Innemiljö ombord en isbrytare

Upplevd luftkvalitet och personlig exponering för luftföroreningar

Indoor environment onboard an icebreaker

Perceived air quality and personal exposure to air pollutants

Författare: Björn Hjelmér
Handledare: Cecilia Österman, Sarka Langer
Examinator: Karin Lundberg
Termin: HT16
Ämne: Sjöfartsvetenskap
Nivå: 7,5 hp
*Kurskod:*SJKSY

Abstrakt

Att arbeta till sjöss innebär många olika arbetsuppgifter och utmaningar men få tänker på hur innemiljön påverkar besättningens hälsa. I och med de nya kraven i SECA området (svavelkontrollområde för Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen med utsläppskrav på max 0,10 viktprocent svavel i bränslet) där fartyg alltså krävs att köra på lågsvavligt bränsle, kan detta medföra en positiv förändring i fartygs innemiljö. Besättningens exponering för halter av luftföroreningar i innemiljön har studerats ombord isbrytaren Oden. Undersökningar genomfördes en gång under fartygets drift på tjockolja (HFO) och en gång med marin dieselolja (MDO) som bränsle. Halter av kvävedioxid (NO_2), flyktiga organiska ämnen (VOC), inklusive bensen, och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) mättes med personburna och stationära diffusiva provtagare. Besättningens upplevelse av luftkvalitet studerades med en enkätundersökning med avseende på den generella acceptansen av luftkvalitet, lukt, luftens karaktär såsom fräsch, torr, ren eller möglig, samt termisk komfort.

Den generella acceptansen av luftkvalitet var mycket hög; 0,8 på arbetsplatser och 0,9 i hytter, på en skala mellan -1 och 1. Medianhalterna av de kemiska luftföroreningarna från mätningar av den personliga exponeringen låg mycket under Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden och även under rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet inomhus. Bränslebytet gav en minskning av den personliga exponeringen för kvävedioxid och bensen som är statistiskt signifikant. Resultaten visar även på att besättningen ombord på fartyget är nöjda med sin innemiljö och att en viss minskning av ämnen finns efter bränslekonverteringen.

Nyckelord: Innemiljö, miljö, exponering, luft, kvalitet, bränsle, konvertering.

Abstract

The crew's working as a mariner means many different tasks and challenges but few think about the effects of the indoor environment on the human health. Now when the new SECA regulations are in force vessels has been forced to convert to new low- sulphur fuel and this can lead to a positive change in the vessels indoor environment. Exposure and levels of air pollutants in indoor environment have been studied onboard the icebreaker Oden. Investigations were performed once during the vessel's operation on heavy fuel oil (HFO) and once with marine diesel (MD) as fuel. Concentration of nitrogen dioxide (NO_2), volatile organic compounds (VOCs), including benzene, and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) were measured with personal and stationary diffusive samplers. The crew's perception of air quality was studied by a questionnaire survey with regard to the general acceptability of air quality, odor, and air characteristics such as fresh, clean, dry or moldy, and thermal comfort.

The general acceptance of the air quality was very high; 0.8 and 0.9 in the workplaces and in cabins, respectively, on a scale from -1 to 1. The decrease in personal exposure to nitrogen dioxide and benzene was statistically significant. Difference between the concentrations of volatile organic compounds was not statistically significant. The indoor air quality has improved in several aspects after the fuel conversion. The results from the questionnaires show that the crew was overall satisfied with their indoor environment. The results of the measurements show a decrease of substances after the conversion.

Key words: Indoor environment, exposure, air, quality, fuel, conversion.

Förord

Resultat som presenteras i detta arbete har tagits fram inom projektet ”Riskbedömning av svenska sjömäns yrkesmässiga exponering för toxiska luftföroreningar”. Projektets syfte är att undersöka både fartygspersonalens exponering för kemiska ämnen och upplevelsen av luftkvalitet ombord. I studien ingår 10 fartyg med olika funktioner, bränslen och laster. I detta arbete visas resultat för ett av fartygen – Isbrytaren Oden.

Detta projekt drivs av IVL Svenska Miljöinstitutet men det hade inte varit möjligt att genomföra det utan stöd av och i gott samarbete med rederier, fartygsägare, befälhavare och besättningar som gav oss tillgång till fartyget och har bistått vid både mätningarna och vistelsen ombord. Jag vill skicka tusen tack och varma hälsningar till all ombordpersonal.

Projektet har fått stöd från Stiftelsen Sveriges Sjömanshus. IVL’s forskare och jag vill tacka Stiftelsen inte bara för det ekonomiska stödet utan också för dess förståelse för detta viktiga forskningsområde och dess engagemang för den svenska sjöpersonalens arbetsmiljö.

Innehåll

1. Inledning 6
2. Syfte 7
3. Hälsoskadliga ämnen och hälsoeffekter 8
3.1 Källor till hälsoskadliga ämnen i luften ombord på fartygen 8
3.2 Hälsoeffekter av skadliga ämnen 8
3.3 Lagar, förordningar och riktvärden 9
3.4 Arbetsbeskrivningar ombord 14
4. Metod 11
4.1 Individuella enkäter om upplevd innemiljö 12
4.2 Mätningar av luftföroreningar 13
5. Resultat 17
5.1 Resultat av enkätundersökningen av upplevd innemiljö 17
5.1.1 Acceptans av luftkvalitet 17
5.1.2 Upplevd lukt 19
5.1.3 Bedömning av luftens kvalitet i icke-tekniska termer 20
5.1.4 Termisk komfort 22
5.1.5 Statistisk analys 24
5.3 Personlig exponering 25
5.3.1 Kvävedioxid 26
5.3.2 Totalhalt av flyktiga organiska ämnen (TVOC) 26
5.3.3 Bensen 27
5.3.4 PAH, naftalen och benso(a)pyren 28
6. Diskussion av resultat och metoddiskussion 31
5.3.5 Allmän bedömning av luften ombord 33
5.3.6 Termisk komfort 33
7. Slutsatser 34
Referenser 36
Bilagor i

1. Inledning

En god innemiljö ombord på fartyg är av yttersta betydelse för besättningens hälsa och välbefinnande. Att arbeta till sjöss innebär längre tjänsteperioder på fartygen där besättningen tillbringar både arbetstid och fritid ombord med små möjligheter att byta miljö. Ombord på fartygen exponeras besättningen både direkt och indirekt av otaliga ämnen som finns i kemikalier, bränslen och avgaser som kan påverka kroppen. Förutom att innemiljön påverkar besättningens hälsa, både på kort sikt och på lång sikt och kan ge framtida allvarliga hälsokonsekvenser, så är innemiljön också viktig för det allmänna välbefinnandet, som i sin tur påverkar arbetsprestationer och koncentrationsförmåga. En bra innemiljö är både i besättningens intresse, likväl som i arbetsgivarens intresse.

Hur innemiljön ser ut ombord på fartygen beror till stor del på fartygets bränsle och ventilationssystem. En god innemiljö omfattar flera olika faktorer så som temperatur, luftfuktighet, luftkvalitet, ljus- och ljudförhållanden, lukt och renlighet. Många faktorer går att mäta och sätta siffror på medan andra är subjektiva och kan upplevas olika av människor beroende på hur pass bra de trivs ombord på fartygen och dess allmäntillstånd och detta behandlar rapporten med hjälp av enkäter och personliga provtagare.

Transportstyrelsen har ratificerat Arbetsmiljöverkets föreskrifter om hygieniska gränsvärden för arbetsplatser (AFS 2011:18, 2011). Arbetsmiljöverkets regler är framtagna för arbetstagare som jobbar iland och kommer hem när arbetsdag är slut och tar inte hänsyn till att personalen vistas ombord på dess arbetsplats dygnet runt. Detta kan medföra att personalen exponeras betydligt längre av eventuellt farliga ämnen. Exempel på farliga ämnen som kan finnas ombord på fartyg och som Arbetsmiljöverket har satt gränsvärden på är ozon (O_3), kvävedioxid (NO_2), svaveldioxid (SO_2), kolmonoxid (CO), vissa flyktiga organiska ämnen (VOC), formaldehyd, naftalen och benso(a)pyren, samt partiklar (damm). Samtliga av dessa ämnen kan ha negativa effekter på människokroppen.

I och med de nya SECA kraven med en väsentligt lägre svavelhalt i bränslet, så bör det ha en positiv bieffekt för innemiljön ombord. Denna rapport beskriver skillnaderna i halter av luftföroreningar ombord på ett fartyg som nyligen konverterade bränsle och är en del av ett större projekt där IVL Svenska Miljöinstitutets (IVL) deltagande finansierades inom två projekt: God innemiljö på svenska fartyg (AFA Försäkring) och Riskbedömning av svenska sjömäns yrkesmässiga exponering för toxiska luftföroreningar (Stiftelsen Sveriges Sjömanshus).

2. Syfte

Syftet med projektet som beskrivs i denna rapport är att undersöka hur luftkvaliteten ombord uppfattas av besättningen, hur besättningens exponering för luftföroreningar förändrar sig med skifte till ett annat bränsle och hur halter av luftföroreningar ändrar sig med det nya bränslet. Syftet ska uppfyllas genom följande delmoment:

- kartläggning av den upplevda luftkvaliteten på arbetsplatsen och i hytten för alla besättningsmedlemmar
- utvärdering av skillnader i luftkvalitetens upplevelse mellan avdelningar och befattningar
- utvärdering av skillnader i personlig exponering för luftföroreningar före och efter skiftet till nytt bränsle
- utvärdering av skillnader i halter av luftföroreningar ombord före och efter skiftet till nytt bränsle

3. Hälsoskadliga ämnen och hälsoeffekter

3.1 Källor till hälsoskadliga ämnen i luften ombord på fartygen

Luftföroreningar har olika ursprung, vanligtvis pratar man om luftföroreningar som har sitt ursprung utomhus och/eller inomhus.

Föroreningar i innemiljön

De vanligaste källorna till föroreningar inomhus i t.ex. bostäder och kontor kan vara färg, lim, möbler, byggnadsmaterial och inredning, rengöringsprodukter samt produkter för personlig hygien såsom deodoranter, schampon och kosmetika och människor själva.
Flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) och formaldehyd är de vanligaste föroreningarna som finns i vår innemiljö. Formaldehyd är ett irriterande och cancerogent ämne som är listat av IARC (International Agency for Research on Cancer) som känt cancerogent ämne. Formaldehyd används i många typer av lim som återfinns i spånskivor, möbler och liknande produkter. Ett annat VOC är bensen som ingår i kolvätesammansättningen av bränsle. På ett fartyg är den största källan till VOC fartygets bränsle, både genom ren avdunstning och som komponent i avgaser.

Föroreningar i utomhusmiljön

Den stora källan till luftföroreningar i vår utomhusmiljö är förbränning av fossila bränslen. Vid förbränning av fossila bränslen, t.ex. tjockolja och diesel sker flera kemiska reaktioner som bildar avgaser som innehåller ett stort antal ämnen. Ett exempel bland dessa är kvävemonoxid (NO) som omvandlas till kvävedioxid (NO_2) i kontakt med ozon, kolmonoxid (CO) och koldioxid (CO_2). Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) finns som komponent i bränslet samt bildas vid ofullständig förbränning; de är hälsofarliga och vissa är cancerframkallande. Alla dessa ämnen går även att spåra i fartygens innemiljö då de dras in genom ventilationssystemen ombord.

3.2 Hälsoeffekter av skadliga ämnen

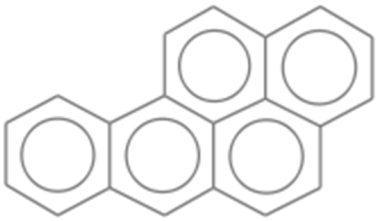
De hälsoskadliga ämnen som är relevanta för fartygsmiljö och som har gränsvärden eller riktvärden är kvävedioxid, svaveldioxid, kolmonoxid, koldioxid, vissa VOC (t.ex. bensen), benso(a)pyren och naftalen (vanligt förekommande PAH ämnen) och partiklar. Några av dessa ämnen är irriterande och inflammatoriska medan andra är cancerframkallande eller direkt toxiska.
Kvävedioxid (NO_2) har en irriterande förmåga som kan påverka luftvägarnas allmänna känslighet, ge en försämring av lungfunktionen, orsaka lunginflammation och minska immunförsvar som kan

leda till ökad benägenhet för luftvägsinflammation (WHO, 2010). Kvävedioxid påverkar även astmatiker och allergiker genom att öka känsligheten gentemot allergener (ämnen som orsakar allergi eller överkänslighet). Tester har genomförts där allergiker utsätts för en mycket liten dos av allergen efter exponering av kvävedioxid och har reagerat på detta; i normalfall skulle denna lilla dos av allergen inte påverka personerna. Utöver de uppenbara hälsoeffekterna bidrar även kvävedioxiderna till uppkomst av ozon genom reaktioner med solsken, kolväten och syre. Svaveldioxid har liknande hälsoeffekter som NO_2 (Staxler m.fl., 2001).
Koldioxid (CO_2) och kolmonoxid (CO) uppstår vid förbränning av fossila bränslen (CO vid ofullständig förbränning). Kolmonoxid är en färglös och luktfri men giftig gas som binds vid de röda blodkropparna mycket starkare än syre och förhindrar blodkropparna att ta upp syre för transport i blodet. Allt i kroppen är beroende av syre men de mest utsatta organen för syrebrist är hjärnan och hjärtat (Staxler m.fl., 2001). Förhöjda halter av koldioxid kan leda till trötthet och tappad mental koncentration men den är inte giftig.
Flyktiga organiska ämnen medför hälsoeffekter vid kraftigt förhöjda halter; den påtagliga effekten är irritation från lukt och huvudvärk. Bensen är ett av VOC som är cancerframkallande.

