

God innemiljö på svenska fartyg

Kartläggning av innemiljön och förslag på förbättringsåtgärder



Sarka Langer, Jana Moldanová, Cecilia Österman

Författare: Sarka Langer, Jana Moldanová, Cecilia Österman

Medel från: AFA Försäkring

Fotograf: Sarka Langer

Rapportnummer: B 2242

Upplaga: Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2015

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

Tel: 010-788 65 00 Fax: 010-788 65 90

www.ivl.se

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

Förord

Detta projekt hade inte varit möjligt att genomföra utan stöd av och i gott samarbete med rederier, fartygsägare, befälhavare och besättningar som gav oss tillgång till fartygen och har bistått vid både mätningarna och vistelsen ombord. Vi vill skicka tusen tack och varma hälsningar till all ombordspersonal på de besökta fartygen.

Arbetet i projektet har varit inriktat på att kartlägga typ, förekomst och källor till luftföroreningar i inomhusmiljö på svenska fartyg samt att finna och rekommendera åtgärder för situationer då dessa förekommer i förhöjda halter.

Projektet har drivits i samråd med en referensgrupp med följande sammansättning:

Sjöfartens Arbetsgivareförbund	Lars Andersson
SEKO sjöfolk	Karl-Arne Johansson
Sjöbefälsföreningen	Johan Marzelius
Försvarsmakten/Högkvarteret PROD MARIN	Lennart Karlsson
Viking Supply Ships/Transatlantic	Lars Holmberg
Isbrytaren Oden	Mattias Peterson (befälhavare)

Referensgruppen har varit mycket värdefull för projektet och har bland annat bidragit till goda kontakter med de fartyg som deltog i undersökningen. Ett särskilt stort tack riktas till Sjöfartens Arbetsmiljönämnd SAN och dess ordförande Lars Andersson samt dess sekreterare Eva Ohlsson för deras intresse i projektet och stöd.

Bilderna i rapporten är tagna av IVL:s personal. Samtliga bilder är tagna i samband med mätningarna ombord fartyg. Fartyget på bilden på rapporten titelsida har inte ingått i projektet.

Sarka Langer

Jana Moldanová

Cecilia Österman

Översikt av förkortningar som förekommer i denna rapport.

Förkortning	Förklaring
CO ₂	Koldioxid
CO	Kolmonoxid, koloxid
NO	Kvävemonoxid, kväveoxid
NO ₂	Kvävedioxid
SO ₂	Svaveldioxid
O ₃	Ozon
VOC	Volatile Organic Compounds (flyktiga organiska ämnen)
TVOC	Total Volatile Organic Compounds
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (polycycliska organiska ämnen)
PM _{2,5}	Koncentration av partiklar med diameter < 2,5 µm; µg/m ³
PM ₁₀	Koncentration av partiklar med diameter < 10 µm; µg/m ³
NGV	Nivågränsvärde
RF	Relativ luftfuktighet
HFO	Heavy Fuel Oil (tjockolja)
MGO	Marine Gas Oil (gasolja)
MDO	Marine Diesel Oil (miljödiesel)
LNG	Liquefied Natural Gas (biogas)

Innehållsförteckning

Förord.....	3
Sammanfattning	7
Summary.....	8
1 Inledning	9
2 Projektets mål och metoder	10
3 Källor till och hälsoeffekter av luftföroreningarna	10
3.1 Luftföroreningar med ursprung i utomhusluft.....	10
3.2 Luftföroreningar med ursprung i inomhusluft.....	11
3.3 Luftföroreningar som alstras av människor	11
4 Lagar och guidelines om luftkvalitet och inomhusmiljö.....	11
4.1 Inneklimat – temperatur, relativ luftfuktighet.....	12
4.2 Gällande gränsvärden och riktvärden.....	12
5 Fartygen.....	13
6 Metoder.....	14
6.1 Logistik med fartygsbesöken och mätpunkter.....	14
6.2 Mätparametrar och mätstrategi	14
7 Resultat och diskussion.....	16
7.1 Temperaturer och relativ luftfuktighet	16
7.2 Koldioxid och kolmonoxid.....	18
7.3 Ventilation.....	20
7.4 Mikroorganismer – levande mögelsporer	21
7.5 Kväveoxider och svaveldioxid.....	22
7.6 Ozon.....	24
7.7 Kolväten: TVOC, bensen och formaldehyd.....	25
7.8 Benso(a)pyren och naftalen.....	27
7.9 Partiklar PM ₁₀ och PM _{2.5}	28
8 Principalkomponentanalys	29
9 Indoor Air Pollution Index för fartyg	33
10 Råd och rekommendationer	35
10.1 Åtgärdsförslag för befintliga fartyg	35
10.2 Åtgärdsförslag vid nybyggnation av fartyg	37
11 Slutsatser	38
Referenser	41
Bilaga 1 Fartyg som ingått i denna studie	43
Bilaga 2 Information om projektet ”God inomhusmiljö på svenska fartyg”	45

Bilaga 3 Mätmetoder för inneklimatparametrar och gasformiga och partikulära luftföroreningarna.....	47
Bilaga 4 Mätplatserna och mätperioderna	49
Bilaga 5 Temperatur och relativ luftfuktighet: numeriska värden och diagram.....	53
Bilaga 6 Koncentration av koldioxid på fartygen	63
Bilaga 7 Mätdata för luftföroreningarna NO, NO ₂ , SO ₂ och ozon	66
Bilaga 8 Mätdata för luftföroreningarna flyktiga organiska ämnen (TVOC), bensen och formaldehyd	69
Bilaga 9 Mätdata för luftföroreningarna PAH, naftalen och benso(a)pyren	72
Bilaga 10 Mätdata för partiklar	75
Bilaga 11 Korrelationsplottar från PCA.....	78
Bilaga 12 Indoor Air Pollution Index för fartyg.....	99

Sammanfattning

Miljön ombord på fartyg är viktig för besättningens välbefinnande hälsa och arbetseffektivitet. Inomhusluftens kvalitet och termisk komfort är viktiga delar av innemiljön som inte har studerats så mycket på fartyg. Vid långa resor som varar veckor eller månader och kan passera flera klimatzoner finns inget sätt att byta miljö och ingen utväg från fartyget, och då blir god innemiljön extra viktig eftersom den utgör både arbetsmiljö och boendemiljö (innemiljö). Syftet med denna studie var att kartlägga hur innemiljön på svenska fartyg ser ut, föreslå en enkel övervakningsmetodik för innemiljö samt föreslå förbättringsåtgärder där det behövs.

Inom projektet har mätningar gjorts på nio fartyg under elva mätomgångar; ett fartyg undersöktes både vinter och sommar och ett annat fartyg före och efter byte av bränsle. Temperatur och relativ luftfuktighet som beskriver inneklimate, halterna av gasformiga luftföroreningarna koldioxid, kväveoxider, svaveldioxid, flyktiga organiska ämnen, polycykliska aromatiska kolväten, formaldehyd och partiklar (PM₁₀, PM_{2.5} och nanopartiklar) mättes i både maskinutrymmen och innemiljöer med diffusiva (passiva) provtagare och direktvisande instrument.

