utrustning för rengöring av motordelar, tex ultraljudstvätt, istället för manuell, mekanisk rengöring.

Dessutom bör arbetet organiseras i tid och rum för att undvika onödigt hög belastning på andningsvägarna. Med ökad fysisk belastning ökar andningen och då ökar också upptaget av skadliga ämnen. Det är ofta varmt i maskinrummen i allmänhet och separatorrummen i synnerhet. Även i fartygens kök kan det ibland vara höga temperaturer, beroende på klimatzon. Arbeta i stark värme ökar belastningen på kroppen varför det kan vara nödvändigt att planera för regelbundna pauser i svalare och bättre ventilerat utrymme. Denna studie fokuserar på upptag via andningsvägarna men upptag av skadliga ämnen sker även genom huden. Det är därför viktigt att säkerställa rutiner för byte och rengöring av arbetskläder och arbetshandskar och tillgång till lämpliga skyddshandskar av rätt typ och i rätt storlek.

Kockar, mässpersonal och hyttstädpersonal

I gruppen med de **10 % lägsta värden av riskindex** ingick framför allt intendenturpersonalen från Kryssningsfartyg RMB30 samt kockar från två av torrlastfartygen. Även halterna av TVOC och summa 32-PAH-ämnen var åt det lägre håller men ordningen följde inte riskindexet. Även här kan ämnen från VOC-kromatogrammen kan spåras till personalens arbetsuppgifter.

Abundance



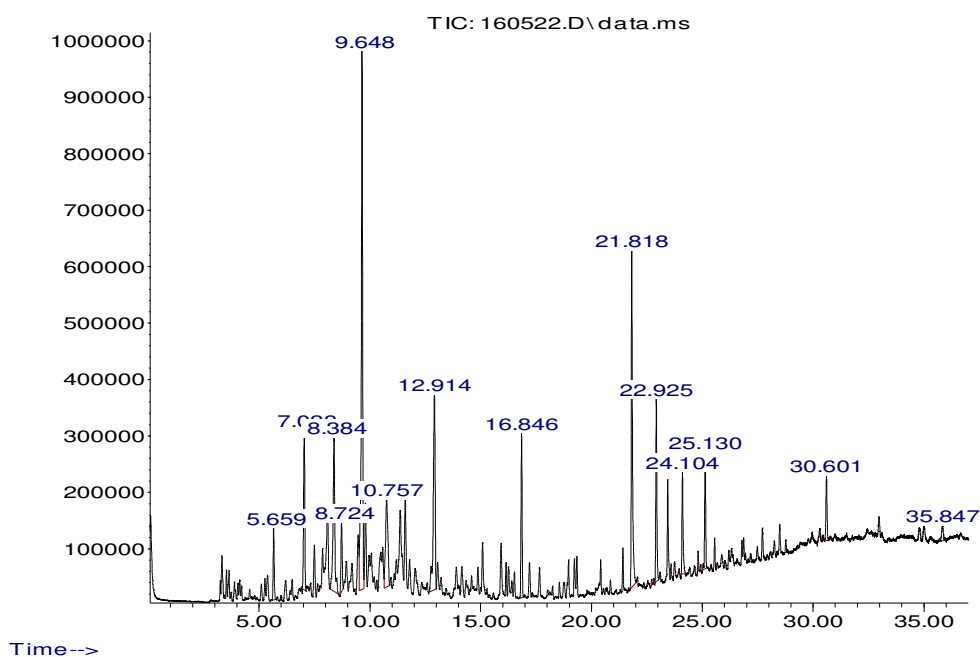
Time-->

Figur 45. Kock på passagerarfartyg

Figur 45 visar kromatogram från en kock på passagerarfartyg. Under mätperioden arbetade kocken i restaurangköket som grillkock och under en och samma kväll kunde kocken steka över 60 köttbitar. Alla uppmätta halter ligger mycket med mycket god marginal under de hygieniska gränsvärdena. Halten TVOC överskred UBA:s rekommenderade långtidsmedelvärde något, men låg under UBA:s

riktvärden för enstaka dagar. Halten bensen var i nivå med det hälsobaserade värde som enligt WHO ger en ökad risk med 1 på 100 000. Kromatogrammet visar tydliga markörer för köttstekning i form av hexansyra och oktansyra, samt ämnen som är typiska för vanliga inomhusmiljöer, ämnen från utandningsluft (acetone, isopren, etanol, isopropanol), och ämnen från tuggummi (limonen, mentol och levomentol). Sammantaget innebär inte denna observation att det är någon överhängande fara med att arbeta i restaurangkök på fartyg. Snarare ska resultatet ses som en påminnelse att alla avdelningar måste beaktas vid utformning av arbete och arbetsplatser på fartyg. Det väcker frågan om det finns väl fungerande utsug över stekborden? Finns möjlighet att ta paus i ett annat utrymme? Och ska samma person steka alla biffar på ett passagerarfartyg?