Ozon (O_3) i atmosfären bildas när kväveoxider och kolväten utsätts för solljus. Ozon har en negativ inverkan på människornas luftvägar så som irritation och inflammation i luftvägarna. Ozon kan även leda till andra symptom så som ögonirritation, trötthet, huvudvärk och ökad förekomst av astmasymtom (Staxler m.fl., 2001).

Polycykliska aromatiska kolväten återfinns i bland annat bränslen och bildas vid förbränning. De kan delas i lätta och tunga PAH, där naftalen är ett av de lätta PAH och består av två aromatiska ringar. Benso(a)pyren räknas in till de tyngre PAH och består av sex aromatiska ringar, de tyngre PAH betraktas mer hälsofarliga än de lätta. (Langer, Moldanová, & Österman, 2015)

Naftalen



Benso(a)pyren

3.3 Lagar, förordningar och riktvärden

Arbetsmiljöverket, Folkhälsomyndigheten och Världshälsoorganisation (WHO World Health Organisation) har satt upp gränsvärden och riktvärden för vilka halter av luftföroreningar som inte

får eller bör överskridas på en arbetsplats och i allmänna innemiljöer. I Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden talar man om nivågränsvärde (NVG) som en luftförorenings medelvärde för en hel arbetsdag och takgränsvärde (TGV) som ett kortidsmedelvärde (15 minuter) (AFS, 2011).

Tabell 1. Sammanställning av rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet i inomhus och gränsvärden för arbetsmiljö. Nästan alla värden anger medelvärden för en viss tidsperiod. Den tid som respektive värde gäller för anges i kolumnen Medelvärdesperiod.

Parameter	Riktvärde innemiljö	Gränsvärde arbetsmiljö	Medelvärdes period	Referens
CO_2 koldioxid	1 000 ppm		momentana halter	FoHMFS 2014:18 och AFS2011:18
		5 000 ppm	hel arbetsdag	AFS 2011:18
CO kolmonoxid	10 mg/m^3 = 9 ppm		8 timmar	WHO 2010
		35 ppm	hel arbetsdag	AFS 2011:18
NO kvävemonoxid	---	3 mg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
NO_2 kvävedioxid	40 µg/m^3		1 år	WHO 2010
	60 µg/m^3		24 timmar	Miljökvalitetsnorm
		4 mg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
SO_2 svaveldioxid	20 µg/m^3		24 timmar	WHO 2005
		5 mg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
O_3 Ozon	100 µg/m^3		8 timmar	WHO 2005
		200 µg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
TVOC	300 µg/m^3			UBA
Bensen	5 µg/m^3		1 år	Miljökvalitetsnorm
	2,0 µg/m^3		hela livet	Mandin m.fl. 2009
		1 500 µg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
Formaldehyd	100 µg/m^3		30 minuter	WHO 2010
		370 µg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
Naftalen	10 µg/m^3		1 år	WHO 2010
		50 mg/m^3	hel arbetsdag	AFS 2011:18
Benso(a)pyren	1,0 ng/m3		1 år	Miljökvalitetsnorm
		2 µg/m3	hel arbetsdag	AFS 2011:18

(Langer, Moldanová, & Österman, 2015)

Hygieniska gränsvärden för arbetsmiljö är lagligt bindande. Luftkvalitet i allmänna innemiljöer styrs inte genom lagkrav. Det finns s.k. rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet inomhus för ett mindre antal utvalda luftföroreningar. Boverkets byggregler (BBR, 2011) reglerar halter av

luftföroreningar i tilluften. Tabell 1 presenterar en översikt för riktvärden och hygieniska gränsvärden för ett antal luftföroreningar. Gränsvärden *får* inte överskridas. Riktvärden *bör* inte överskridas.
Tabell 1 visar gasformiga luftföroreningar som är relevanta för bedömning av luftkvalitet och för vilka det finns gränsvärden eller riktvärden. Ämnen som beaktas i detta arbete är i tjocka bokstäver.

Temperatur och relativ luftfuktighet (RF) (mängd av vattenånga i luften vid en viss temperatur i förhållande till den maximala mängden vattenånga vid samma temperatur (SMHI, 2016) är parametrar som beskriver inneklimat. Dessa parametrar är viktiga för upplevelse av komfort inomhus. Temperatur i intervallet 20 – 24 ^{o}C och RF i intervallet 30 – 70 % RF upplevs som god komfort. Förhöjd temperatur (35 – 40 ^{o}C) kan orsaka fysiologiska och fysiska symptom från obehag och koncentrationssvårigheter till risk för misstag i arbetet och risk för olyckor. Hög luftfuktighet skapar fuktproblem och risk för mögelpåväxt; låg RF är orsak för obehag i form av torra ögon, läppar, hud och slemhinnor i näsan som kan leda till näsblod (SOFS 2005:15; FoHMFS 2014:17).

4. Metod

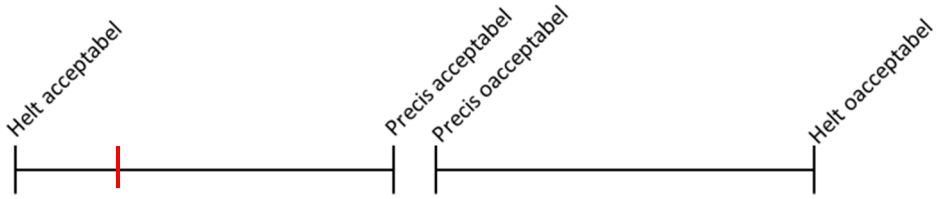
Studien består av två mätomgångar på Isbrytaren Oden. Den första genomfördes under fartygets färd från Landskrona till Svalbard, 6 – 18 augusti 2013, den andra genomfördes under en 9 dagars resa omkring Svalbard, 15 – 23 juli 2016. Studien bestod av tre delar: En enkätundersökning av upplevd luftkvalitet, en mätning av personlig exponering för utvalda luftföroreningar och en undersökning av luftkvalitet och inneklimat i olika utrymmen på fartyget (stationära mätningar). Mätningarna genomfördes under båda mätperioderna. Undersökning av den upplevda luftkvaliteten gjordes bara under resan i juli 2016 på grund av att projektets första stadie enbart var inriktat på dem stationära mätningar i fartygets innemiljö.
De tillvägagångssätt och de arbetsmetoder som jag använt mig av bestått av intervjuer, enkätundersökningar och provtagningar ombord på fartyget. Fartyget konverterade från drift på tjockolja (HFO) till drift på lågsvavlig diesel.
Under projektets gång har IVL Svenska Miljöinstitutet studerat besättningsmedlemmars personliga exponering för ett urval luftföroreningar och deras upplevelse av luftkvaliteten ombord. Luftkvaliteten ombord undersöktes genom stationära mätningar i fartygets olika utrymmen både inom ett tidigare projekt med finansiering från AFA Försäkring och inom detta projekt. Detta material har analyserats och sammanställts, dels i en IVL rapport och dels i detta

arbete. Resultat från både stationära och personliga mätningarna samt enkätsvaren bearbetas med statistiska metoder.

4.1 Individuella enkäter om upplevd innemiljö

Besättningen ombord på fartyget ombads att besvara en enkät bestående av fyra frågor (se Bilaga 1) om hur de upplever den allmänna luftkvaliteten på arbetsplatsen respektive i sin hytt.
Enkäten är utformad med en visuell analog skala (just acceptability-skalan) där personen markerar med ett sträck på en skala från positiv till negativ hur han eller hon upplever luftkvalitet.
Acceptability-skalan valdes på grund av att tidigare studier visar på att detta är ett bra sätt att få en uppfattning om luftens acceptans och hur nära han eller hon ligger på gränsen till oacceptabel eller acceptabel luft, utan att påverka personen med ett satt värde (Gunnarsen och Fanger, 1992).

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



Figur 1. Enkätfråga om acceptans av luftkvalitet.

Den andra frågan handlar om upplevelsen av lukt och den tredje om den upplevda luftkvaliteten i icke-tekniska termer sås som frisk – unken, torr – fuktig, ren – dammig, inte-möglig – möglig. Den fjärde frågan berör upplevd termisk komfort från kallt till het.
Dessa bedömningar gjordes på horisontella visuella analoga skalorna. Svaren kodades på en skala mellan 0 och 10; noll i alla svaren står för ingen lukt, luften är frisk, torr, ren, inte-möglig och det är kallt.
Resultaten åskådliggörs med så kallade boxplot-diagram som har valts för att kunna visa statistiska parametrar för enkätsvaren: median, 25:e och 75:e percentiler (mittenlinje och kanter av boxen) och 10:e och 90:e percentiler (”error bars”). Punkter är värden som ligger 10% av de lägsta och 10% av de högsta värden.

4.2 Mätningar av luftföroreningar

Med hjälp av IVL:s passiva provtagare och sensorer mättes koncentrationer av olika mätparametrar som: gasformiga luftföroreningar så som ozon, NO och NO_2 (NOx) och SO_2; flyktiga organiska ämnen som totalhalter (TVOC; Total Volatile Organic Compounds), bensen (ett specifikt ämne som i VOC bestämning), formaldehyd och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) samt temperatur och relativ luftfuktighet.

Arbetsprincipen för passiv, eller med andra ord diffusiv, provtagning är molekylär diffusion av gaser vid konstant hastighet. Gasmolekylerna diffunderar in i provtagaren där de kvantitativt uppsamlas under provtagningstiden. Resultat av mätningen är koncentrationsvärden integrerade över tiden. Detaljer om principer för diffusiv provtagning och analysmetoder kan hittas i vetenskaplig litteratur (Ferm and Rodhe, 1997; Ferm, 2001).

För provtagning av VOC användes rör innehållande Tenax adsorbentmedium (Tenaxrör, model N9307005, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). VOC analyserades med gaskromatografi/masspektrometri (GC/MS; GC 6890, MS 5973N, Agilent, USA) som summa av VOC i provet och som individuella ämnen identifierade med masspektrometer. TVOC uttrycks i toluenekvivalenter enligt internationell praxis. Detta innebär att beräkningarna har gjorts som om alla ämnen var enbart toluen. Detta görs för att man ska få en uppfattning om totalkoncentrationens storlek. Bensen har kvantifierats ämnesspecifikt för att kunna bedöma dess halt i relation till gränsvärdet. Formaldehydprov togs också passivt med DSD-DNPH Aldehyde Diffusive Sampling Device (Supelco, Bellefonte, PA, USA) och analyserades med vätskekromatografi (HPLC) med en UV detektor. PAH prov togs med en passiv specialprovtagare bestående av polyuretanskum (PUF) som är mycket lätt att hantera. PUF-provtagare extraherades i ett organiskt lösningsmedel. Prover analyserades med avseende på 32 specificerade PAH med GC/MS (Langer, Moldanová, & Österman, 2015).

Under en vecka bar 10 besättningsmedlemmar personliga provtagare för NO_2, VOC och PAH (Figur 3). Dessa provtagare bars nära andningszonen dygnet runt under en veckas tid både under arbete och fritid för att representera både arbetsmiljö och boendemiljö. Vid denna undersökning bars provtagarna av två personer i intendenturen, tre personer på däck, två personer på bryggan samt tre personer i maskin.

Figur 2. Passiva provtagare ozon, kväveoxider, svaveldioxid, formaldehyd, flyktiga organiska ämnen och PAH (till vänster) och monitor för temperatur, relativ luftfuktighet och halten av CO_2.

Figur 3. Personlig provtagning av NO_2, VOC och PAH.

Stationära mätningar genomfördes på nio platser ombord: pannrum, separatorrum, manöverrum, däckskontor, mässen, byssan, två hytter (3:e däck) och på bryggan. Ett prov som utereferens placerades på 4:e däck på fören. Dessa luftföroreningar mättes med passiva provtagare (Figur 2, den vänstra bilden). Temperatur och RF loggades med medelvärderingsinterval på 1 minut med en direktvisande sensor av typ Wöhler r CDL 210 CO2-logger (Figur 2, högra bilden). Den diffusiva provtagningen varade under en vecka på varje mätstation. Temperatur och RF (relativ luftfuktighet) mättes under 24 timmar på varje ställe.

4.3 Arbetsbeskrivningar ombord

Besättningen består av cirka 18 personer som har olika sysslor ombord allt från vakthållning i maskin och på brygga, kontorsarbeten och till underhållsarbeten. Ombord är besättning mellan tre avdelningar: däck, maskin och intendentur. Däck och maskin är i sin tur uppdelat mellan befäl och manskap.

Däck:

Däcksmanskap:

Med manskap menas Bås, matroser, lättmatroser och ljungmän. Vid gång går manskapet vakt, dessa vakter är uppdelade i fyra timmar arbete och åtta timmar ledighet. Vakterna är uppdelade mellan 12–4, 4–8 och 8–12 natt och dag. Där man i överlag kan säga att enklare och tystare jobb sker nattetid, med undantag för 4–8 vakten som ombord på detta fartyg har speciella rutiner som innefattar sophantering och rengöring i pentry under morgontimmarna. Nedan följer exempel på arbetsuppgifter.

- Metallbearbetning
- Målning
- Rengöring
- Förtöjningsarbeten
- Säkerhetsarbeten
- Vakttjänstgöring

Påverkansgrad och utsatthet, inre- och yttre miljön:

Flera av arbetsuppgifterna påverkar både den inre- och yttre miljön. Målningsarbeten med färg innehållande isocyanater och vissa VOC samt metallarbeten som utförs både inne och ute och påverkar luften genom svetsrök och andra biprodukter vid uppvärmning av färgrester och metallen i sig självt. Vid rengöringsarbeten används olika kemikalier och lösningsmedel som också påverkar luften.

Däcksbefäl:

Med däcksbefäl menas 2:e styrmän, överstyrman och Befälhavare. Vid gång går 2:e styrmän och överstyrman vakt i samma system som däcksmanskapet. Befälhavare är vaktfri och arbetar ordinarie kontorstid (08:00-17:30) men är alltid tillgänglig vid behov. Däcksbefälen har liknande arbetsuppgifter som manskapet men i ett mindre omfång då större delen av arbetstiden erläggs på bryggan. Nedan följer exempel på arbetsuppgifter.