Innemiljö och luftkvalitet på de undersökta fartygen var överlag god. Halter av luftföroreningar var under och mycket under både de hygieniska gränsvärdena för arbetsmiljö och rekommenderade riktvärden för god innemiljö. Även om det inte förekom hälsofarliga halter av luftföroreningarna, förekom stora skillnaderna i halter både inom och mellan fartyg. Principalkomponentanalys utpekade typ av bränsle som främsta indikator för luftkvalitet i maskinutrymmen samt bränslet och fartygens framdrivningssätt för andra innemiljöer på fartyget. Inom projektet har "Indoor Air Pollution Index" för fartyg utvecklats och använts för att rangordna fartygen med avseende på kvalitet av innemiljö.

För att ytterligare höja kvaliteten på fartygens innemiljö, arbets- och boendemiljö har följande förslag på tekniska och organisatoriska åtgärder för befintliga fartyg och vid nybyggnation identifierats. För befintliga fartyg gäller framförallt kontroll och underhåll av ventilationssystem, ordning och reda särskilt i maskinutrymmen samt vid behov användning av lämplig skyddsutrustning. Vid planering och design av nya fartyg bör främst fartygets framdrivningssätt med tillhörande bränsle beaktas, eftersom användning av bränslen med bättre kvalitet än tjoekolja också innebär förbättringar för såväl luftkvalitet som arbetsmiljö. Andra viktiga aspekter för upprätthållande av god innemiljö är ventilationsanordning där man effektivt separerar avluftningar från maskinutrymmen från friskluftsintag till andra inneutrymmen samt utformning av arbetsplatser och innemiljöer med särskilt tonvikt på ett separat rengöringsrum i maskinutrymmen.

Summary

An indoor environment on-board ship is important for the crew's well-being, health and work efficiency. Indoor air quality and thermal comfort are important aspects of the environment which have not been studied extensively on vessels. On long trips that last for weeks or even months and that may pass through several climatic zones there is no way to change the indoor environment, and no exit from the ship. Good indoor environment becomes particularly important as it represents both the working and living environment (indoor environment). The purpose of this study was to investigate the environment on Swedish ships, to propose a simple indoor air monitoring methodology and to suggest improvements where needed.

Within the project, measurements have been performed on nine ships during eleven measurement campaigns; one vessel was examined in both winter and summer conditions and another vessel before and after the change of fuel. Temperature and relative humidity that describe the indoor climate, the concentrations of gaseous air pollutants carbon dioxide, nitrogen oxides, sulfur dioxide, volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons, formaldehyde and particulate matter (PM₁₀, PM_{2.5} and nanoparticles) were measured in both the machine spaces and indoor environments with diffusive (passive) samplers, and direct-reading instruments.

Indoor environment and air quality on the investigated ships were in general good. The levels of air pollutants were below the occupational exposure limits for the working environment and also below the recommended guidelines for good indoor environment. Although the air pollutants did not reach levels that could be dangerous to the health, there were sometimes large differences in concentration levels both within and between the vessels. Principal component analysis identified the type of fuel as the main indicator of air quality in the engine spaces, and the quality of the fuel and the ships' way of propulsion in other indoor environments. Within this project we developed a concept of "Indoor Air Pollution Index" for ships which helped to rank the ships with regard to the indoor environment air quality.

With the aim to further improve the air quality of indoor, working and living environments on the ships the following suggestions for technical and organizational measures for existing vessels and construction of new ships were identified. For existing ships, the main measures are control and maintenance of ventilation systems, tidiness, particularly in the engine room, and where needed proper use of appropriate protective equipment. When planning and designing new ships, the vessel's way of propulsion and the associated fuel are the main determinants of the indoor air quality as it turned out that the use of fuels with better quality than heavy fuel oil also meant improvements for both indoor air quality and the work environment. Other important aspects of maintaining good indoor air quality is ventilation devices that effectively separate ventilation from the engine room from fresh air intake to other indoor spaces as well as the design of workplaces and indoor environments with particular emphasis on a separate clean rooms adjacent to the engine room.

1 Inledning

Exponering för luftföroreningar sker främst inomhus eftersom människor tillbringar ungefär 90 % av sin tid i olika innemiljöer. Arbete som utförs på fartyg är speciellt i flera avseenden. Fartyget utgör både arbetsmiljö och boendemiljö och personalen vistas ofta långa tider ombord i samma miljö, ibland under flera månader i sträck. Därmed har personalen små möjligheter att undvika eller påverka exponeringen för de ämnen som finns i luften i fartygets arbets- och personalutrymmen. Det finns förvånansvärt få vetenskapliga studier av innemiljö på fartyg.

Som exempel kan nämnas Orosa & Oliveira (2010) som handlar om termisk komfort på ett spanskt handelsfartyg. Där genomfördes mätningar av temperatur och relativ luftfuktighet i maskinrum och i maskinkontrollrum. Medelvärden för temperatur och relativ luftfuktighet var 33 °C och 25 % i maskinrummet och 20 °C och 41 % i maskinkontrollrummet. Från dessa data bestämdes motsvarande parametrar för termisk komfort, värmestress och grad av svettning. Skillnaden i temperaturen mellan maskinrummet och maskinkontrollrummet kan orsaka termisk chock för sjömän som förflyttar sig mellan dessa två arbetsutrymmen. Författarna drar en slutsats att arbetsperiod i maskinrum inte bör överskrida 17 minuter varpå arbetare ska tillbringa ungefär 10 minuter i det kallare maskinkontrollrummet.

Kim & Lee (2010) undersökte halter av flyktiga organiska ämnen (TVOC, Total Volatile Organic Compounds), formaldehyd, koldioxid, kolmonoxid och partiklar på två nya koreanska fartyg, ett passagerarfartyg och en oljetanker. Halter av flyktiga organiska ämnen var lägre än de rekommenderade koreanska standarder men de var högre på lastfartyget/oljetanker (medelvärde 2 500 µg/m³) än på passagerarfartyget (medelvärde 310 µg/m³). Formaldehydhalter var däremot högre på passagerarfartyget (medelvärde 29 µg/m³) än på lastfartyget (medelvärde 18 µg/m³). På lastfartyget blev halter av kolmonoxid (10 – 15 ppm) och koldioxid (1 200 – 1 800 ppm) förhöjda i byssan, maskinrum och maskinkontrollrum på grund av närvaro av förbränningskällor.