Abundance



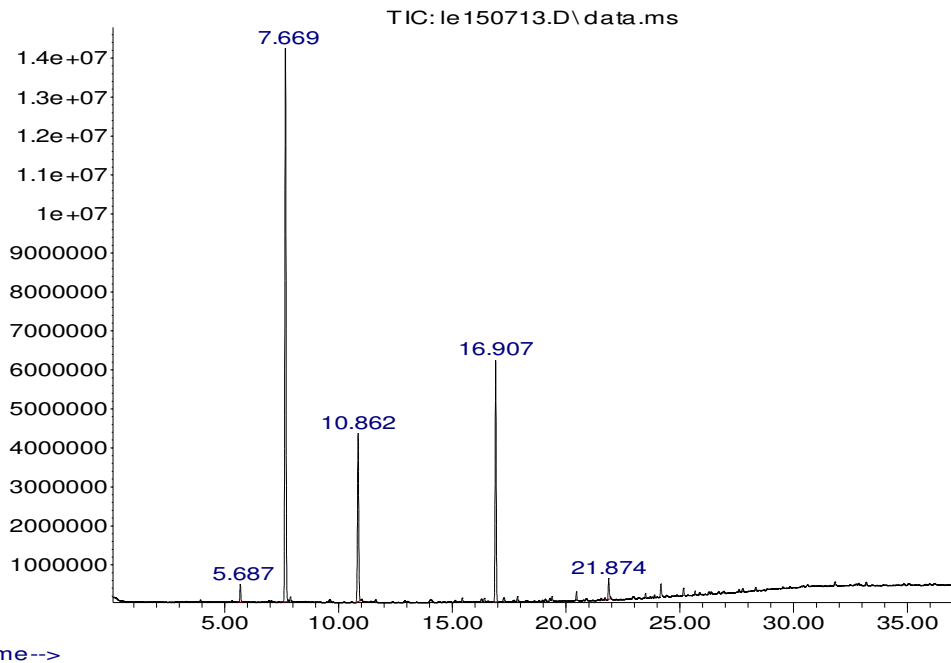
Figur 46. Kock på torrlastfartyg

Figur 46 visar ett exempel från en kock som arbetar på ett mindre lastfartyg där förutsättningarna ser annorlunda ut än på ett passagerarfartyg där mat förbereds och serveras till tusentals gäster. I det här provet ses en blandning av bränsleavgaser, köksrengöringsmedel (limonen) och vanliga förekommande ämnen i inomhusluft, samt organiska syror hexansyra och oktansyra som är markörer för stekning av kött.

Även om uppmätta halter av luftföroreningar ligger långt under gränsvärdena för intendenturpersonalen är det ändå viktigt att vid utformning av fartygens kök att säkerställa en god allmänventilation i hela utrymmet, kompletterat med särskilda utsug vid stekbord och liknande för att fånga upp luftföroreningar nära källan. Som med andra utrymmen är det också viktigt att ha bra rutiner för rengöring och service av arbetsutrustning och ventilationsanläggningar. Arbetet behöver också organiseras för att minska exponeringen för den enskilde individen genom arbetsrotation, arbetsväxling och möjligheter till paus i utrymme med lägre exponering.