- Vakthavande på brygga
- Säkerhetsrundor
- Inventeringar
- Enklare underhållsarbete
- Kontorsarbete

Påverkansgrad och utsatthet, inre- och yttre miljön:

Då däcksbefälen mestadels arbetar i kontorsmiljö kan de själva inte påverka innemiljön större. Dock utförs vissa sysslor som kan jämföras med manskapets underhållsarbeten.

Maskin:

Maskinmanskap:

Med manskap menas motormän, vid gång i is går samtliga i maskin likadana vakter som däckspersonalen, övrig tid gäller ordinarie arbetstid. Då arbetsplatsen ligger avskilt från boende utrymmena är det ingen skillnad på arbetsuppgifterna dagtid eller nattetid. Nedan följer exempel på arbetsuppgifter.

- Metallbearbetning

- Service av maskiner
- Underhåll av maskiner
- Målning
- Vakttjänstgöring
- Rengöring
- Reparationer

Påverkansgrad och utsatthet, inre- och yttre miljön

Denna yrkeskategori är den grupp som påverkas mest både för inre- och yttre miljön, särskilt den inre miljön eftersom de ständigt vistas i utrymmen där (farliga) kemikalier finns i luften, lösningsmedel används och där lufttemperaturen oftast är väldigt hög samt att maskinerna avger förbränningsavgaser och förångning av bränslen.

Maskinbefäl:

Med maskinbefäl menas fartygingenjörer och Teknisk chef. Arbetstiden är upplagd likadant som för däcksbefälen vid gång i is, övrig tid jobbar de under ordinarie arbetstid med jour hållning. Maskinbefälen har liknande arbetsuppgifter som manskapet men mer inriktat på övervakning och reparation. Nedan följer exempel på arbetsuppgifter.

- Vakthållning maskin
- Säkerhetsrundor
- Inventeringar
- Underhållsarbete
- Kontorsarbete
- Reparationer

Påverkansgrad och utsatthet, inre- och yttre miljön

Även denna personalkategori påverkas och utsätts på samma sätt som maskinmanskapet för både i inre- och yttre miljön eftersom de vistas och arbetar i samma lokaler.

Intendentur:

Intendenturpersonalen innefattar kock och mässman. Nedan följer exempel på arbetsuppgifter.

- Mathållning
- Proviantering
- Tvätt
- Rengöring av allmänna utrymmen

Påverkangrad och utsatthet, inre- och yttre miljön

Denna personalkategori påverkas framför allt av användandet av olika kemikalier så som tex. rengöringsmedel och diskmedel. Även tillredning av mat kan påverka innemiljön.

5. Resultat

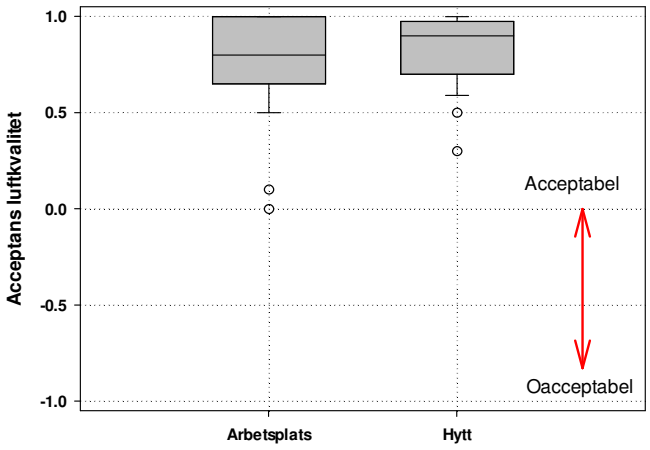
5.1 Resultat av enkätundersökningen av upplevd innemiljö

Enkäten besvarades av 30 besättningsmedlemmar ombord på fartyget. Antalet svar innebär en svarsfrekvens på 81% vilket får anses vara en god svarsfrekvens. Enkäter är en subjektiv mätmetod där den personliga uppfattningen av luften återspeglas. Tidigare mätningar som har gjorts med passiva provtagare av IVL både innan och efter konverteringen kommer att jämföras och ses som ett stöd för enkätundersökningen.

Enkätsvaren utvärderades med avseende på den upplevda luftkvaliteten på arbetsplats och i hytt för alla i besättningen; vidare har svaren bearbetats separat för maskinavdelning och däckavdelning samt enligt befattning: befäl och manskap. Intendenturpersonalen tilldelades i avdelning däck och i befattning manskap.

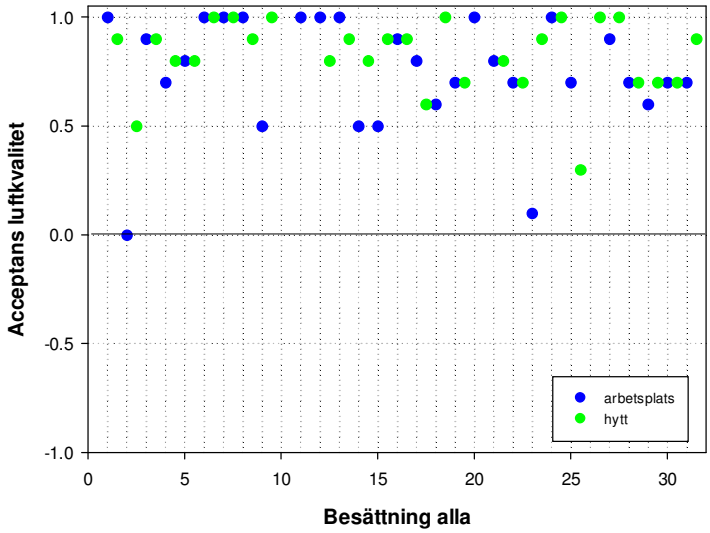
5.1.1 Acceptans av luftkvalitet

Överlag var besättningen mycket nöjd med fartygets luftkvalitet (Figur 4, 5, 6). Som framgår av Figur 4 är medianvärdet av den generella acceptansen av luften för arbetsplatsen 0,8 och i hytten 0,9 där 1,0 är det högsta värdet som indikerar den högsta acceptansen av luftkvaliteten.



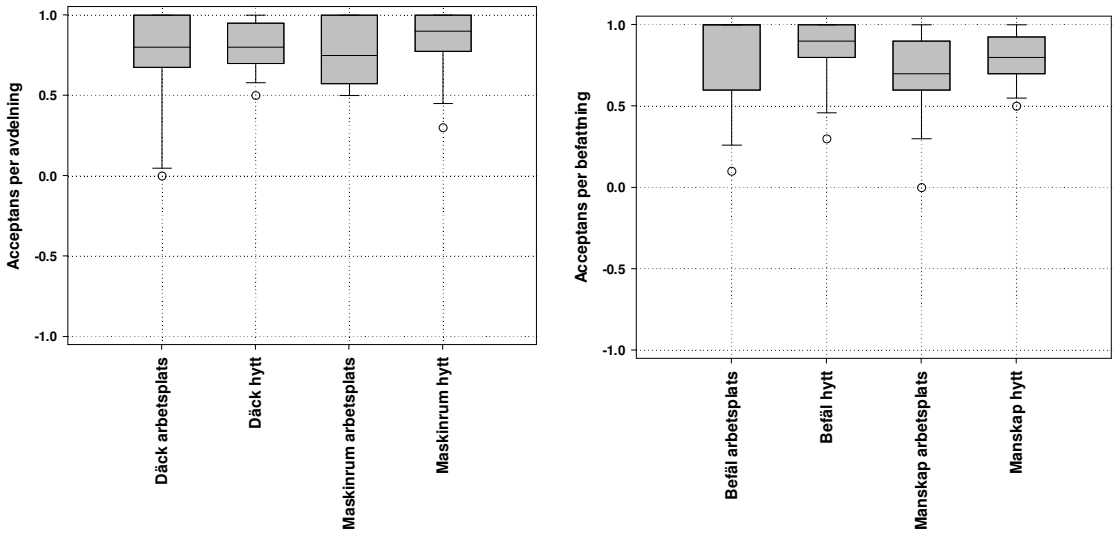
Figur 4. Upplevelse av luftkvalitet på arbetsplatser respektive i hytter för alla i besättningen.

Figur 5 visar besättningens individuella svar i grafisk form och Figur 6 presenterar enkätsvaren uppdelade på avdelning och befattning för upplevd luftkvalitet både på arbetsplatsen och i hytten.



Figur 5. Grafisk presentation av bedömningar av luftens allmänna acceptans.

Av ovanstående figurer kan man avläsa att när det gäller luftens kvalitet i hytterna så är mätvärden generellt mycket höga och även de individuella bedömningarna av besättningens uppfattning har mycket liten spridning. Bedömningen av luftkvaliteten i arbetsutrymmena har generellt lite lägre medianvärde än det för hytterna och en större individuell spridning.

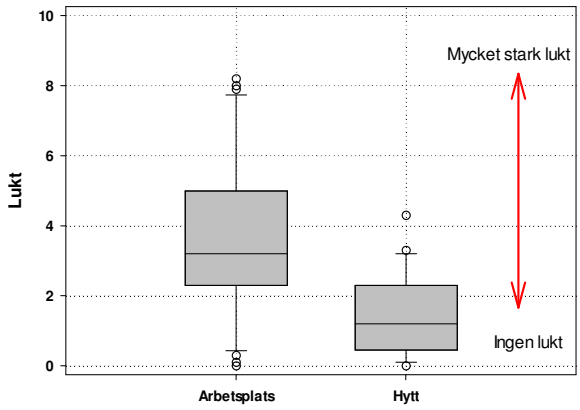


Figur 6. Upplevelse av luftkvalitet på arbetsplats respektive hytt per avdelning (höger diagram), och befattning (vänster diagram).

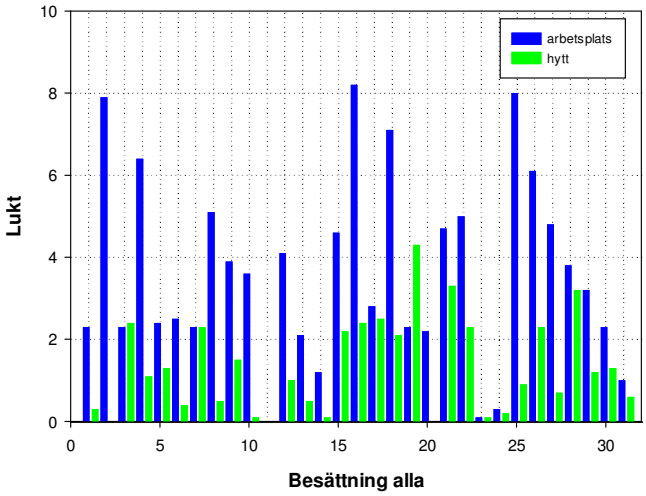
5.1.2 Upplevd lukt

I frågan om lukten på fartygets arbetsplatser och hytter var de flesta nöjda med luften i hytten där medianvärdet av svaren ligger på 1,2. På arbetsplatsen uppfattades det som att luften hade en viss lukt där medianvärdet ligger på 3,2 för samtliga avdelningar. Bedömningarna presenteras grafiskt i Figurer 7 och 8.

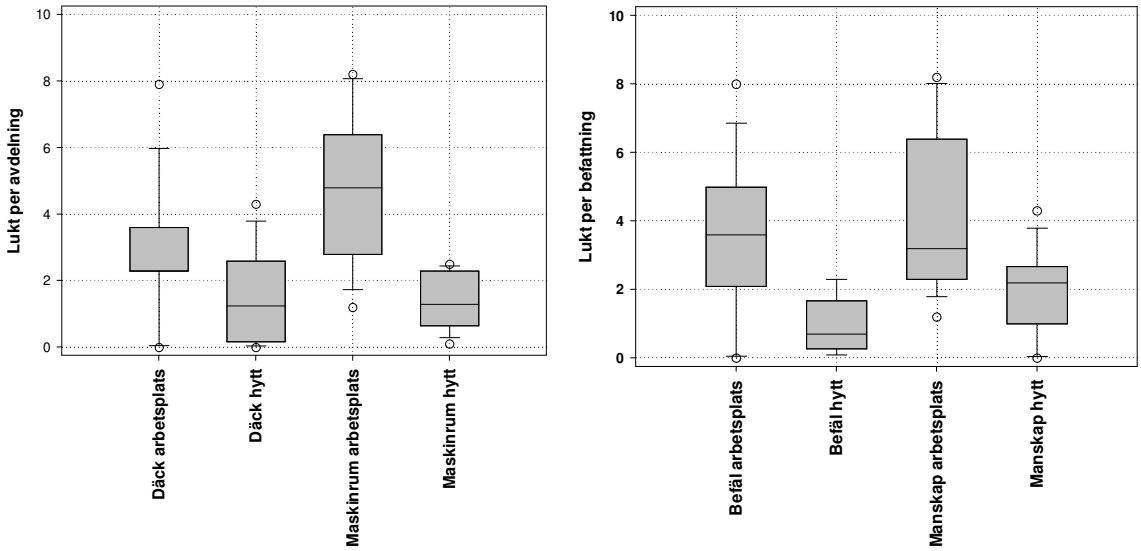
Delar man däremot upp avdelningarna så kan man klart se att maskinavdelningen upplever att deras arbetsplats luktar mer med ett medianvärde på 4,8. Detta visar tydligt att vissa utrymmen ombord på fartygen är mer utsatta för olika föroreningar som luktar. Vid en jämförelse mellan de olika befattningarna ombord framgår att manskapet upplever mer lukt på arbetsplatsen än vad befälen uppger (Figur 10).



Figur 7. Upplevelse av lukten på arbetsplatser och i hytter för hela besättningen.