En svensk studie presenterar innemiljöundersökning på en ubåt (Persson m.fl., 2006) med avseende på koldioxid, flyktiga organiska ämnen, formaldehyd, kvävedioxid, ozon, partiklar, och mikrobiologisk kontaminering. Partikelhalterna var överlag låga med kortlivade toppar med jämförelsevis höga koncentrationer. Koncentrationerna av föroreningar mätta i denna studie tydde inte på en ansamling av farliga föreningar under åtta dagar nedsänkning.

En rapport från Arbets- och Miljömedicin i Göteborg (Forsell m.fl., 2012) har studerat koncentrationer och personalens exponering för NO₂ och formaldehyd efter att man rapporterade ansamling av cancerfall på en lotsstation. Exponeringen för kvävedioxid varierade mellan 13-153 µg/m³ med en medelxponering på 59 µg/m³, vilket var mycket låga halter i jämförelse med det svenska gränsvärdet på 2000 µg/m³. Exponeringen för formaldehyd varierade mellan 6-27 µg/m³ med ett genomsnitt på 13 µg/m³, vilket också låg under det gällande hygieniska gränsvärde på 370 µg/m³.

Luftkvaliteten på ett fartyg präglas nästan uteslutande av närvaron av ämnen som har sitt ursprung i fartygets bränsle, smörjoljor och motoravgaser (Langer m.fl., 2014). Luften innehåller en komplex blandning av främst koldioxid, kolmonoxid, svaveldioxid, ozon, kväveoxider (NO och NO₂) men också aromatiska kolväten såsom bensen, toluen, etylbensen,

xylen, raka alifatiska kolväten (med 6-20 kolatomer i kedjan) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och partiklar.

Projektet var ursprungligen indelat i tre faser: en detaljerad pilotstudie, följt av undersökningar på cirka 10 olika fartyg samt sammanställning av råd och rekommendationer om eventuella åtgärder för att säkerställa god inommiljö både på befintliga och planerade/nybyggda fartyg. Projektet ”God inommiljö på svenska fartyg” har genomförts med finansiering från AFA Försäkring och Stiftelsen IVL.

2 Projektets mål och metoder

Projektets mål är att öka kunskapen om luftmiljön ombord på fartyg och utveckla råd och rekommendationer om åtgärder för god inommiljö för fartygsägare och skeppsbyggare. Råden ska kunna användas både på befintliga fartyg och som underlag vid byggande av nya fartyg. Inom projektet har en enkel och kostnadseffektiv *metodik för undersökning av inommiljöer på olika fartyg* tagits fram. Projektet *identifierar förbättringspotential* för att uppnå god inommiljö på befintliga och nya fartyg.

Projektets mål uppnås genom att *kartlägga* gasformiga och partikulära luftföroreningar (i vissa fall också mikrobiell kontaminering) ombord i personalutrymmen och arbetsutrymmen på olika fartyg. Mätresultaten utvärderas mot befintliga nationella och internationella hygieniska gränsvärden och rekommenderade riktvärden för luftföroreningar i inomhusluft. Vidare analyseras vilka parametrar som hade störst betydelse för typ och halter av luftföroreningarna i fartygens inommiljöer.

3 Källor till och hälsoeffekter av luftföroreningarna

Epidemiologiska och toxikologiska studier visar på samband mellan exponering för luftföroreningar och hälsoeffekter. För många partiklar och gasformiga ämnen som förekommer i arbetsmiljöer finns internationella eller nationella hygieniska gränsvärden eller rekommenderade riktvärden som baseras på forskning. Exempel på luftföroreningar som kan förekomma på fartyg och som har gränsvärden eller riktvärden för arbetsmiljön är ozon (O₃), kvävedioxid (NO₂), svaveldioxid (SO₂), kolmonoxid (CO), flyktiga organiska ämnen (VOC), formaldehyd och benzo(a)pyren (en vanligt förekommande PAH), samt partiklar (damm).

3.1 Luftföroreningar med ursprung i utomhusluft

Kväveoxider NO och NO₂ bildas i förbränningsprocesser och ingår bland annat i avgaser från bilar och andra motordrivna transportmedel. Den primära kväveinnehållande förbränningsprodukten är kvävemonoxid (NO) som snabbt omvandlas till kvävedioxid genom reaktion med ozon. Svaveldioxid (SO₂) bildas i förbränning av svavelhaltigt bränsle. Både NO₂ och SO₂ irriterar ögonen, kan orsaka luftvägsinflammation, nedsatt lungfunktion och nedsatt immunförsvar.

Kolmonoxid (CO) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) bildas vid ofullständig förbränning (vid underskott av syre). PAH ingår också i vissa bränslen. CO är hälsofarligt genom att blockera blodets syreupptag och långtidsexponering kan leda till förvärrande av

hjärtsjukdomar. En del av PAH:erna är cancerframkallande. Lungcancer är den allvarligaste hälsoriskerna vid exponering för benso(a)pyren.

Marknära ozon är en del av s.k. fotokemisk smog. Ozon bildas genom en serie fotokemiska reaktioner (dvs. solljus initierar den kemiska reaktionen) i utomhusluft och tillförs inomhusmiljön via ventilationen. Ozon är irriterande för ögon, näsa och hals, orsakar andningsproblem och lungsjukdomar, ger försämrad lungfunktion och kan trigga astma.

Partiklar i olika storlekar förekommer i luften. Partiklar bildas genom olika mekanismer bl.a. i förbränningsprocesser. Beroende på partiklarnas storlek kan de nå mer eller mindre långt ner i luftvägarna och lungorna. Hälsoriskerna med partiklar beror till stor del på vilka ämnen som ingår i partiklarna och även på partiklarnas storlek. Det finns ett statistiskt samband mellan exponering för förhöjda partikelhalter i befolkningen och ökad sjuklighet och dödlighet. PM₁₀ och PM_{2,5} är partiklar med aerodynamisk diameter mindre än 10 µm respektive 2,5 µm. Nanopartiklar har storlek under 1 000 nm; partiklarna med aerodynamisk diameter < 100 nm kallas ultrafina partiklar.

3.2 Luftföroreningar med ursprung i inomhusluft

Flyktiga organiska ämnen (VOC) och formaldehyd har sina huvudsakliga källor inomhus. De avges från byggmaterial och inredning. Formaldehyd är en beståndsdel i lim som används i tillverkning av spånskivor och andra träbaserade kompositmaterial. Formaldehyd är irriterande och är klassad som cancerframkallande för människor av IARC (International Agency for Research on Cancer). Bensen kan avges från vissa bränslen och är ett av många ämnen som ingår i VOC. Exponering för förhöjda halter av bensen kan orsaka leukemi.

Luftföroreningarna kolmonoxid, NO_x, SO₂, PAH och flyktiga organiska ämnen kan också förekomma i inomhusluft på fartyg genom läckage från avgassystem samt förångning av ämnen från bränslen.