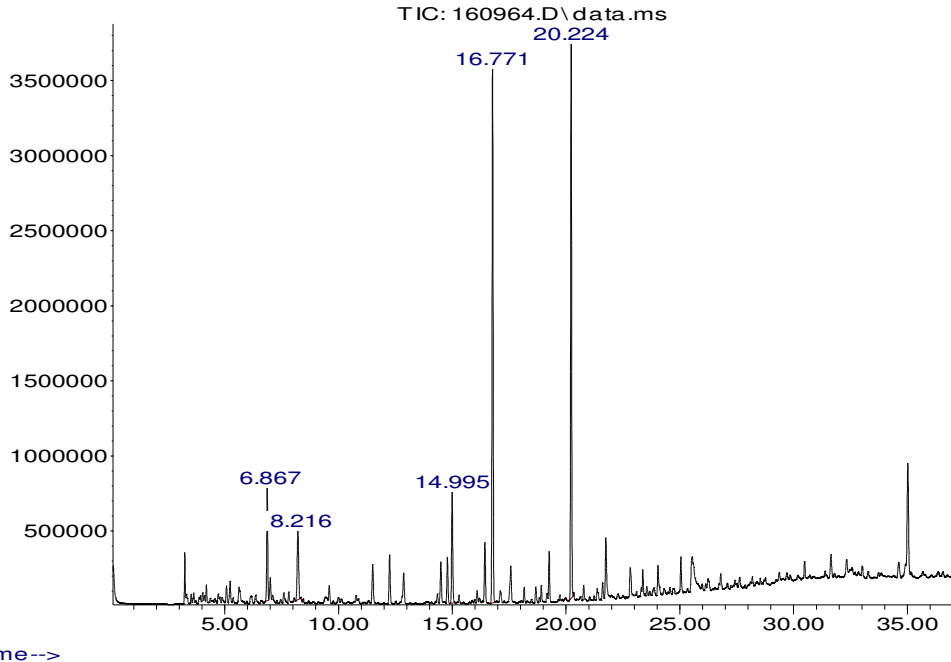
På lastfartyg har kocken små möjligheter att rotera med någon annan person ombord men får istället en naturlig arbetsväxling eftersom denne gör alla i köket förekommande arbetsuppgifter själv. Det är också färre portioner som tillagas än på ett passagerarfartyg. På lastfartyg är kockarna mera utsatta för bränslen och deras exponering präglas av personliga vanor såsom användning av parfym/rakvatten eller tuggande av tuggummi.

Abundance



Figur 47. Exempel på hyttvärd på kryssningsfartyg

Abundance



Figur 48. Exempel från mässman på isbrytare

Figur 47 visar ett exempel på en hyttvärd på kryssningsfartyg. Kromatogrammet visar typiska ämnen som finns i produkter för desinficering och rengöring (isopropanol, propanol, limonen), samt aceton och isopren från utandningsluft. Figur 48 är mässman på isbrytare som även här visar kemiska ämnen relaterade till städkemikalier (limonen, 1-butoxy-2-propanol) samt till lösningsmedel och thinners.

Slutsatser

Syftet med projektet som presenteras i denna rapport var att kartlägga den personliga exponeringen för toxiska luftföroreningarna bensen, kvävedioxid (NO₂) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) som alla kan spåras till fartygs-bränslet och bränsleavgaser. Den uppmätta exponeringen har jämförts med svenska och internationella lagkrav och riktlinjer för inomhusmiljöer. I tillägg till den faktiska exponeringen har vi också undersökt hur besättningen själva upplever sin luftkvalitet ombord.

Exponeringen har mätts med passiva diffusionsprovtagare som burits i andningszonen av personer som arbetar ombord. Totalt har vi resultat från 123 personer på 11 olika fartyg med olika typ av framdrivningsmaskineri och som går på olika bränslen. En enkät med frågor om upplevd luftkvalitet på arbetsplatsen och i hytten har delats ut till alla personer i besättningen på de besökta fartygen. Enkäten har besvarats av totalt 308 personer vilket motsvarar en svarsfrekvens på 78 %.

Resultaten visar att samtliga uppmätta personliga exponeringar har halter med god marginal låg under Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden. En del personer har haft halter som ligger i nivå med och i vissa fall något över Världshälsoorganisationens hälsobaserade rekommenderade riktvärden för inomhusmiljöer. Ofta har dock detta berott exempelvis på arbete i maskinrum eller särskilda arbetsuppgifter där man exponeras för luftföroreningar. Riktvärdena är dock satta för inomhusmiljöer utan industriell verksamhet med tanke på att barn, sjuka och äldre kan vistas i lokalerna. Även om fartyget utgör en boendemiljö för de som arbetar ombord så kan besättningen förväntas utgöras av friska personer i arbetsför ålder. Däremot pekar resultatet av denna jämförelse med hälsobaserade riktlinjer på vikten att arbeta systematiskt med att minimera exponeringen för luftföroreningar så långt som det är praktiskt möjligt. Världshälsoorganisationen menar att det inte finns säkra halter av bensen och benso(a)pyren). Arbetsuppgifter som innebär en förhöjd högre exponering behöver riskbedömas särskilt, till exempel sådana som innebär kontakt med bränslen, smörjolja, hydraulolja eller andra kemikalier, eller exponering för fordonsavgaser eller stekos.