Figur 8. Grafisk presentation av bedömningar av lukt.



Figur 9. Upplevelse av lukten på arbetsplatser och i hytter uppdelade på avdelning (vänster diagram) och befattning (höger diagram).

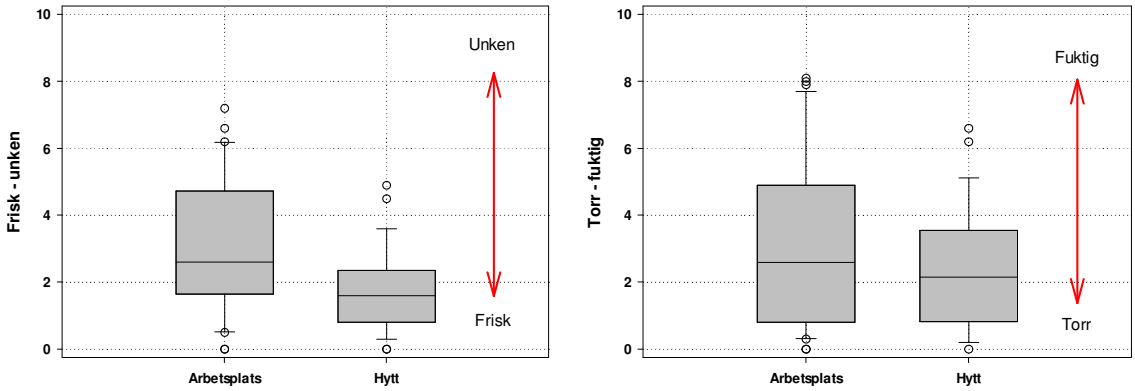
5.1.3 Bedömning av luftens kvalitet i icke-tekniska termer

Enkätens tredje fråga behandlade flera olika aspekter av luften, dessa aspekter var: om luften kändes frisk/unken, torr/fuktig, ren/dammig och inte-möglig/möglig. Då resultatet var liknande i alla befattningar och avdelningar ombord presenteras här den sammanlagda uppfattningen ombord för arbetsplats och hytt (Figurer 10 och 11). Diagram med indelningar per avdelning och per befattning finns i Bilaga 3.

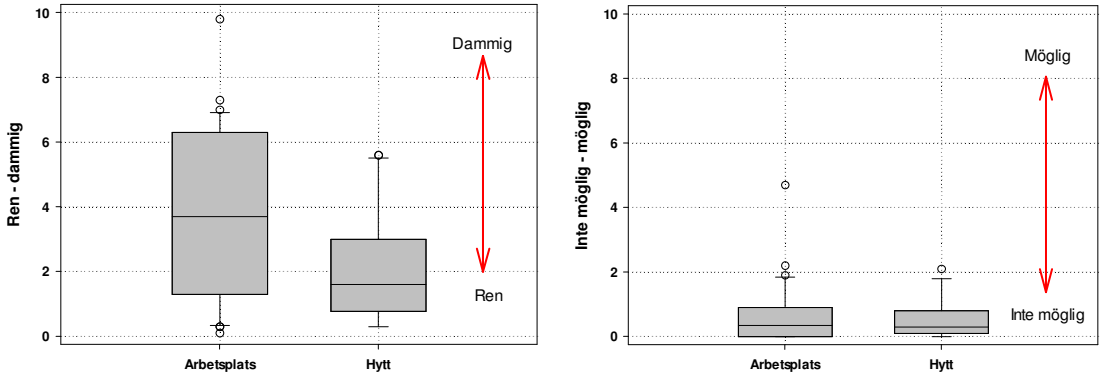
Likt de tidigare frågorna är besättningen i stort nöjd med luftens kvalitet, i frågan om luften känns frisk eller unken ligger medianvärdet på arbetsplatsen på 2,6 och i hytten 1,6 (Figur 10). Figuren visar också uppfattningen om luftens fuktighet ombord på fartyget. Medianvärdet på arbetsplatsen är 2,6 och i hytten 2,2 som betyder att luften upplevs som torr. Den faktiskt uppmätt relativ luftfuktighet i fartygets utrymmen varierade mellan 11% (pannrum) och 31% (hytt).

Figur 11 visar ifall luften känns dammig eller ren, medianvärdet för arbetsplatsen ligger på 3,7 och i hytten 1,6. Figuren visar också huruvida besättningen uppfattar om luften är möglig eller inte. Medianvärdena på både arbetsplatsen och hytten är väldigt låga (inte möglig) och de ligger väldigt nära varandra på 0,4 respektive 0,3.

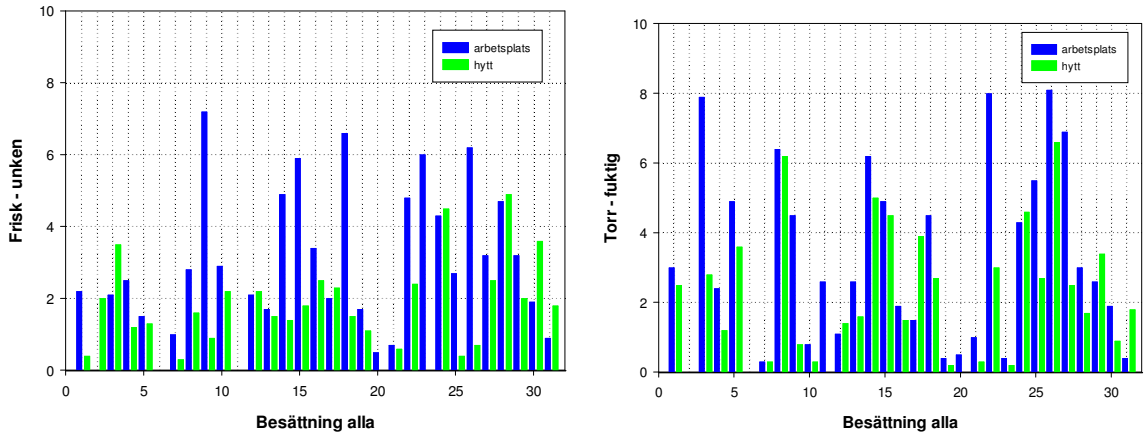
Figurer 12 och 13 visar överskådligt alla svaren för arbetsplats och hytt om de icke-tekniska karakteristikerna av luftkvaliteten.



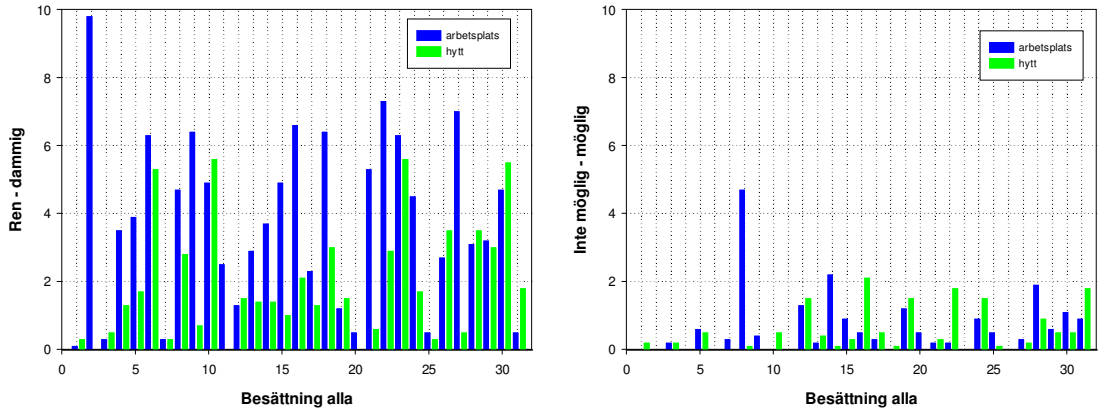
Figur 10. Upplevelse av luktens karaktär avseende frisk-unken (vänster diagram) och torr-fuktig (höger diagram) på arbetsplatser och hytter för alla i besättningen.



Figur 11. Upplevelse av luktens karaktär avseende ren-dammig (vänster diagram) och inte-möglig-möglig (höger diagram) på arbetsplatser och hytter för alla i besättningen.



Figur 12. Grafisk presentation av svaren om luftens karaktär för kategorierna frisk-unken (vänster bild); torr-fuktig (höger bild).

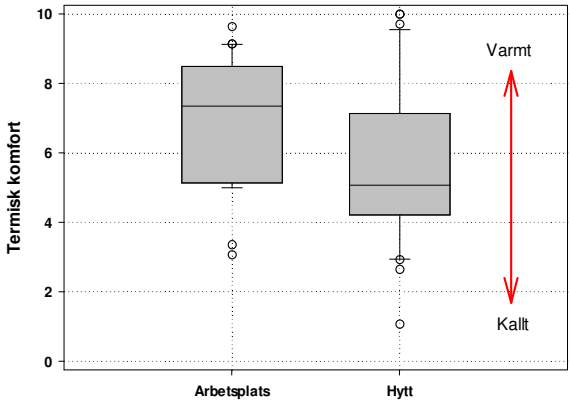


Figur 13. Grafisk presentation av svaren om luftens karaktär för kategorierna ren-dammig (vänster bild); inte möglig-möglig (höger bild).

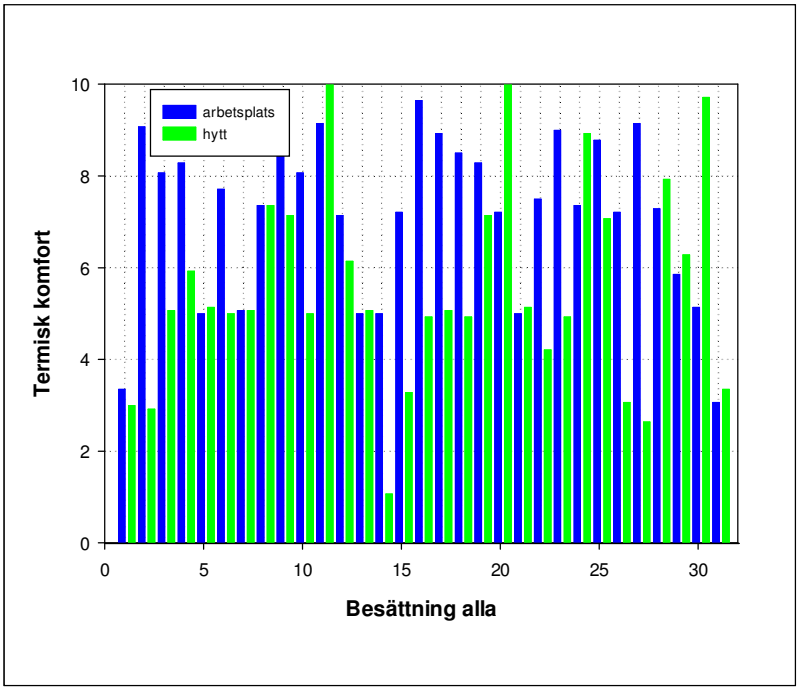
5.1.4 Termisk komfort

Enkätens fjärde fråga behandlade upplevd temperatur ombord. I Figur 14 kan vi se att medianvärdet på arbetsplatsen ligger högre (7,4) än i hytten (5,1). Figur 15 presenterar grafiskt alla svar från besättningen angående den termiska komforten.

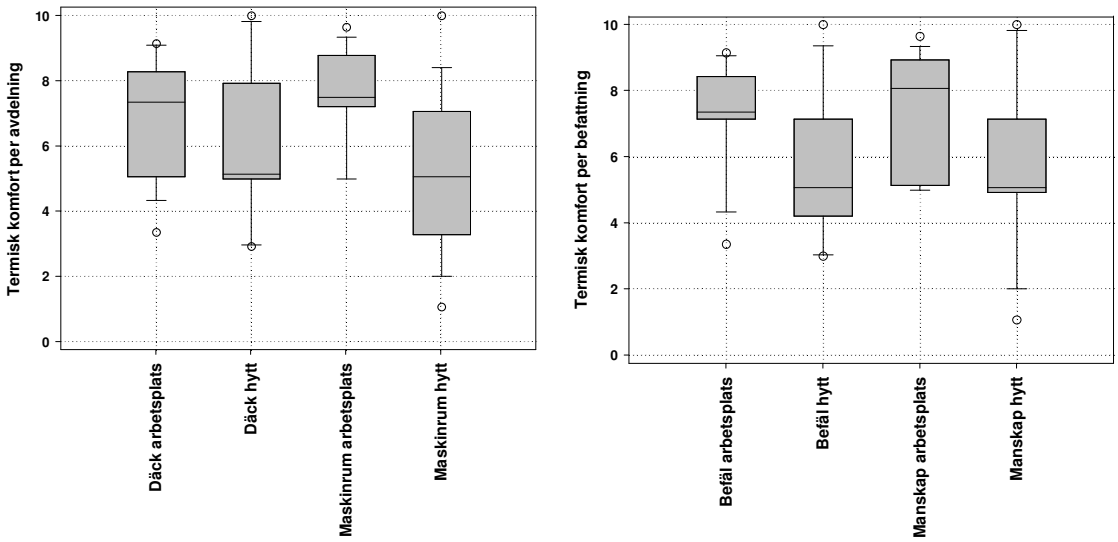
I Figur 16 kan man se hur de olika befattningarna ombord uppfattade temperaturen där medianvärdet för maskinpersonalens arbetsplats ligger på 7,5 och hytter 5,1 för däckspersonalen är medianvärdet för arbetsplatsen 7,4 och för hytter 5,1. Detta visar att hela besättningen tycker att värmen på deras arbetsplats är något åt det varmare hållet och i hytterna upplevs temperaturen komfortabel. De stationära mätningarna som gjordes visar att temperaturerna på arbetsplatserna ligger mellan 33,2°C och 22,5°C och i de två hytter som temperaturmätningar gjordes låg temperaturen 18,9°C och 19,3°C. Spridningen av maskinpersonalens svar för arbetsplatsen är mycket mindre, detta kan bero på att nästan alla i maskinpersonalen jobbar i maskinrummet där det lätt kan bli varmare på grund av maskineriet. För däckspersonalen är spridningen lite större och detta kan bero på att arbetsuppgifterna varierar stort mellan inomhus- och utomhusjobb.