3.3 Luftföroreningar som alstras av människor

Människans utandningsluft innehåller många olika ämnen som försämrar inomhusmiljön, om de inte ventileras bort. Ett av dessa ämnen är koldioxid vars halt är en praktisk indikator på om ventilationen tillför tillräckligt mycket luft i lokaler där människors utandningsluft är den viktigaste koldioxidkällan. Folkhälsomyndigheten (FoHMFS 2014:18) ger allmänna råd om ventilation i bostäder och lokaler för allmänna ändamål. Om koldioxidhalten (som alstras av människor) i ett rum vid normal användning regelmässigt överstiger 1 000 parts per million (ppm), bör detta ses som en indikation på att ventilationen inte är tillfredsställande.

4 Lagar och guidelines om luftkvalitet och inomhusmiljö

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 om hygieniska gränsvärden (AFS 2011:18) i kraft även på fartyg, se Tabell 1.

I lokaler där luftföroreningar huvudsakligen uppkommer genom personbelastning kan koldioxidhalten användas som en indikator på om luftkvaliteten är tillfredsställande. I sådana lokaler ska en koldioxidhalt under 1000 ppm eftersträvas. Om koldioxidhalten i ett rum vid

normal användning regelmässigt överstiger 1 000 parts per million (ppm), bör detta ses som en indikation på att ventilationen inte är tillfredsställande (FoHMFS 2014:18, AFS 2011:18). Världshälsoorganisationen (WHO, 2005; WHO, 2010) och Umweltbundesamt (UBA) – den tyska motsvarigheten till Naturvårdsverket – har definierat så kallade riktvärden (guideline values) för ett urval relevanta luftföroreningar i inommiljöer: ozon, NO₂, SO₂, CO, partiklar PM₁₀ och PM_{2,5}, flyktiga organiska ämnen och formaldehyd. Dessa guidelines gäller främst för bostäder och andra icke-industriella miljöer.

Halter av flyktiga organiska ämnen i inomhusluft anges ofta som en summa av analyserade ämnen, s.k. TVOC (Total Volatile Organic Compounds). Det kan finnas omkring 6 000 ämnen av denna typ i inomhusluft och sammansättningen varierar mellan olika inommiljöer. 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.

Då ett fartyg inte bara är en arbetsmiljö utan även en boendemiljö så kan fartygets inommiljö även jämföras med genomsnittliga svenska bostäder. Luftkvalitet och inneklimat i svenska bostäder har tidigare undersökts och utvärderats med avseende på temperatur, luftfuktighet, luftomsättning, samt koncentrationer av NO₂, formaldehyd och TVOC (Langer and Bekö, 2013).

4.1 Inneklimat – temperatur, relativ luftfuktighet

Temperatur (T) och relativ luftfuktighet (RF) är tillsammans med luftkvalitet relevanta parametrar för inommiljön. Temperatur och RF är viktiga för upplevelse av komfort inomhus. De flesta människor upplever god termisk komfort inom temperaturintervallet 20–24 °C (SOFS 2005:15; FoHMFS 2014:17). Förhöjd temperatur (35–40 °C) leder till fysiska och fysiologiska symptom från obehag, koncentrationssvårigheter, risk för misstag i arbetet och risk för olyckor, störning av metabolism, överbelastning av hjärt-kärlsystem, trötthet och utmattnings

Hög luftfuktighet kan orsaka fuktproblem och ökad risk för mögelpåväxt. Rekommenderad luftfuktighet är 30–70 % relativ luftfuktighet (RF). Besvär orsakade av torr luft kan uppträda vid nivåer under 20 % RF och orsaka torra ögon, läppar, hud, och slemhinnor i näsan, allergi och andningsproblem, samt näsblod (SOFS 2005:15).

4.2 Gällande gränsvärden och riktvärden

I Tabell 1 har gränsvärden, riktvärden och guidelines för luftkvalitet och inommiljö sammanställts. Gränsvärden *får* inte överskridas. Riktvärden och guidelines *bör* inte överskridas. Gränsvärden finns av två typer, nivågränsvärden som är medelvärde för en hel arbetsdag och takgränsvärden som är medelvärden för 15 minuter (i några fall 5 minuter). Takgränsvärden finns enbart för ämnen som har akuta effekter.

Tabell 1. Sammanställning av rekommenderade riktvärden för god luftkvalitet i inomhus och på fartyg. Nästan alla riktvärden, gränsvärden och guidelines anger medelvärden för en viss tidsperiod. I tabellen anges den tid som respektive värde gäller för i kolumnen Medelvärdesperiod.

Parameter	Riktvärde inommiljö	Gränsvärde arbetsmiljö	Medelvärdesperiod	Referens
CO ₂ koldioxid	1 000 ppm	5 000 ppm	momentana halter hel arbetsdag	FoHMFS 2014:18 och AFS2011:18 AFS 2011:18
CO kolmonoxid	10 mg/m ³ = 9 ppm	35 ppm	8 timmar hel arbetsdag	WHO 2010 AFS 2011:18
NO kvävemonoxid	---	3 mg/m ³	hel arbetsdag	AFS 2011:18
NO ₂ kvävedioxid	40 µg/m ³ 60 µg/m ³	4 mg/m ³	1 år 24 timmar hel arbetsdag	WHO 2010 Miljökvalitetsnorm AFS 2011:18
SO ₂ svaveldioxid	20 µg/m ³	5 mg/m ³	24 timmar hel arbetsdag	WHO 2005 AFS 2011:18
O ₃ Ozon	100 µg/m ³	200 µg/m ³	8 timmar hel arbetsdag	WHO 2005 AFS 2011:18
TVOC	300 µg/m ³			UBA
Bensen	5 µg/m ³ 1,3 µg/m ³	1 500 µg/m ³	1 år hela livet* hel arbetsdag	Miljökvalitetsnorm Viktorin, 1998 AFS 2011:18
Benso(a)pyren	1,0 ng/m ³	2 µg/m ³	1 år hel arbetsdag	Miljökvalitetsnorm AFS 2011:18
Formaldehyd	100 µg/m ³	370 µg/m ³	30 minuter hel arbetsdag	WHO 2010 AFS 2011:18
Naftalen	10 µg/m ³	50 mg/m ³	1 år hel arbetsdag	WHO 2010 AFS 2011:18
PM _{2,5}	25 µg/m ³ 10 µg/m ³		24 timmar 1 år	WHO 2005 WHO 2005
PM ₁₀	50 µg/m ³ 20 µg/m ³		24 timmar 1 år	WHO 2005 WHO 2005

*låg-risk nivå

Det finns inget riktvärde för halten (antal) nanopartiklar. Masskoncentration av nanopartiklar ingår i riktvärdena för partiklar, PM_{2,5} och PM₁₀.

5 Fartygen

Undersökningen genomfördes som elva mätkampanjer på nio olika fartyg: en isbrytare, ett oljetankfartyg, ett bunkerfartyg, ett minröjningsfartyg, en korvett (ett örlogsfartyg), ett ubåtsräddningsfartyg, två ro-pax fartyg (passagerar- och bilfärjor) och ett kryssningsfartyg. På isbrytaren genomfördes mätningar två gånger: under vinter och sommar för att studera

årstidsskillnad. På kryssningsfartyget genomfördes mätningar vid två tillfällen: före och efter byte av bränsle.