En jämförelse av hela besättningens exponering på de olika fartygen visade att det fanns skillnader både mellan fartyg och inom fartyg. Här har multivariata analyser av resultaten gett en sammansatt bild av exponeringen och bekräftar individuella ämnen. Fartygets funktion och bränsle är indikativa determinanter för exponeringens storlek. Fartyg som fraktar marint bränsle och de som drivs på tjockolja uppvisar högre exponeringar än fartyg med servisuppgifter så som passagerarfartyg eller övervakningsfartyg.

Vid en jämförelse mellan befattning och avdelning ser vi att maskinmanskap generellt har högst uppmätta halter, följt av personal inom däckavdelningen och intendenturen som har lägst halter. Det finns dock några kockar med något förhöjd exponering för bensen. Vid en jämförelse av resultaten för befäl och manskap på alla fartyg ser vi ingen skillnad i exponering.

Resultaten av enkätundersökningen visar att de som besvarat frågorna i stort upplever luftkvaliteten som acceptabel. När vi bryter ner resultaten per avdelning ser vi att driftpersonalen, däck- och maskinavdelningarna, är mer nöjda med sin luftkvalitet än intendenturen. Skillnaden mellan avdelningarna syns också när det gäller luktsintensitet där däck- och maskinavdelningarna upplever liten till måttlig lukt på sin arbetsplats och i sin hytt och intendenturpersonalen upplever en starkare lukt på sin arbetsplats, från måttlig till stark lukt.

Exponeringen för mer än ett ämne med liknande effekter innebär en så kallad additiv, hygienisk effekt. Det är svårt att bedöma samverkande effekter av flera ämnen. Ett kumulativt riskindex har

därför tagits fram utifrån summan av kvoterna mellan uppmätt halt för ämnena NO₂, bensen, benso(a)pyren och naftalen och dess respektive hälsobaserade riktvärde framtaget av Världshälsoorganisationen. Det visar sig att hälften av personerna i vår undersökning har ett riskindex som ligger högre än normalbefolkningen i Sverige. Det bör dock noteras att normalbefolkningens riskindex speglar exponering i inomhusmiljö i bostäder och våra mätningar inkluderar exponering i arbetsmiljöer. En fjärdedel ligger under, den sista fjärdedelen ligger i nivå med normalbefolkningens exponering för samma ämnen i Sverige.

Åtgärder för att minska exponeringen kan vara både tekniska och organisatoriska. Det är viktigt att säkerställa en god allmänventilation för såväl arbetsplatser som hytter. Vissa utrymmen kan behöva kompletteras med särskilda utsug eller bättre utsug, såsom arbetsplatser för svetsning och maskinbearbetning, rengöring av motordelar, blandning av färg, över stekbord i köket och liknande, för att fånga upp luftföroreningar nära källan. Det är också viktigt att ha bra rutiner för rengöring och underhåll av arbetsutrustning och ventilationsanläggningar. Organisatoriska åtgärder kan vara att planera och fördela arbetet för att minska exponeringen för den enskilde individen genom arbetsrotation, arbetsväxling och möjligheter till paus i utrymme med lägre exponering.

De skillnader i upplevelsen av luftens kvalitet som ses mellan avdelningarna kan dels förklaras av olika typer av arbetsuppgifter och exponeringar som personalen inom de respektive avdelningarna har men upplevelsen styrs också av psykosociala arbetsmiljöfaktorer som hög arbetsbelastning, höga krav i arbetet och liten möjlighet att själv kunna påverka sin arbetssituation, samt lågt socialt stöd och låg arbetstillfredsställelsesannolikhet finns det flera bottnar bakom detta resultat. Här kan helt andra typer av arbetsmiljöåtgärder behöva diskuteras för att öka upplevelsen av inflytande, delaktighet och stöd i arbetet.