Figur 14. Bedömning av upplevelse av temperaturen på arbetsplatser och i hytter för alla i besättningen.



Figur 15. Grafisk presentation av svaren om termisk komfort.0= kallt 5= neutral, 10 = varmt.



Figur 16. Upplevelse av temperaturen på arbetsplatser och i hytter uppdelade på avdelning (vänster) och befattning (höger).

5.1.5 Statistisk analys

Resultaten från enkäterna har även analyserats statistiskt med hjälp av ett så kallat icke-parametriskt "Wilcoxon matched-pairs signed-rank test" test som testar om medianen skiljer. Ju mindre p-värdet är desto större sannolikhet är det att det är skillnader. (Miller och Miller, 1993)

Tabell 2. Skillnader i upplevd luftkvalitet mellan arbetsplats och hytt för alla besättningsmedlemmar. p-värden <0.05 är statistiskt signifikanta och märkta med fet text.

	Arbetsplats median	Hytt median	p-värde	Kommentar
Acceptans	0.7	0.9	0.1244	bättre i hytten
Lukt	3.6	1.2	**<0.0001**	starkare lukt på arbetsplatsen
Frisk/Unken	2.8	1.6	**0.0029**	fräschare i hytten
Torr/Fuktig	2.8	2.2	**0.0031**	torrare luft i hytten
Ren/Dammig	3.8	1.6	**0.0030**	renare i hytten
Icke-möglig/Möglig	0.5	0.3	0.9393	ingen skillnad
Termisk komfort	7.4	5.6	**0.0042**	varmare på arbetsplatsen

Tabell 2 visar samtliga besättningsmedlemmar och att det finns skillnader mellan arbetsplatsen och hytten när det gäller: Lukt, Frisk/unken, Torr/fuktig, Ren/dammig och termisk komfort. Samtliga resultat pekar på att luften upplevs bättre i hytten än på arbetsplatsen. Fem av sju upplevelsekategorier visade statistiskt signifikant skillnad för bedömning mellan arbetsplats och hytt; den starkaste gällde lukten.

Tabell 3. Skillnader i upplevelse för däcksavdelning och maskinavdelning på arbetsplats och i hytt. Statistiskt signifikanta skillnader är markerade i fet text. Siffror i tabellen är medianvärden.

	Arbetsplats Däck	Arbetsplats Maskin	p-värde	Hytt Däck	Hytt Maskin	p-värde
Acceptans	0.8	0.75	0.8581	0.8	0.9	0.6544
Lukt	2.3	4.8	**0.0084**	1.3	1.3	0.8581
Frisk/Unken	2.0	3.2	**0.0294**	1.7	1.6	0.8613
Torr/Fuktig	1.9	4.5	**0.0120**	0.9	2.7	**0.0430**
Ren/Dammig	3.9	3.7	0.3950	1.7	1.4	0.2795
Icke-möglig/Möglig	0.3	0.4	0.7212	0.5	0.2	0.4033
Termisk komfort	7.4	7.5	0.2850	5.1	5.1	0.3945

Tabell 3 visar hur däcksavdelningen respektive maskinavdelningen upplever sin arbetsplats och hytt. I denna tabell kan vi se att det finns statistiskt signifikanta skillnader mellan däcks- och maskinpersonal på arbetsplatsen med avseende på tre upplevelsekategorier: lukt, frisk/unken och ren/dammig.

Tabell 4. Skillnader i upplevelse för befäl och manskap på arbetsplats och i hytt. Statistiskt signifikanta skillnader är markerade i fet text. Siffror i tabellen är medianvärden.

	Arbetsplats Befäl	Arbetsplats Manskap	p-värde	Hytt Befäl	Hytt Manskap	p-värde
Acceptans	1.0	0.7	0.2384	0.9	0.8	0.2384
Lukt	3.6	3.2	0.5889	0.7	2.2	**0.0384**
Frisk/Unken	2.8	2.3	0.5266	1.4	2.0	0.1412
Torr/Fuktig	4.3	1.9	0.2129	2.6	1.7	0.5599
Ren/Dammig	4.5	3.5	0.8845	1.7	1.4	0.4659
Icke-möglig/Möglig	0.2	0.4	0.3307	0.3	0.3	0.6235
Termisk komfort	7.4	8.1	0.6180	5.1	5.1	1.0000

I Tabell 4 kan vi se att både manskap och befäl upplever innemiljön likadant, den enda signifikanta skillnaden enligt den statistiska analysen finns i lukten i hytterna.

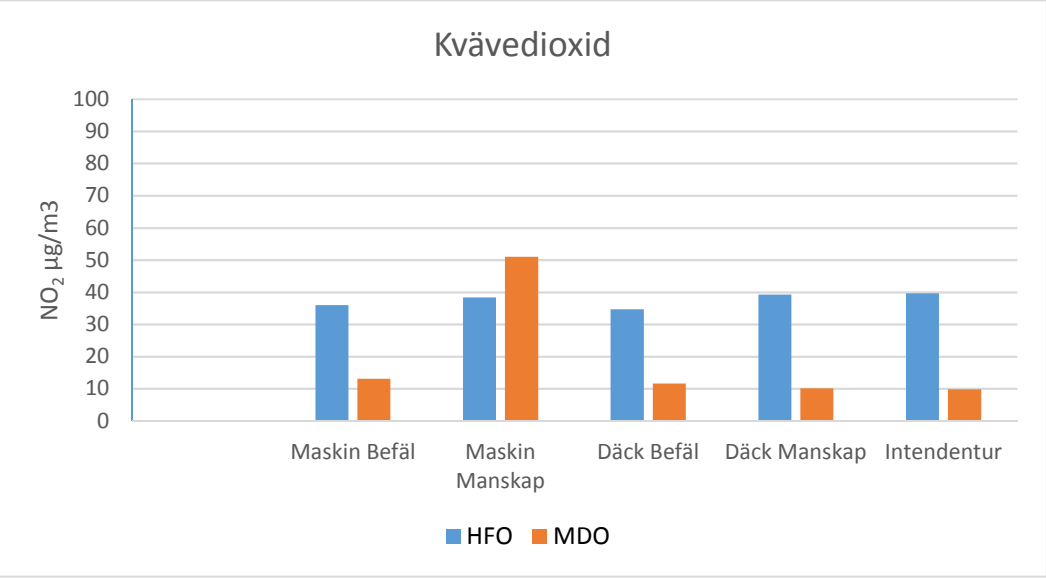
5.3 Personlig exponering

Båda mätningarna av den personliga exponeringen utfördes under fartygets gång och under snarlika förhållanden. Under båda provtagningsperioderna, dvs. med HFO som bränsle (2013) och marin diesel som bränsle (2016) har 10 besättningsmedlemmar från alla samtliga avdelningar ombord. burit de personliga provtagarna för NO_2, VOC och PAH. Dessa resultat presenteras uppdelade mellan avdelningar, befäl och manskap. Värdena som presenteras i diagrammen är medelvärden för provtagningsperioden (en vecka). Numeriska värden presenteras i Bilaga 3.

5.3.1 Kvävedioxid

Halten av kvävedioxid har minskat runt tre gånger från ett medianvärde på 37,5 µg/m^3 år 2013 (HFO) till ett medelvärde på 11,2 µg/m^3 år 2016 (marin diesel).

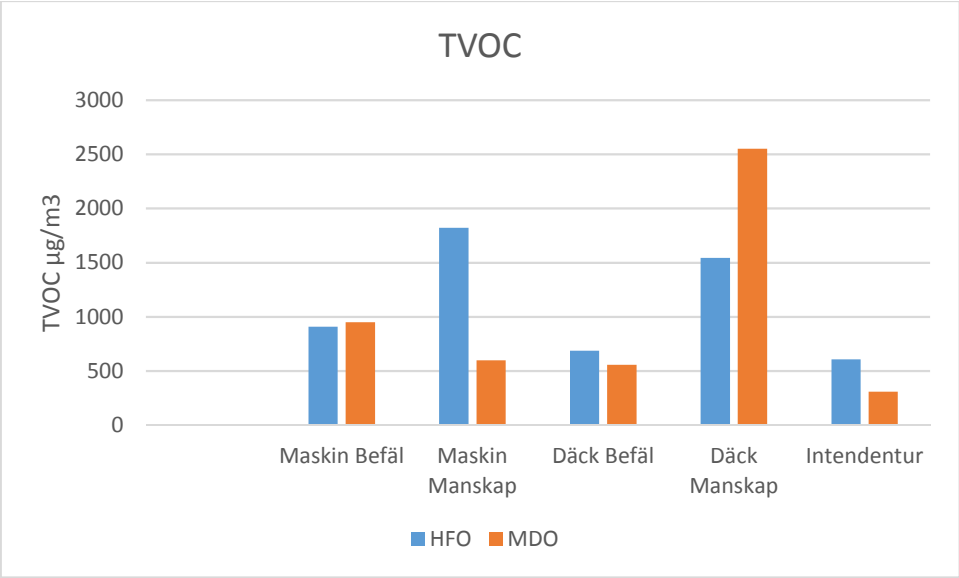
Figur 17 visar att koncentrationen av kvävedioxid har en jämn spridning oavsett befattning ombord. Värdet för ”Maskin manskap MDO” på 51 µg/m3 är inte representativt för denna kategori eftersom resultatet gäller en enda person från denna avdelning som under mätperioden utförde mycket svetsarbeten. Förbränningsprocesser producerar NO_2 och det bidrar till förhöjda halter av ämnet i den nära omgivningsluften.



Figur 17. Riktvärde för kvävedioxid i inomhusluft (årsmedelvärde) är 40 µg/m³; hygieniskt gränsvärde är 4 mg/m³ = 4 000 µg/m³.

5.3.2 Totalhalt av flyktiga organiska ämnen (TVOC)

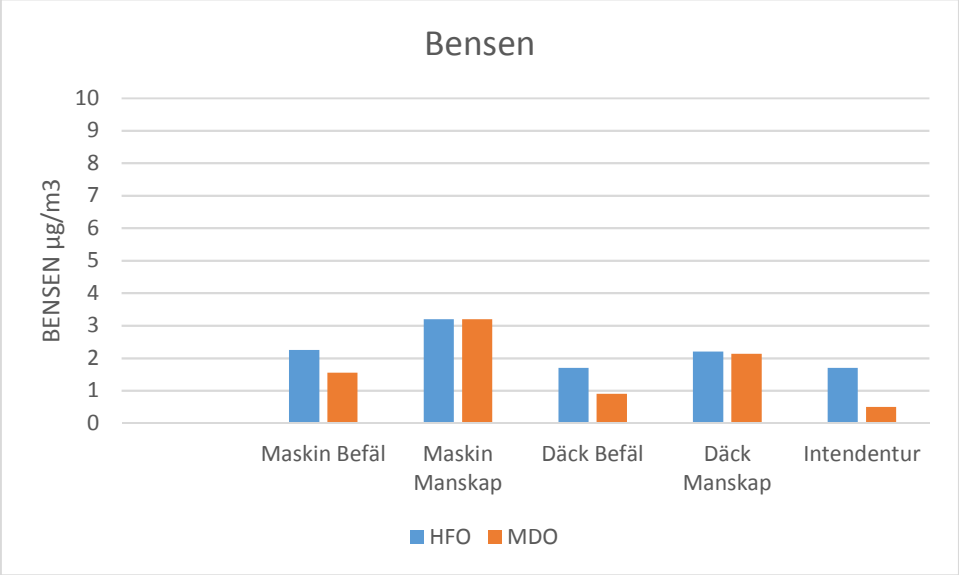
Exponering av personalen för TVOC har minskat ungefär två gånger efter konvertering till det nya bränslet; medianvärden var 1 039 µg/m^3 vid användning av HFO och 566 µg/m^3 under drift med marin diesel. I Figur 18 visas att exponeringen för VOC är snarlik för befälsgrupperna både före och efter bränslekonverteringen. Tittar man däremot på manskapsgrupperna kan man se att det är större skillnader mellan mätningarna, där maskinmanskapet hade ett medelvärde på 1822 µg/m3 vid drift på HFO och 597 µg/m3 vid drift på MDO. Hos däcksmanskapet var förhållandena motsatt där exponeringen av TVOC vid drift på HFO 1545 µg/m3 och 2550 µg/m3 vid drift på MDO.



Figur 18. Riktvärde för TVOC i inomhusluft är 300 µg/m³; hygieniskt gränsvärde saknas.