Översiktlig sammanställning av fartygens tekniska parametrar såsom framdriftssätt, bränsle, längd, bredd och vikt finns i Bilaga 1.

6 Metoder

Projektet genomfördes i samråd med fartygens ägare, ledning och befälhavare. En pilotstudie genomfördes på isbrytaren under två perioder: vintern 2013 i Bottenviken och sommaren 2013 under en resa från Landskrona till Svalbard. Utvärdering av mätdata resulterade både i en sammanställning om inommiljön på isbrytaren och i en uppsättning av mätparametrar som var relevanta och praktiskt användbara på andra fartyg (Langer m.fl., 2014). Fartygen som ingick i studien om undersökning av luftkvalitet ombord identifierades med hjälp av referensgruppen och kontaktades skriftligt och muntligt av IVLs personal. Den skriftliga informationen som lämnades till ägarna och befälhavarna kan återfinnas i Bilaga 2.

6.1 Logistik med fartygsbesöken och mätpunkter

Mätningarna genomfördes huvudsakligen av IVLs personal. Besöken varade mellan 4 – 11 dagar beroende på respektive fartygs arbetsschema. Under tiden för mätningarna vistades mätpersonalen ombord och rörde sig på fartyget med assistans av personalen. Vistelsen var inte möjligt på örlogsfartyg; mätpersonalen installerade där en del av utrustningen vid mätplatserna, startade mätningen med instrument och instruerade en person ur besättningen hur instrumenten skulle hanteras. På flera fartyg tog besättningen ned provtagare som antingen hämtades av eller skickades till IVL.

Mätpunkter på fartygen valdes för att representera både arbetsmiljö och boendemiljö. Mätpunkter i fartygen var maskinrumsrelaterade utrymmen och personalutrymmen. Maskinrumsrelaterade utrymmen var maskinrum och i förekommande fall separatorrum. På isbrytaren valdes pannrum istället för maskinrum eftersom luften i pannrummet var representativ för maskinrummet. Brygga, däckskontor, manöverrum, maskinkontrollrum, stridsledningscentral och dykcentral representerar arbetsrelaterade/ kontorsliknande inommiljöer. Hytt, mäss (fartygsmatsal) och byssan (köket på fartygen) representerar personalrelaterade inommiljöer. En referensmätning gjordes utomhus på alla fartyg vid en plats skyddad från avgaser från skorstenen.

Samtliga mätpunkter var stationära, vilket innebär att resultaten inte är direkt jämförbara med hygieniska gränsvärden för arbetsmiljön. För jämförelse med hygieniska gränsvärden krävs personburna mätningar som speglar individens exponering för luftföroreningar.

6.2 Mätparametrar och mätstrategi

Inneklimatparametrar temperatur och relativ luftfuktighet (RF) samt halterna av koldioxid och kolmonoxid registrerades kontinuerligt med loggande sensorer. Temperatur, RF och CO₂ mättes oftast under hela mätperioden medan CO mättes under kortare tidsperioder.

Halterna av gaser (O₃, NO, NO₂, SO₂, TVOC, formaldehyd) samt PAH uppmättes med diffusiva provtagare, oftast under en vecka. Diffusiva provtagare behöver (tillskillnad från

aktiv provtagning) ingen pump eftersom gaserna tas upp i provtagaren genom s.k. molekylär diffusion av luft. Efter provtagningen analyserades proverna på labb och resultat visar medelvärden under provtagningstiden. PAH samlades i pilotstudien genom aktiv provtagning med en specialprovtagare gjord av glas och delar bestående av polyuretanskum (PUF) för gasformiga PAH och ett filter för partikelbundna PAH. Denna teknik visade sig för försiktighets- och arbetskrävande och därmed olämplig för mätningar på fartyg. Den byttes därför ut mot diffusiv provtagningsteknik för resterande mätningar. Provtagning med diffusiva provtagare pågick som regel under en vecka med undantag för korvetten (20 dagar). Exempel på provtagarna och hur de monterades i fartygen visas i Figur 1.



Figur 1. IVLs passiva provtagare ozon, kväveoxider, svaveldiodid, formaldehyd, flyktiga organiska ämnen och PAH (detaljer om diffusiv/passiv provtagning kan hittas i Ferm and Rodhe, 1997; Ferm, 2001).

Partikelhalten mättes kontinuerligt med direktvisande instrument kopplade till datalogger, som lagrade mätdata. Partiklar (PM_{10} och $PM_{2.5}$) samlades också genom pumpad provtagning genom storleksavskiljande impaktorer på teflonfilter och på kvartsfiler. Filterprover för partiklar togs under 24 timmar på varje mätplats. Filterprover användes för bestämning av PM_{10} och $PM_{2.5}$ (masskoncentration). Partikelprover uppsamlade på teflonfilter analyserades vidare med avseende på koncentrationen av grundämnen (i parentes källa till grundämnet): klor (havssalt), svavel, vanadin, nickel, järn, kalium, natrium (bränsle), kalcium, zink (smörjoljor) och kisel, aluminium, fosfor, koppar, bly (jordskorpan). Filterprover uppsamlade på kvartsfiler användes för bestämning av elementärt kol (EC) och organiskt kol (OC). PM_{10} filterprover samlades bara i pilotstudien.

Två direktvisande instrument användes i pilotstudien för kontinuerlig mätning av partikelhalten. Nanopartiklar mättes med en EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer). Med detta instrument mäts antal, massa och storleksfördelning av partiklar i storleksintervallet 5.6 – 560 nm. Partiklarna (antal, massa, storleksfördelning) i storleksområdet 0.3 – 20 μm mättes med en optisk partikelräknare Grimm. EEPS-instrumentet som är relativt stort och kräver en tränad operatör ersattes vid mätningarna på de andra fartygen med en handhållen direktvisande optisk partikelräknare P-trak som mäter totalt antal partiklar i intervallet ~ 20 – 1 000 nm.

Kulturer av luftburna mögelpartiklar samlades i pilotstudien med hjälp av en luftprovtagare där partiklar provtas på remsor med agarsubstrat. Remsan odlas sedan under en vecka varpå kolonier av mikroorganismer kan räknas och typbestämmas.

De kontinuerliga mätningarna gör det möjligt att dels beräkna medelvärdet för mättiden, dels att följa hur halterna varierar över tiden.

För detaljer om mätmetoder, provtagare och instrument, se Bilaga 3.

För de aktuella mätplatserna och mätperioderna, se Bilaga 4.

7 Resultat och diskussion

I följande avsnitt presenteras resultat för de enskilda inomhusmiljöparametrarna tillsammans med typiska exempel från mätningarna. Tabeller och diagram med individuella resultat utöver de som visas i detta kapitel presenteras i Bilagor. En sammanställning och analys av samtliga resultat från alla fartyg presenteras i ett kapitel 8 Multivariatanalys.