Referenser

- AFS (2011:19). *Kemiska arbetsmiljörisker*. Stockholm: Arbetsmiljöverket.
- AFS (2018:01). *Hygieniska gränsvärden* Stockholm: Arbetsmiljöverket.
- Bohlin, P., Jones, K. C., Levin, J.-O., Lindahl, R., & Strandberg, B. (2010). Field evaluation of a passive personal air sampler for screening of PAH exposure in workplaces. *Journal of Environmental Monitoring*, 12(7), 1437–1444.
- Brauer, C., & Mikkelsen, S. (2010). The influence of individual and contextual psychosocial work factors on the perception of the indoor environment at work: a multilevel analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 83(6), 639–651.
- Buckpitt, A., Kephelopoulos, S., Koistinen, K., Kotzias, D., Morawska, L., & Sagunski, H. (2010). Naphthalene WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization.
- Choi, H., Harrison, R., Komulainen, H., & Saborit, J. M. D. (2010). Polycyclic aromatic hydrocarbons WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants. Geneva: World Health Organization.
- Ferm, M. (2001). *The theories behind diffusive sampling*. Paper presented at the Proceedings from the International Conference on Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling, Montpellier, France.
- Ferm, M., & Rodhe, H. (1997). Measurements of air concentrations of SO₂, NO₂ and NH₃ at rural and remote sites in Asia. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 27(1), 17–29.
- Forsell, K., Hagberg, S., & Nilsson, R. (2007). Lung cancer and mesothelioma among engine room crew - case reports with risk assessment of previous and ongoing exposure to carcinogens. *International Maritime Health*, 58, 1–4.
- Frontczak, M., & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*, 46(4), 922–937. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>
- Hagenbjörk-Gustafsson, A., Tornevi, A., Andersson, E. M., Johannesson, S., Bellander, T., Merritt, A.-S., . . . Sallsten, G. (2014). Determinants of personal exposure to some carcinogenic substances and nitrogen dioxide among the general population in five Swedish cities. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 24(4), 437.
- Huang, Z., Chen, K., Lai, G., Zeng, L., Yin, X., Wu, B., . . . Li, X. (2016). Epidemiological study on the health effects and biomarkers discovery in workers exposed to occupational low concentration of benzene. *Toxicology Letters*, 258, S88-S89. doi:<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.06.1393>
- Hult, C. (2010). *Sjömän och sjömansyrke 2010. En studie i attityder till arbete och yrke under olika skeden i sjömanslivet* (Nr 1/2012). Kalmar: Linnéuniversitetet
- Hult, C., Österman, C., Praetorius, G., & Lindblad, M. (2017). *Intendenturpersonalens arbetsmiljö: arbetsmiljö, arbetsupplevelser, motivation och sjukskrivningar på passagerarfartyg*. Kalmar: Linnéuniversitetet.
- IARC. (2012). *IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic* (Vol. 213). Lyon: International Agency for Research on Cancer.
- ICS. (2006). *International safety guide for oil tankers and terminals: ISGOTT*. London: Witherby's.