5.3.3 Bensen

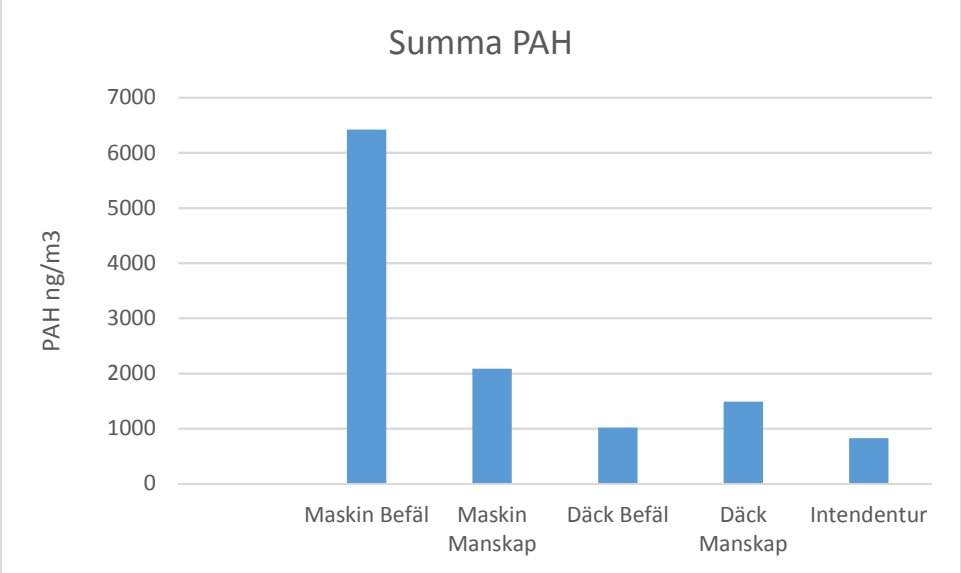
Personlig exponering för besättningen minskade från 2,2 µg/m³ (medianvärdet vid HFO drift) till 1,5 µg/m³ (medianvärdet vid driften på marin diesel). I Figur 19 kan vi se att befälens och intendenturens exponering för bensen har minskat med ca. hälften men däremot är manskapets exponering är oförändrad. Maskinpersonalen ligger något över det hälsobaserade riktvärdet på 1,3 µg/m³ men väl innanför gränsvärdet för utomhusluft på 5 µg/m³ som används i avsaknad för riktvärden i innemiljö. Halterna är allmänt låga och ligger nära detektionsgränsen på 0,5 µg/m³.



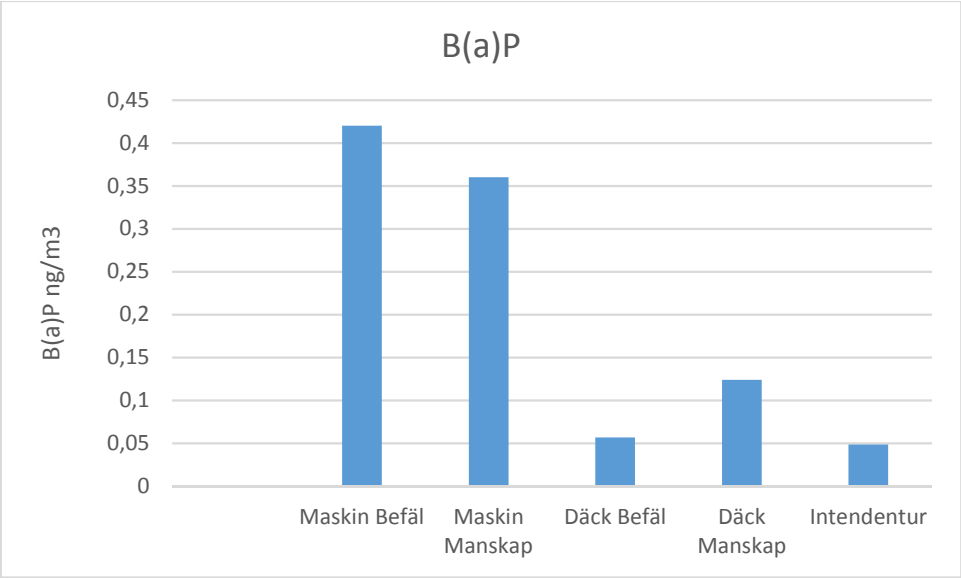
Figur 19. Hälsobaserat riktvärde 2,0 µg/m³; utomhus gränsvärde 5 µg/m³; hygieniskt gränsvärde 1 500 µg/m³.

5.3.4 PAH, benso(a)pyren och naftalen

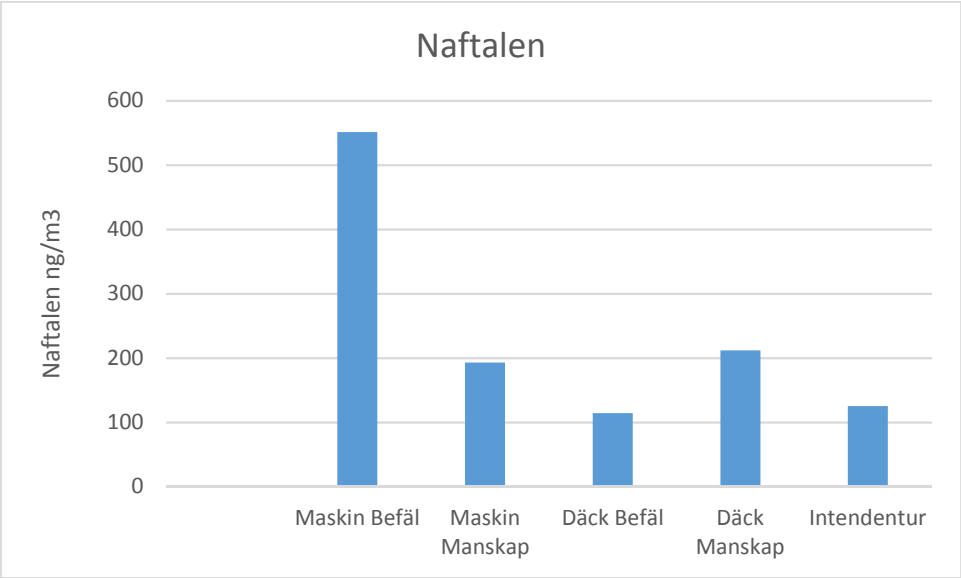
Under den första provtagningen mättes dessa ämnen bara för tre besättningsmedlemmar och kan därför inte jämföras i hänsyn till bränslekonverteringen. Då dessa ämnen inte är hälsosamma och benso(a)pyren är cancerframkallande är det viktigt att mäta och göra en riskbedömning i framtiden. Figur 20, visar exponeringen för totalhalt av polycykliska aromatiska kolväten (32 PAH-ämnen). Maskinpersonalens exponering för PAH är mycket högre än övriga befattningar. PAH förekommer både i bränslet och i avgaser och maskinrummet exponeras mera för bränsle än andra avdelningar. Detta resultat är genomgående även för benso(a)pyren och naftalen som visas i figur 21 och 22. Samtliga exponeringsnivåer för dessa ämnen ligger väl under de hygieniska gränsvärdena (AFS 2011:18)



Figur 20. Summa PAH utan rikt- eller gränsvärden.



Figur 21. Benso(a)pyren: gränsvärde för utomhusluft är 1 ng/m³, används i avsaknad av rekommenderat riktvärde för inomhusluft; hygieniskt gränsvärde är 2 000 ng/m³.



Figur 22. Naftalen: riktvärde för inomhusluft är 10 µg/m3; hygieniskt gränsvärde 50 000 µg/m3.

Under förutsättningen att koncentration av naftalen som utgör den personliga exponeringen återspeglar halten i innemiljöer så ligger de väl över det rekommenderade riktvärde för inomhusluft.

Statiska skillnader beräknade på medianhalter från mätningar av den personliga exponeringen är presenterade i Tabell 5.

Tabell 5. Skillnader i personlig exponering. Siffror i tabellen är medianvärden.

	HFO	MDO	p-värde	Kommentar
NO_2	38	11	**0.0039**	
TVOC	1039	565	0.4316	
Bensen	2.15	1.45	**0.0195**	
summa PAH	931	1932	0.2500	få observationer med HFO
naftalen	225	295	0.7500	få observationer med HFO
B(a)P	0.822	0.091	0.2500	få observationer med HFO

Stationära mätningar

Statiska skillnader beräknade på medianhalter från mätningar av den personliga exponeringen är presenterade i Tabell 5. Signifikanta skillnader är markerade i tjocka bokstäver.

Tabell 6. Statistiska jämförelse av medianhalter av de mätta parametrar för stationära mätningar.

	HFO	MDO	p-värde
NO2	31	13	**0.0039**
TVOC	293	260	0.6523
Bensen	1.3	0.5	0.1289
summa PAH	864	1421	**0.0195**
naftalen	804	164	**0.0078**
B(a)P	0.037	0.021	0.4258
Temp	25.7	24.3	0.0977
RH	39	22	**0.0039**

6. Diskussion av resultat och metoddiskussion

6.1 Personlig exponering för kvävedioxid, VOC och bensen

Syftet med projektet som beskrivs i denna rapport är att undersöka hur luftkvaliteten ombord uppfattas av besättningen, hur besättningens exponering för luftföroreningar förändrar sig med skifte till ett annat bränsle och hur halter av luftföroreningar ändrar sig med det nya bränslet.

Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2011:18) om hygieniska gränsvärden ligger värdet för kvävedioxid på 4 000 µg/m^3 för en arbetsdag och därmed ligger medianvärden från båda mätomgångar på 37,5 resp. 11,2 µg/m^3 väl under gränsvärdet. Dock ska det beaktas att dessa riktvärden är satta för en arbetsdag det vill säga åtta timmar om dagen. Resultaten visar att koncentrationen av kvävedioxider har en jämn spridning oavsett befattning ombord, med undantaget för reparatören. Samtliga befattningsgrupper låg väl under det rekommenderade riktvärdet för inomhusluft för kvävedioxid på 40 µg/m^3 (årsmedelvärde).

Detta tyder på att bränslekonvertering har gjort en skillnad på avgasutsläppen då kvävedioxid kommer huvudsakligen från dieselavgaser. Examensarbetets huvudsyfte har varit att undersöka om mängden kvävedioxid har förändrats/minskat efter bränslekonverteringen, vilket tydligt kan konstateras.

Exponeringen för VOC är snarlik för befälsgrupperna både före och efter bränslekonverteringen. Detta kan bero på att arbetsuppgifterna var snarlika under båda mätningarna. Tittar man däremot på manskapsgrupperna kan man se att det är större skillnader mellan mätningarna. Detta kan förklaras av olika arbetsuppgifter under provtagningarna. Hos däcksmanskapet var förhållandena däremot motsatt där exponeringen av VOC var högre efter bränslekonverteringen, de uppmätta värdena var mycket högre än de rekommenderade. Det ska dock understrykas att samtliga besättningsmedlemmar använder personlig skyddsutrustning vid användande av de olika kemikalierna som kan finnas ombord, så den totala exponeringen som visas i diagrammet representerar inte vad personen i fråga får i sig utan vad som finns i luften runt omkring dem. Då fartyget under provtagningstillfällena befann sig i ett kallare och fuktigare klimat så målades det med 2-komponentsfärger i diverse schapp (mindre arbetsrum ombord) och maskinrum; detta kan bidra till de högre värdena som visas i figuren.
Som riktvärde för god inomhusluft har allmänt accepterats ett värde på 300 µg/m^3. Yrkeshygieniska gränsvärden finns för ett antal individuella VOC dock inte för TVOC. Alifatiska kolväten såsom

alkaner C_6 – C_{18} (hexan till oktadekan) och aromatiska kolväten toluen, etylbensen och xylener förekom i alla prover. Hygieniska gränsvärden (AFS 2011:18) för dessa ämnen ligger på 350 mg/m^3 (alkaner) och runt 200 mg/m^3 (aromater), dvs. tre storleksordningar högre än de halter som är påvisade i detta arbete.

Vi kan se att befälens och intendenturens exponering för bensen har minskat med cirka hälften men däremot är manskapets exponering är oförändrad. Detta kan bero på att manskapet ombord använder diverse lösningsmedel och hanterar bränslen och oljor i deras jobb. I de stationära mätningarna kan man se att mängden bensen har minskat i innemiljön och därmed har den personliga exponeringen för de befattningar som inte handskas med kemikalier dagligen minskat till hälften. Maskinpersonalen ligger något över det hälsobaserade riktvärdet på 2 µg/m^3 men väl innanför gränsvärdet på 5 µg/m^3 som används i avsaknad för riktvärden i innemiljö.

6.2 Skillnader i exponering före och efter bränslebytet

Med de mätresultaten som har samlats in ombord på fartyget kan man med hjälp av den statistiska analysen se att det har blivit skillnader i den personliga exponeringen av NO_2 och bensen efter bränslekonverteringen. TVOC nivåerna visar ingen skillnad alls, detta kan bero på att huvudkällan för TVOC ombord kommer från bränslet. Som tidigare beskrivet går det inte att jämföra exponeringen för PAH, naftalen och B(a)P på grund av för få observationer under drift med HFO.

6.3 Besättningens upplevelse av luftkvaliteten

Däckspersonalen är mer positivt inställda till luftkvalitet på sin arbetsplats (lägre medianvärden) än maskinpersonalen. En förklaring till detta kan vara att däckspersonalen har stor variation i sitt arbete där de jobbar både inomhus och utomhus. Detta gör även maskinpersonalen men i en mycket mindre utsträckning. Däremot upplevs luften i hytterna i stort likadant; den enda större skillnaden finns i den upplevda torrheten/fuktigheten där däckspersonalen upplevde sina hytter något torrare, en förklaring till detta kan vara att däckspersonalen och maskinpersonalen bor i stort sett på varsin sida av fartyget.

Maskinpersonalen upplever att deras hytter luktar mer än däckspersonalen. Vad detta beror på är svårt att säga, men då samtliga i maskinpersonalen bor på babordssida kan detta ha en inverkan, antingen genom ventilationssystemet eller att det följer med olja och kemikalier upp till hytten efter arbetsdagens slut.

Tidigare studier som har behandlat hur folk uppfattar innemiljön har förklarat att uppfattningen av luftens kvalitet kan bli påverkad av luftens temperatur och fuktighet (Toftum m.fl., 1998). I en

annan rapport skriver Wargocki (2004) att uppfattningen av luftens kvalitet inte enbart beror på luftens sammansättning utan även vår egen förmåga att uppfatta kemikalier.

Maskinavdelningen upplever också att arbetsplatsen luktar om man jämför däckspersonalens svar angående lukten på arbetsplatsen. Langer m.fl. (2015) skriver att kolmonoxid, NOx, SO_2, PAH, och flyktiga organiska ämnen kan förekomma i inomhusluften på fartyget genom läckage från avgassystem och förångning av ämnen från bränslen. Då större delen av oljorna och bränslen som finns ombord förvaras och förbrukas i maskinutrymmena är det större sannolikhet för att det är där uppkomsten av lukten kommer ifrån.