7.1 Temperaturer och relativ luftfuktighet

Både temperatur och RF var stabila över tid. De uppmätta temperaturerna och den relativa fuktigheten plottades mot varandra för att kunna bedöma vilka mätplatser som hamnade innanför respektive utanför komfortzonen, dvs. temperatur i intervallet 20 – 24 °C och RF i intervallet 30 – 70 %. Som jämförelse kan uppges att en genomsnittlig svensk bostad har en medeltemperatur på 22 °C och relativ luftfuktighet på 33 %. Tabell 2 och Figur 3 visar exempel av resultat från mätningen av temperatur och RF på isbrytaren under vinterkampanjen. Tabeller med numeriska värden (med standardavvikelse) tillsammans med plottar av RF och temperatur för alla andra fartyg finns i Bilaga 5.

Mätningarna är representativa bara för den aktuella mätperioden. Generellt var luften för varm och torr i maskinrum och separatorrum (om sådant fanns) på alla fartyg. Så var också fallet med alla andra utrymmen på isbrytaren under vinterkampanjen och några utrymmen under sommarkampanjen. Medelvärde för temperatur och RF för maskinutrymmen (maskinrum, separatorrum) på alla fartyg var (30 ± 5) °C respektive (29 ± 11) %.

Motsvarande siffror för alla andra inomhusmiljöer var (22 ± 2) °C och (38 ± 9) %. Utrymmen med temperatur och RF utanför komfortzonen på de andra fartygen framgår av diagram i Bilaga 5.

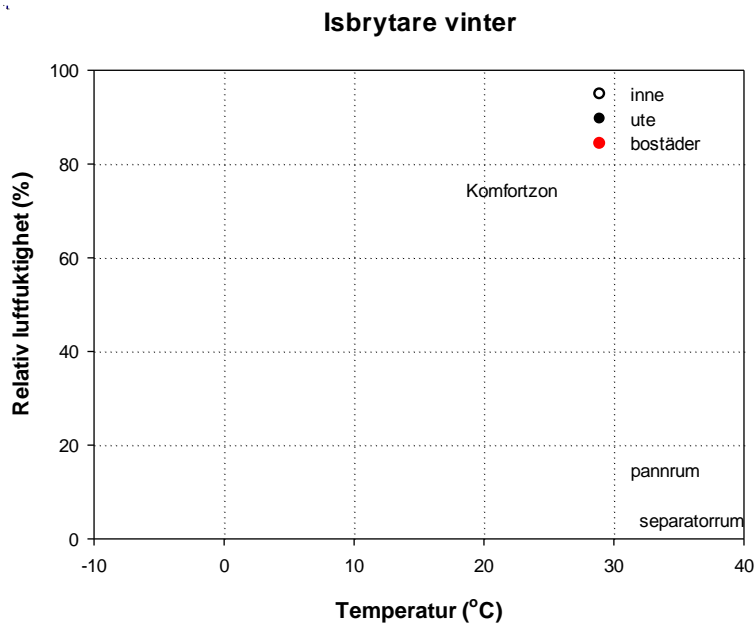


Figur 2. Sensorer för temperatur och relativ luftfuktighet i ett maskinrum (vänster bild, röd cirkel) och arbetet med mätningar i ett separatorrum. Den röda cirkeln markerar placering av diffusiva provtagare i separatorrummet

RF varierar med årstiden och temperaturer. Vintertid är RF vanligtvis låg och lägre ju kallare det är. Om luft värms, sjunker också RF.

Tabell 2. Medelvärden \pm standardavvikelse för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på isbrytaren under vinterkampanjen.

Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Pannrum	36,5 \pm 4,4	8,9 \pm 2,2
Separatorrum	30,4 \pm 3,1	15 \pm 2
Manöverrum	23,9 \pm 0,8	18 \pm 2
Brygga	19,3 \pm 1,7	22 \pm 3
Hytt	19,9 \pm 1,5	25 \pm 4
Mäss	22,5 \pm 2,4	19 \pm 3
Däckskontor	24,0 \pm 0,9	16 \pm 2
Ute	-4,8 \pm 5,4	84 \pm 5



Figur 3. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på isbrytaren under vinterkampanjen. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:2 i Bilaga 4).

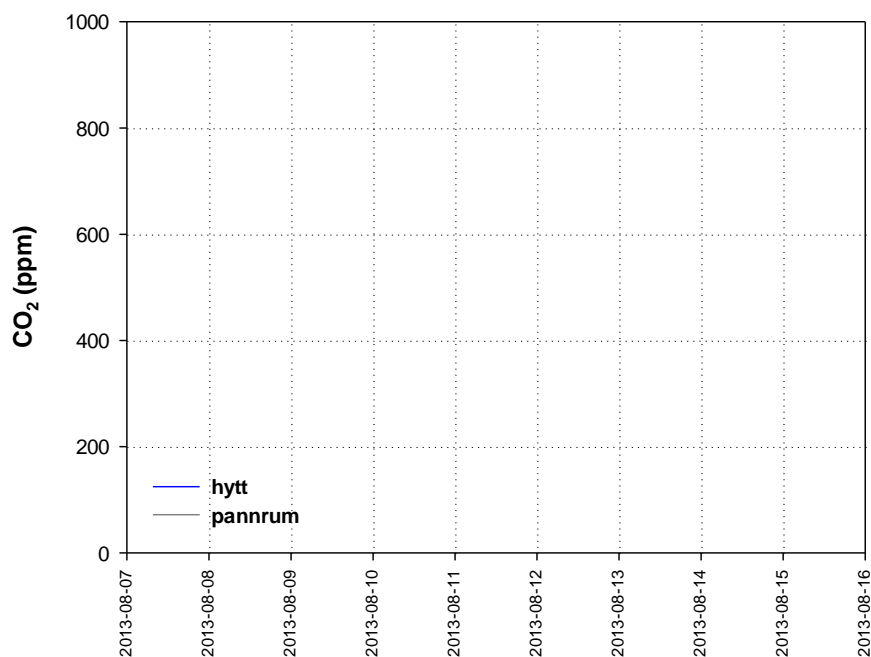
7.2 Koldioxid och kolmonoxid

I maskinrelaterade utrymmen som maskinrum, separatorrum och eventuellt maskinkontrollrum (korvetten och ubåtsräddningsfartyget) kunde koldioxidhalten nå upp till 2 000 ppm dock inte under mer än ett par minuter. Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärde (nivågränsvärde) på 5 000 ppm under en arbetsdag på 8 timmar har aldrig överstigits vid någon mätpunkt.