- IMO. (2010). *ISM Code: International safety management code and guidelines on implementation of the ISM code*. London: International Maritime Organization.
- IMO. (2018). Introduction to IMO. Hämtad från <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>
- Jo, W.-K., & Song, K.-B. (2001). Exposure to volatile organic compounds for individuals with occupations associated with potential exposure to motor vehicle exhaust and/or gasoline vapor emissions. *Science of the total Environment*, 269(1), 25–37.
- Järholm, B., & Reuterwall, C. (2012). A comparison of occupational and non-occupational exposure to diesel exhausts and its consequences for studying health effects. *Occupational and Environmental Medicine*, 50, 851–852.
- Kaerlev, L., Hansen, J., Hansen, H., & Nielsen, P. (2005). Cancer incidence among Danish seafarers: a population-based cohort study. *Occupational and Environmental Medicine*, 62(11), 761–765.
- Kim, J., de Dear, R., Cândido, C., Zhang, H., & Arens, E. (2013). Gender differences in office occupant perception of indoor environmental quality (IEQ). *Building and Environment*, 70 (Supplement C), 245–256. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.022>
- Kirkeleit, J., Riise, T., Bråtveit, M., & Moen, B. (2006). Benzene exposure on a crude oil production vessel. *Annals of Occupational Hygiene*, 50(2), 123–129.
- Lahtinen, M., Sundman-Digert, C., & Reijula, K. (2004). Psychosocial work environment and indoor air problems: a questionnaire as a means of problem diagnosis. *Occupational and Environmental Medicine*, 61(2), 143.
- Langer, S., Moldanova, J., & Österman, C. (2015). *God innemiljö på svenska fartyg. IVL-rapport B 2242*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.
- Lewné, M., Johannesson, S., Strandberg, B., & Bigert, C. (2017). Exposure to Particles, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Nitrogen Dioxide in Swedish Restaurant Kitchen Workers. *Annals of work exposures and health*, 61(2), 152–163.
- Miller, J. C., & Miller, J. N. (1993). *Statistics for analytical chemistry* (Third ed.). Great Britain: Ellis Horwood PTR Prentice Hall.
- Moen, B. E., Hollund, B. E., Berntsen, M., Flo, R., Kyvik, K. R., & Riise, T. (1995). Exposure of the deck crew to carcinogenic agents on oil product tankers. *Annals of Occupational Hygiene*, 39(3), 347–361.
- Pearson, K. (1901). LIII. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 559–572.
- Phillips, D. H. (1983). Fifty years of benzo(a)pyrene. *Nature*, 303, 468. doi:10.1038/303468a0
- Pope, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J. (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71–77.
- Pott, P. (1776). Chirurgical observations relative to the cataract, the polypus of the nose, the cancer of the scrotum, the different kinds of ruptures, and the mortification of the toes and feet. *The Weekly entertainer and west of England miscellany*, 5(129), 622–625.
- Preuss, R., Angerer, J., & Drexler, H. (2003). Naphthalene—an environmental and occupational toxicant. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 76(8), 556–576.

- Ragas, A. M., Oldenkamp, R., Preeker, N., Wernicke, J., & Schlink, U. (2011). Cumulative risk assessment of chemical exposures in urban environments. *Environment international*, 37(5), 872–881.
- Saarni, H., Pentti, J., & Pukkala, E. (2002). Cancer at sea: a case-control study among male Finnish seafarers. *Occupational and Environmental Medicine*, 59(9), 613–619.
- SFS 1977:1166. Arbetsmiljölagen.
- Silverman, D. T., Samanic, C. M., Lubin, J. H., Blair, A. E., Stewart, P. A., Vermeulen, R., . . . Attfield, M. D. (2012). The Diesel Exhaust in Miners Study: A Nested Case–Control Study of Lung Cancer and Diesel Exhaust. *Journal of the National Cancer Institute*. doi:10.1093/jnci/djs034
- Staxler, L., Järup, L., & Bellander, T. (2001). Hälsoeffekter av luftföroreningar. En kunskapssammanställning inriktad på vägtrafiken i tätorter. Rapport från Miljömedicinska enheten 2001:2. Stockholm.
- Strandberg, B., Julander, A., Sjöström, M., Lewné, M., Koca Akdeva, H., & Bigert, C. (2018). Evaluation of polyurethane foam passive air sampler (PUF) as a tool for occupational PAH measurements. *Chemosphere*, 190, 35–42. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.09.106>
- TSFS. (2009:119). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2009:119) om arbetsmiljö på fartyg*. Norrköping: Transportstyrelsen.
- UBA. (2018). German Committee on Indoor Guide Values Hämtad 28 juni 2018 från <https://www.umweltbundesamt.de/en/topics/health/commissions-working-groups/german-committee-on-indoor-guide-values#textpart-1>
- USEPA. (1986). *Guidelines for health risk assessment of chemical mixtures*. Fed Regist 51(185), 34014–25
- Wargocki, P. (2004). Sensory pollution sources in buildings. *Indoor Air*, 14(s7), 82–91.
- WHO. (2005). *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide*. Global Update 2005. Summary of risk assessment: World Health Organization.
- WHO. (2010). *World Health Organization. Selected pollutants. WHO indoor air quality guidelines*: WHO Regional Office for Europe.
- Wise, S. A., Sander, L. C., & Schantz, M. M. (2015). Analytical Methods for Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) — A Historical Perspective on the 16 U.S. EPA Priority Pollutant PAHs. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35(2-4), 187-247. doi:10.1080/10406638.2014.970291
- Yazar, M., Bellander, T., & Merritt, A.-S. (2011). Personal exposure to carcinogenic and toxic air pollutants in Stockholm, Sweden: A comparison over time. *Atmospheric Environment*, 45, 2999–3004.
- Åkerström, M., Johannesson, S., Bergemalm-Rynell, K., Strandberg, B., & Sällsten, G. (2009). *Allmänbefolkningens exponering för bensen, toluen, xylener och naftalen i Göteborg 2006*. Göteborg: Västra Götalandsregionens Miljömedicinska Centrum. Arbets- och miljömedicin.