Vid en jämförelse mellan de olika befattningarna ombord framgår att manskapet upplever mer lukt på arbetsplatsen än vad befälen gör. Då manskapet använder sig av starkare kemikalier så som lösningsmedel, lim och färger under sitt dagliga jobb jämfört med befälen ombord så kan det uppfattas som att dess arbetsplats luktar mer.

6.4 **Allmän bedömning av luften ombord**

Nästan alla i besättningen upplever att det är torrt ombord på fartyget. De stationära mätningarna som gjordes under denna period visar att den relativa fuktigheten ombord på fartyget var lägre än de rekommenderade värdena på 30–70% RF. På arbetsplatsen låg dessa värden mellan 11–27 % och i hytterna på 30 %. Då fuktigheten ombord i fartyget står i direkt relation till utomhusmiljön, det vill säga geografiska positionen, temperaturen och hur luften behandlas i ventilationssystemet. Den faktiskt uppmätt relativa luftfuktighet i fartygets utrymmen varierade mellan 11% (pannrum) och 31% (hytt). Medianvärdet på 22% gränsar till den låga luftfuktigheten där besvär så som torra ögon, läppar, hud, slemhinnor i näsan och t.o.m. näsblod kan börja uppträda. Mögel uppfattas inte som ett problem ombord på fartyget. Då det krävs ca 70% RF för mikrobakteriell tillväxt finns inte möjligheten för mögel att uppkomma.

6.5 **Termisk komfort**

Flera studier visar att just den upplevda temperaturen kan uppfattas olika av personer och kan lätt ändras på grund av flera orsaker. Hellwig skriver i sin rapport att den upplevda temperaturen beror mycket på personens känsla av kontroll, att kunna ändra temperaturen i sin omgivning själv ger en mer positiv upplevelse av innemiljön och temperaturen, detta kan förklara att folket är mer

nöjda med temperaturen i besättningens hytter (Hellwig, 2015). Nicol skriver i sin rapport (Nicol & Humphreys, 2002) att människor har lätt att acklimatisera sig till förändringar i dess miljö och om en förändring sker för att skapa obehag, reagerar folket så att de kan återställa sin bekvämlighet i miljön genom använda av termostater eller klädval. En annan aspekt kan vara att man är mer aktiv under arbetsdagen när man befinner sig på arbetsplatsen och därmed upplevs temperaturen högre.

7. Slutsatser

Besättningen var i överlag väldigt nöjda med innemiljön, speciellt den allmänna acceptansen av luftkvaliteten var mycket hög. Den mest påtagliga och statistiskt mest signifikanta skillnaden gällde upplevelse av lukten; det tyder på att det finns tydlig fysisk avgränsning mellan mera luktande arbetsplatsen och rena hytter. Luften i hytterna upplevdes både fräschare och renare.

Det finns dock olikheter i hur man uppfattar och upplever den inre miljön mellan avdelningarna (däck och maskin) och mellan befattningarna (befäl och manskap).

Medianhalterna av de kemiska luftföroreningarna låg mycket under de lagligt bindande hygieniska gränsvärden. Bensenhalterna låg runt det hälsobaserade riktvärdet (livstidsexponering). Personalen utsattes för betydligt lägre exponering för kvävedioxid och bensen efter bränslekonvertering, dock fanns inga större skillnader i totalhalt av de flyktiga organiska ämnena. De stationära mätningarna visade lägre halter av naftalen i luften ombord efter konverteringen som kan ha avspeglat sig på den personliga exponeringen.

Innemiljön har förbättrats i flera aspekter efter bränslekonvertering. Detta får ses som ett positivt resultat eftersom huvudsyftet med konverteringen inte hade med innemiljön ombord på fartyget att göra överhuvudtaget utan skedde på grund av de ny SECA kraven. Miljöarbetet går i rätt riktning på fartyget och besättningsmedlemmarna verkar överlag nöjda med sin innemiljö.

7.1 Förslag till vidare forskning

Framtida forskning skulle kunna ske på de övriga svenska isbrytarna. Detta för att se hur gångtid alternativt framdrivningsätt (Oden dieselmekanisk, övriga isbrytare dieselelektriska) påverkar

innemiljön ombord på fartygen, personalens exponering för luftföroreningar och deras upplevelse av luftkvalitet ombord.

Samtliga isbrytare utför samma uppdrag under vintern och är mer eller mindre likadana därmed kan man få många och säkra mätningar. Då det finns olika lösningar på framdrivning skulle fortsatt forskning kunna handla om undersökning av innemiljö, förändringar i arbetsmiljö och arbetssätt för besättningen.

En annan infallsvinkel skulle kunna vara hur de olika arbetsmomenten påverkar innemiljön och hur personalen kan påverka detta till det bättre. Med hjälp av stationära provtagningsinstrument och en loggbok där man noterar arbetsmoment och klockslag på utvalda platser ombord på fartyget kan man få en uppfattning om vilka moment som ger upphov till högre halter av ämnen.

Referenser

AFS 2011:18. *Hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden.* Stockholm: Arbetsmiljöverket.

FoHMFS 2014:18. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation. Folkhälsomyndigheten, Stockholm.

BBR 18 – BSF 2011:6. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd). Karlskrona, Boverket.

Ferm M., Rodhe H. (1997). Measurements of air concentrations of SO_2, NO_2 and NH_3 at rural and remote sites in Asia. Journal of Atmospheric Chemistry 27, 17-29.

Ferm M. (2001). The theories behind diffusive sampling. Proc. from International Conference Measuring Air Pollutants by Diffusive Sampling, Montpellier, France 26-28 September 2001. p31-40.

Forsell K. (2008). *Ansamling av cancerfall på en passagerarfärja.* Göteborg: Göteborgs universitet, Sahlgrenska Akademin.

Hellwig R. T. (2015). *Perceived control in indoor environments: a conceptual approach.* Building Research & Information. doi:10.1080/09613218.2015.1004150.

Hongmin L., Jiujian, N., Na X., Houde, H. (2011). *An Investigation and Analysis of Indoor Environment in Air-Conditioned Chinese Ship Vessel Cabins.* Indoor and Built Environment 20, 377-385.

Gunnarsen L., Fanger O.P. (1992). *Adaptation to indoor air polution.* Environment International.

Langer S., Moldanová J., Österman C. (2015). *God innemiljö på svenska fartyg, kartläggning av innemiljön och förslag på förbättringsåtgärder.* Stockholm: IVL Svenska miljöinstitutet. Rapport nr. B2242.

Mandin C., Bonvallot N., Kirschner S., m.fl. (2009) Development of French indoor air quality guidelines. Clean Soil, Air and Water 37, 494-499.

Miller J.C., Miller J.N. Statistics for analytical chemistry. 1993. Third Edition, Ellis Horwood PTR Prentice Hall, Great Britain.

MKN Miljökvalitetsnormer för utomhusluft. Luftkvalitetsförordningen (2010:477).

Nicol J., & Humphreys M. A. (u.d.). *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.* Oxford: Oxford.

Toftum J., Jörgensen A. S., Fanger O.P. (1998). *Effect of humidity and temperature of inspired air on perceived comfort.* Energy and Buildings 28, 15-23.

SOFS 2005:15. Temperatur inomhus. Socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus.

SMHI. (den 21 08 2016). *www.smhi.se*. Hämtat från smhi: http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910

Staxler,L., Järup L., Bellander, T. (2001). *Hälsoeffekter av luftföroreningar, En kunskapsammanställning inriktad på vägtrafiken i tätorter.* Stockholm: Miljömedicinska enheten, Stockholms läns landsting.

Thuvander A. (2006). *Kemiska ämnen i inomhusmiljön.* Socialstyrelsen.

TSFS 2009:119. (u.d.). *Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2009:119) om arbetsmiljö på fartyg.* Norrköping: Transportstyrelsen.

UBA. Umweltbundesamt - Federal Environment Agency of Germany. Health and Environmental Hygiene. Guide values for indoor air quality. Available at: http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte.

Wargocki P. (2004). *Sensory pollution in buildings*. Indoor Air 14, 82-91.

WHO, 2005. Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, ISBN 92 890 2192 6.

WHO. (2010). World Health Organization. Selected pollutants. WHO indoor air quality guidelines. Copenhagen: WHO Regional Office for Europé

Miller J.C., Miller J.N. Statistics for analytical chemistry. 1993. Third Edition, Ellis Horwood PTR Prentice Hall, Great Britain.

Bilagor

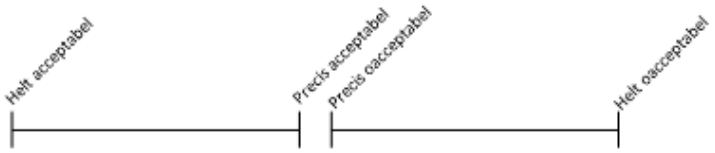
Bilaga 1.

Med den här enkäten vill vi försöka få fram hur du upplever inomhusklimatet på din arbetsplats och i din hytt. Det är helt frivilligt att delta i undersökningen.

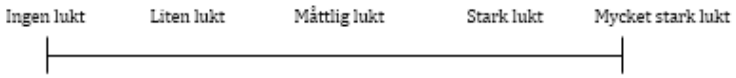
Fartyg:_____ Avdelning:_____

Befattning:_____ Däck du bor på:_____

1. Ta 2-3 andetag. Hur upplever du i allmänhet att luftkvaliteten brukar vara på din arbetsplats? Markera på skalan.

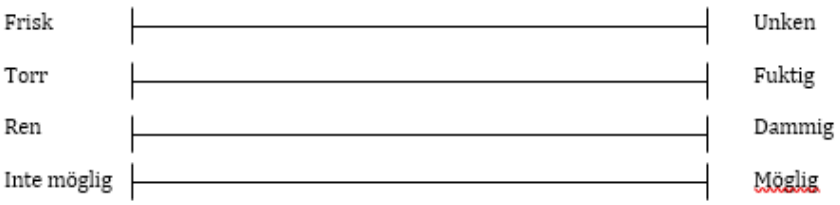


2. Hur upplever du att det luktar på din arbetsplats?

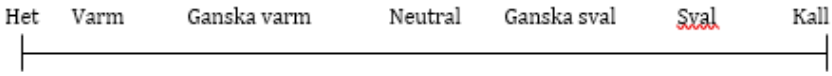


3. Hur bedömer du i allmänhet luften på din arbetsplats?

Är luften:



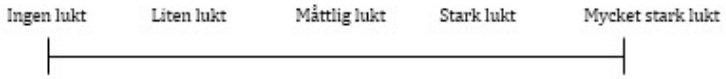
4. Hur bedömer du i allmänhet temperaturen på din arbetsplats?



Var vänlig vänd →

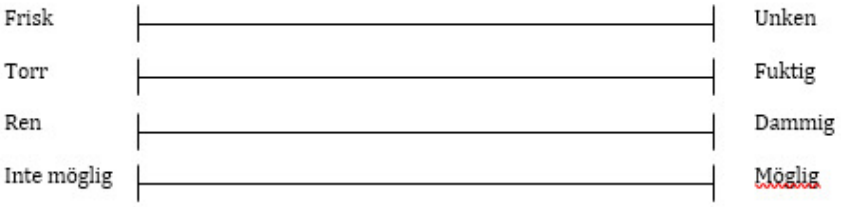
5. Ta 2-3 andetag när du går in i din hytt. Hur upplever du i allmänhet att luftkvaliteten brukar vara i din hytt? Markera på skalan.

6. Hur upplever du att det luktar i din hytt?

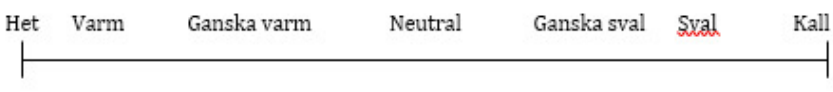


7. Hur bedömer du i allmänhet luften i din hytt?

Är luften:



8. Hur bedömer du i allmänhet temperaturen i din hytt?



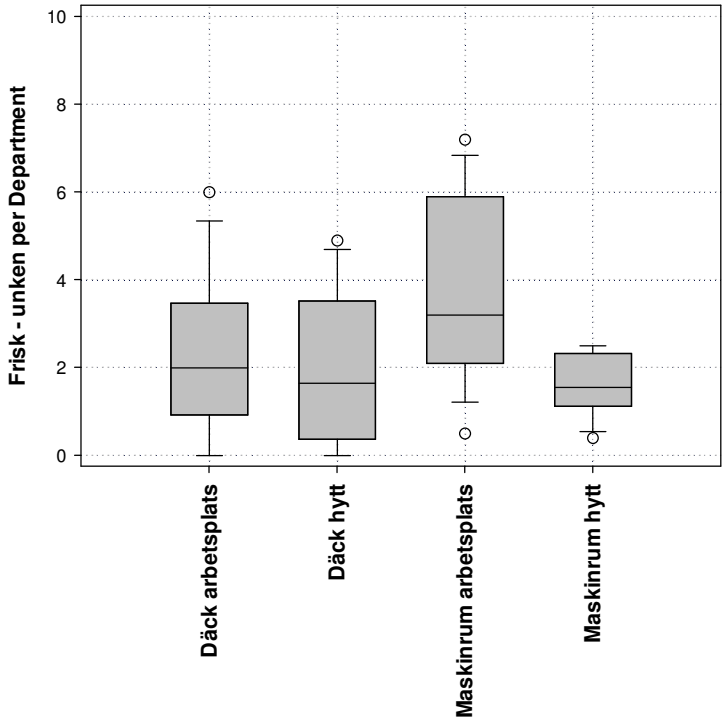
Bilaga 2. Resultat för personburna mätningarna vid båda bränsletyper. Medelvärden för en veckas provtagning.