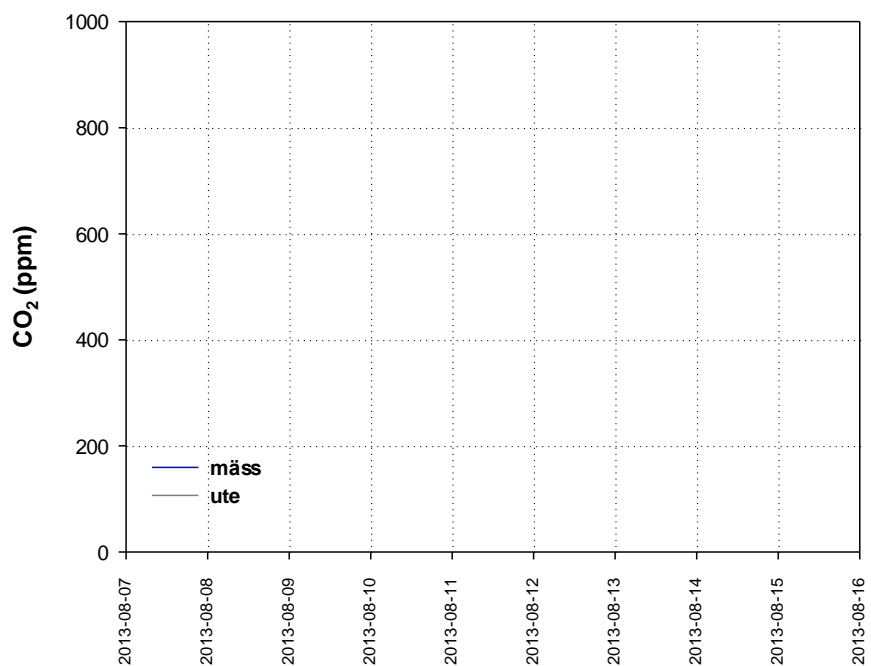
CO₂-halten översteg Folkhälsomyndighetens riktvärde på 1 000 ppm vid några tillfällen i mätpunkterna som representerar personliga utrymmen och arbetsrelaterade/kontorsliknande utrymmen. Som högst uppmättes ~ 1200 ppm, men enbart under någon enstaka minut. Därefter sjönk halten till under 1 000 ppm, vilket tyder på att ventilationen var tillräcklig för det antal personer som vistades i lokalerna under mätningen. Kontinuerliga mätningar av CO₂ visar hur halterna varierar över tiden. Tider då halterna är förhöjda över baslinjen på ~ 400 ppm (utomhusvärdet) indikerar närvaro av människor.

Medelvärden över mätperioder (med standardavvikelse) för CO₂-halter för alla fartyg och mätplatser finns i tabeller i Bilaga 6.

Ett typiskt exempel av variation av koldioxid vid olika inommiljöer på fartyg visas i Figur 4 och 5.



Figur 4. Typiskt exempel på tidsvariation av koldioxidhalten på under mätningar i hytten och pannrum på isbrytaren. Den aktuella mättiden framgår av diagrammets x-axel.



Figur 5. Typiskt exempel på tidsvariation av koldioxidhalten på under mätningar i mässen och i utomhusluft på isbrytaren. Den aktuella mättiden framgår av diagrammets x-axel.

Kolmonoxidhalten (CO) mättes under kortare tidsperioder, oftast under ett par timmar, på de flesta platser på alla fartyg. Som högst var halten 17 ppm i maskinrummet på korvetten,

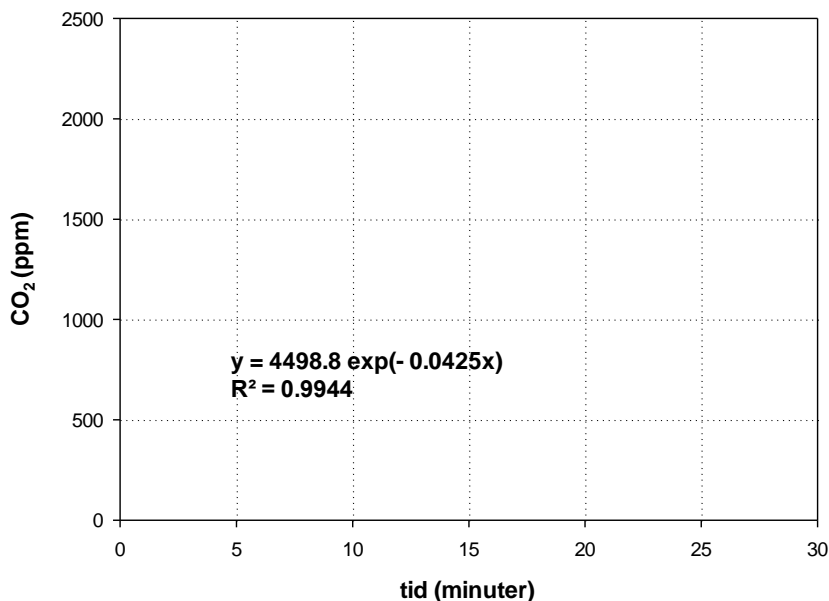
under ett par minuter. Medelvärden för CO låg mellan 0 – 1, 1 ppm. Dessa halter ligger väl under både Arbetsmiljöverkets gränsvärde för kolmonoxid (NGV = 35 ppm, medelvärde för 8 timmars arbetspass) och det av WHO rekommenderade riktvärdet för inomhusmiljöer (9 ppm, medelvärde under 8 timmar). Normalt sett förekommer inte halter över enstaka ppm i vanliga utrymmen där det inte finns några föroreningar eller förbränningsprocesser. Kolmonoxidhalter i utomhusluft överstiger sällan 1 ppm.

7.3 Ventilation

Bestämning av luftomsättning i de valda mätplatserna gjordes bara i pilotstudien på isbrytaren. Metoden är arbetsintensiv och därför tillämpades den inte på de andra fartygen. Som mått på ventilationens effektivitet kan man använda de genomsnittliga CO₂-halterna.

Luftomsättningen bestämdes genom en metod baserad på exponentiell avklingning av en spårgas – i detta fall valdes CO₂. Metoden är i detalj beskriven av Bekö m.fl. (2010). Man introducerar avsiktligt koldioxid i utrymmet ifråga från en gascylinder. Koncentrationen minskar med tiden med hastigheten som är exponentiellt proportionell mot luftomsättningen i rummet eller utrymmet.

Exempel från en mätning och den matematiska behandlingen visas i Figur 6.