Bilagor

Bilaga 1 Multivariat analys

Med många variabler i ett dataset är det svårt att bilda sig en uppfattning om hur data hänger samman utifrån analys och visualisering av enskilda variabler. Här kommer den multivariata analysen, MVA, till hjälp. En enkel variant av MVA är Principalkomponentanalys, PCA. Det är en geometrisk projektionsmetod som fångar den dominanta strukturen i data.

Metoden kan spåras till statistikern K Pearsons artikel "On lines and planes of closest fit to systems of points in space" från 1901. Med n observationer och k variabler kan ett dataset representeras exakt som n punkter i en k -dimensionell variabelrymd. Vi kan enkelt föreställa oss punkter i en 3-dimensionell rymd, men matematiskt kan rymden ha godtyckligt antal dimensioner.

I denna punktsvärm kan vi nu lägga in en linje som i minsta-kvadratmetodens mening passar bäst till svärmen. Längs denna linje kommer punktsvärmen ha sin största spridning. Linjen med dess centrum och riktning definierar den första principalkomponenten. Projicerar vi ner punkterna på linjen erhåller vi den bästa 1-dimensionella representationen av hur punkterna förhåller sig till varandra i k -rymden. Varje punkts läge på linjen kallas dess "score". Riktningkoefficienterna, cosinus för linjens riktning i förhållande till respektive variabelaxel (k stycken), kallas "loadings".

Givet denna första linje kan vi finna den riktning, vinkelrätt mot linjen, längs vilken punktsvärmen har störst återstående variation. Detta är den andra principalkomponenten. Med 2 komponenter har vi definierat ett 2-dimensionellt plan. Detta plan utgör det plan som fångar så mycket som möjligt av svärmens utbredning i k -rymden. Projicerar vi ner punkterna på planet erhåller vi den bästa 2-dimensionella representationen av hur punkterna förhåller sig till varandra i k -rymden, det plan i vilket punktsvärmen har sin största utbredning.

Bilder av punkterna i modellplanet kallas ofta "score"-bilder. Jämför med hur du ritar en banan på ett papper, du gör en 2-dimensionell representation av den 3-dimensionella bananen = en 2-dimensionell principalkomponentmodell av bananen. I en scorebild ser man, approximativt, hur observationerna ligger i förhållande varandra. Avvikare och grupperingar framträder ofta. Observationer nära varandra är ofta mest korrelerade.

Även variablerna har en motsvarande bildrepresentation vilken kallas "loading"-bilder. Här ser man hur variablerna förhåller sig till varandra. Korrelerade variabler ligger nära varandra, eller diametralt motsatta (negativ korrelation). Grupperingar framträder ofta. Ju längre från origo en variabel ligger, desto mer deltar den i modellen.

Score- och loadingbilder tolkar man ofta tillsammans. Observationer som ligger långt ut i någon riktning i en scorebild har höga värden för variabler som ligger långt ut i samma riktning eller låga värden för de som ligger motsatt i motsvarande loadingbild.

Antalet principalkomponenter anges ofta med a . Med en principalkomponentmodell har vi erhåller vi den a -dimensionella representationen av data som bäst passar till data. Hur bra punktsvärmen passar till principalkomponentmodellen/bilden kan anges som R^2 , hur stor del av hur stor del av kvadratsumman av punkternas avstånd från svärmens centrum som finns i det a -dimensionella planet.



Eftersom PCA bygger på anpassning i minsta-kvadratmetodens mening bör de ingående variablerna vara hyfsat normalfördelade. I det här projektet visade det sig att variablerna är skevfördelade, med svans åt höger. Så är ofta fallet vid just föroreningar. Därför är de ingående variablerna PCAn log-transformerade, vilket reducerar skevheten i fördelningarna.