Oden augusti 2013	µg/m³	µg/³	µg/m³	ng/m³	ng/m³	ng/m³
Heavy Fuel Oil	NO_2	TVOC	bensen	summa PAH	naftalen	B(a)P
fartygsingenjör	35,1	1 052	2,4	---	---	---
fartygsingenjör	36,9	765	2,1	---	---	---
Maskinmanskap	28,9	2 147	3,0	7 329	771	7,06
Däcksmanskap	41,0	1 577	2,2	932	226	0,82
Däcksmanskap	37,6	1 512	2,2	---	---	---
Däcksmanskap	40,2	443	1,6	---	---	---
Däcksmanskap	39,1	769	1,8	677	95	0,12
Däcksmanskap	32,1	1 026	1,8	---	---	---
Däcksbefäl	37,3	346	1,6	---	---	---
fartygsingenjör	47,8	1 496	3,4	---	---	---

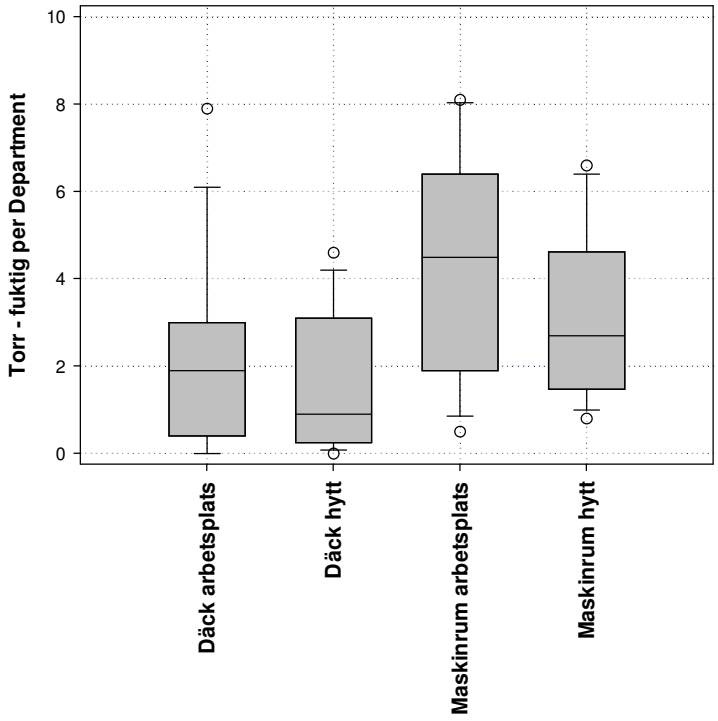
Oden juli 2016	µg/m³	µg/m³	µg/m³	ng/m³	ng/m³	ng/m³
Marine diesel	NO_2	TVOC	bensen	summa PAH	naftalen	B(a)P
Maskinmanskap	51,0	597	3,2	2 085	193	0,36
fartygsingenjör	13,8	535	1,6	4 459	393	0,45
fartygsingenjör	12,4	1 364	1,5	8 379	709	0,39
Däcksmanskap	9,9	2 454	2,1	1 932	295	0,091
Däcksmanskap	9,5	4 551	1,4	1 266	161	0,079
Däcksmanskap	11,6	391	<1	891	124	0,033
Däcksmanskap	8,1	223	<1	757	127	0,064
Däcksbefäl	12,6	211	1	839	128	0,062
Däcksbefäl	10,6	304	<1	1 189	101	0,051
Däcksbefäl	10,8	644	2,9	1 270	179	0,20

Bilaga 3. Resultat från enkäter

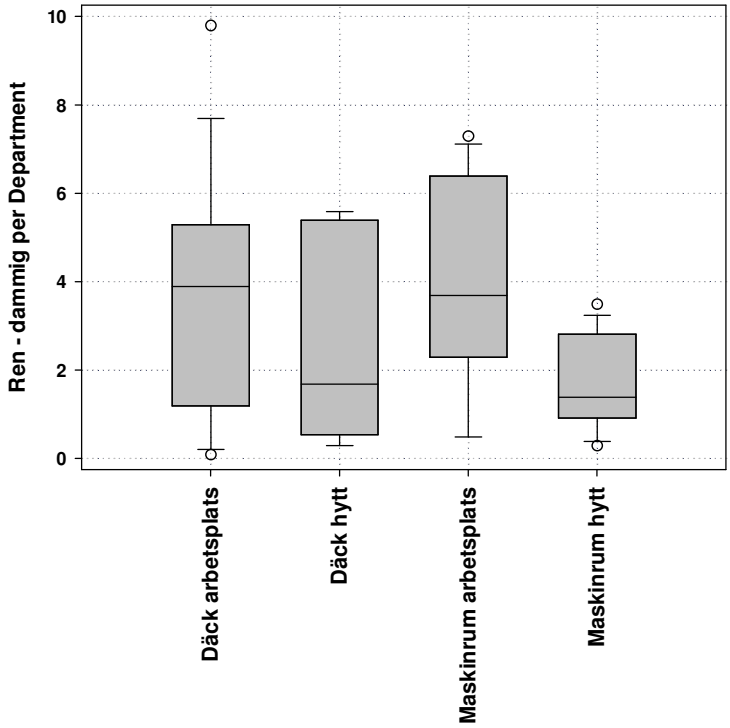
Q3 Fräsch per Avdelning



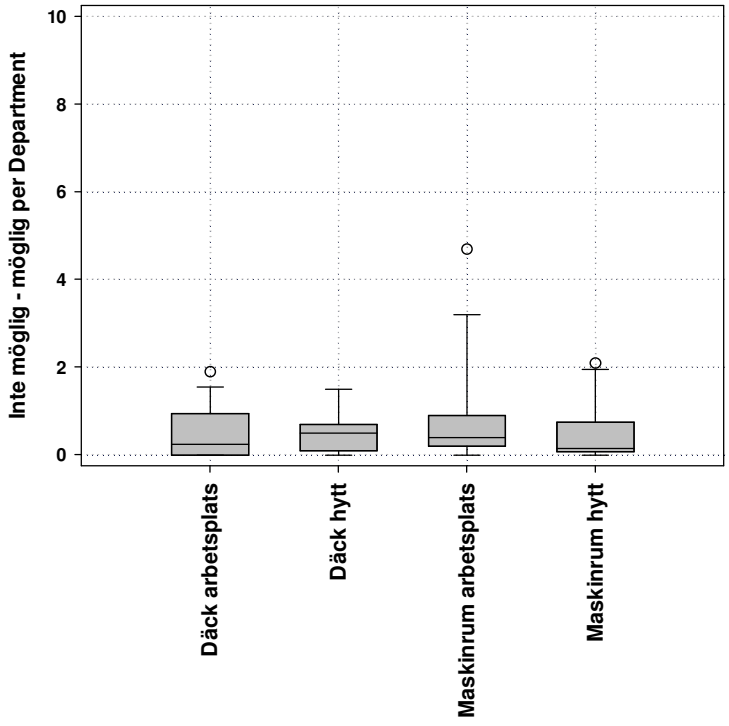
Q3 Torr per Avdelning



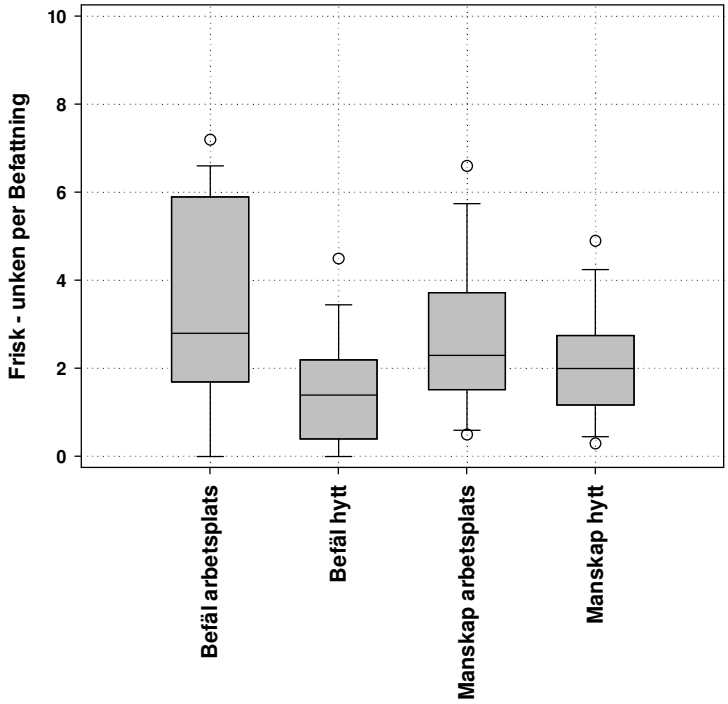
Q3 Ren per Avdelning



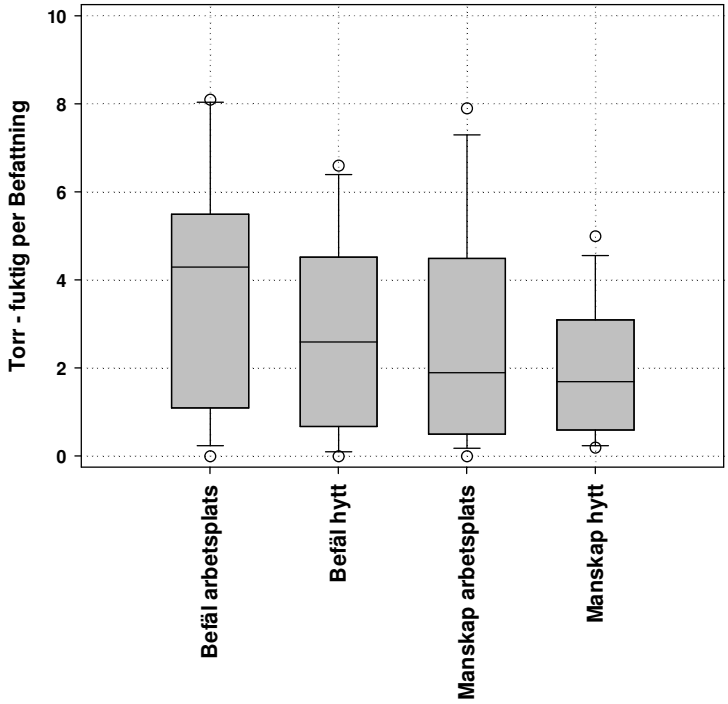
Q3 Möglig per Avdelning



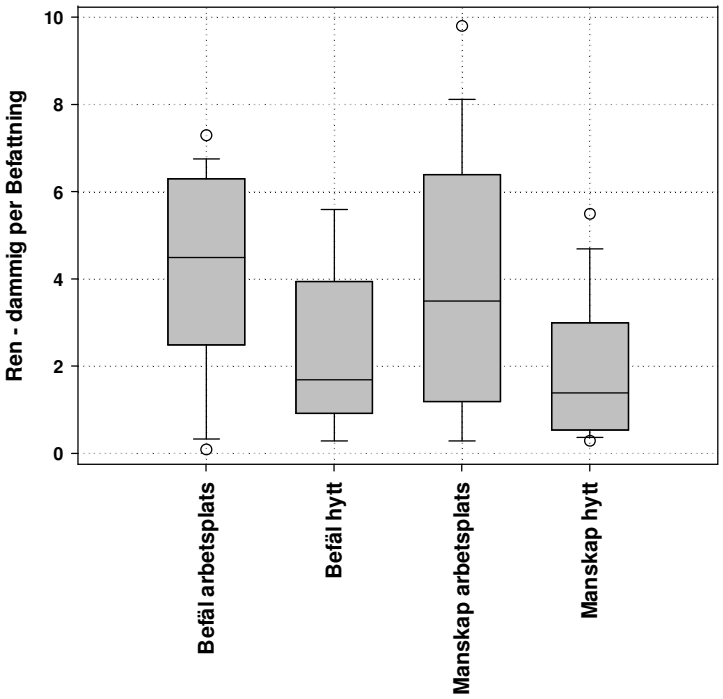
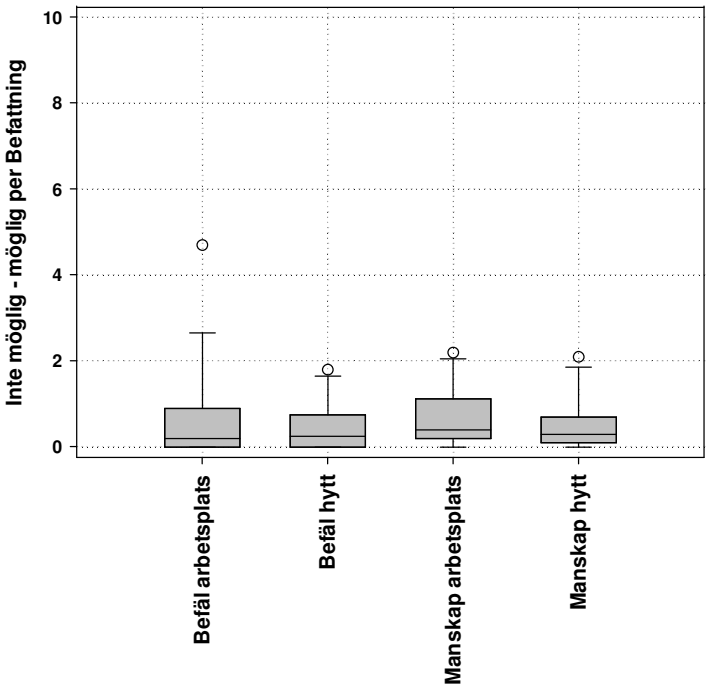
Q3 Fräsch per Befattning



Q3 Torr per Befattning



Q3 Ren per Befattning



Q3 Möglig per Befattning