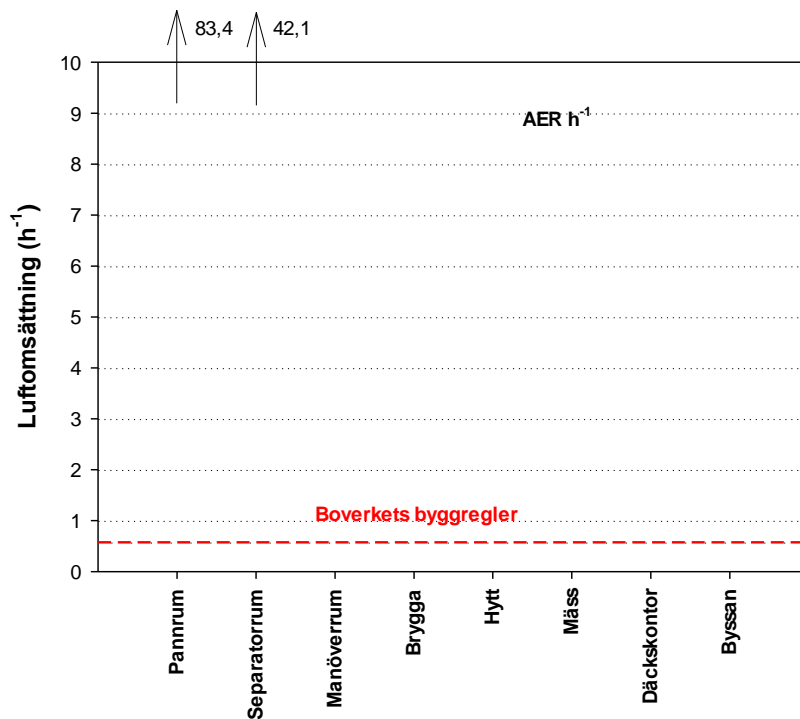


Figur 6. Exponentiell avklingning av CO₂ genom ventilationen. Exponenten är luftomsättning per minut; $0,0425 \times 60 = 2,55$ luftomsättningar per timma (h^{-1}). Mätningen från hytten på isbrytaren.

Figur 7 är en bild från genomförande av mätningarna och Figur 8 visar de aktuella luftomsättningarna på mätplatserna på isbrytaren. Både arbetsutrymmen och personalutrymmen var välventilerade. I maskinrummet (pannrum, separatorrum) är lufttillförseln dimensionerad för motorerna. Som jämförelse föreskriver Boverkets byggregler en luftomsättning för bostäder på $0,5 h^{-1}$ för bostäder.



Figur 7. Mätning av luftomsättningen på isbrytaren 6 augusti 2013.



Figur 8. Luftomsättningar (h⁻¹) vid mätplatserna på isbrytaren. Luftomsättning betecknas i litteraturen AER (Air Exchange Rate).

7.4 Mikroorganismer – levande mögelsporer

Provtagning av luftburet mögel utfördes på samtliga mätplatser på isbrytaren under både vinter och sommar. Efter ankomsten till laboratoriet inkuberades (odlades) proverna i 25°C och antalet levande sporer räknades genom att räkna antalet kolonier som bildats. Halten levande mögelsporer, angett som CFU/m³, d.v.s. antalet kolonibildande svampelement/m³ luft, beräknades. Artsammansättning av mikroflora identifierades. Under vinterkampanjen

varierade halten mögelsporer inomhus mellan 6 – 44 CFU/m³ medan uteprovet låg på 163 CFU/m³. På sommaren varierade halterna inomhus mellan 31 – 1 500 CFU/m³ och utomhus var halten 3 000 CFU/m³. Halterna inomhus bedömdes som låga. I genomsnitt var halten mögelsporer i inomhusmiljöer 13 % (vinter) respektive 15 % (sommar) av utomhushalten.

Det förekom inte några arter som tyder på problem med fukt och mögelpåväxt på isbrytaren. Provernas artsammansättning såg normal ut.

Denna undersökning är i likhet med bestämning av luftomsättningen ganska arbets- och kompetenskrävande och den utelämnades vid undersökningarna på de andra fartygen. Risken för mögelpåväxt ökar med relativ luftfuktighet, generellt anges en relativ luftfuktighet på 70 - 75% som ett kritiskt värde för mögeltillväxt. Med hänvisning till den låga uppmätta relativa luftfuktigheten bedömdes det därför inte finnas något behov av mätning av luftburna mögelpartiklar på de andra fartygen.

Mögelpåväxt kan också förekomma om det finns ytor där vatten kondenserar, exempelvis kalla ytor. Om misstanke om mögelpåväxt förekommer kan fartygsledningen kontakta en skadeutredare.

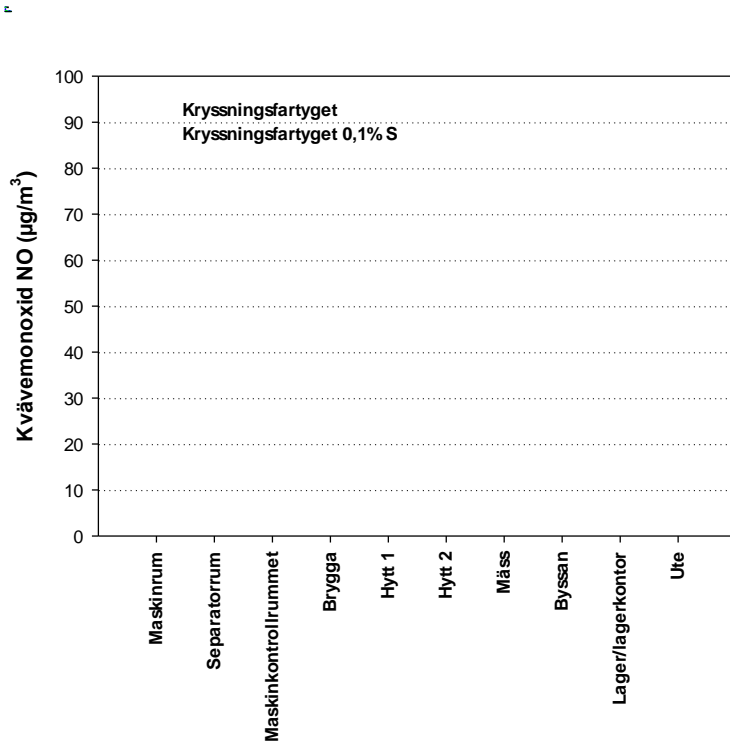
7.5 Kväveoxider och svaveldioxid

Resultat från mätningarna av kväveoxider NO och NO₂ samt svaveldioxid på kryssningsfartyget före och efter bytet av bränsle visas som typiska exempel från mätkampanjer på alla fartyg. Koncentrationerna av kväveoxid (Figur 9), kvävedioxid (Figur 10) och svaveldioxid (Figur 11) låg under riktvärdena för inomhusmiljöer i samtliga utrymmen (NO saknar dock riktvärde för inomhusluft). De förhöjda halterna av dessa tre luftföroreningarna i maskinrummet jämfört med maskinkontrollrummet, separatorrummet samt personalutrymmen kan förklaras av närvaro av avgaser från motorerna. Byte av bränsle på kryssningsfartyget påverkade främst halterna av kväveoxid och svaveldioxid, framförallt i maskinrummet. Förändringen av kvävedioxidhalten var inte stor.

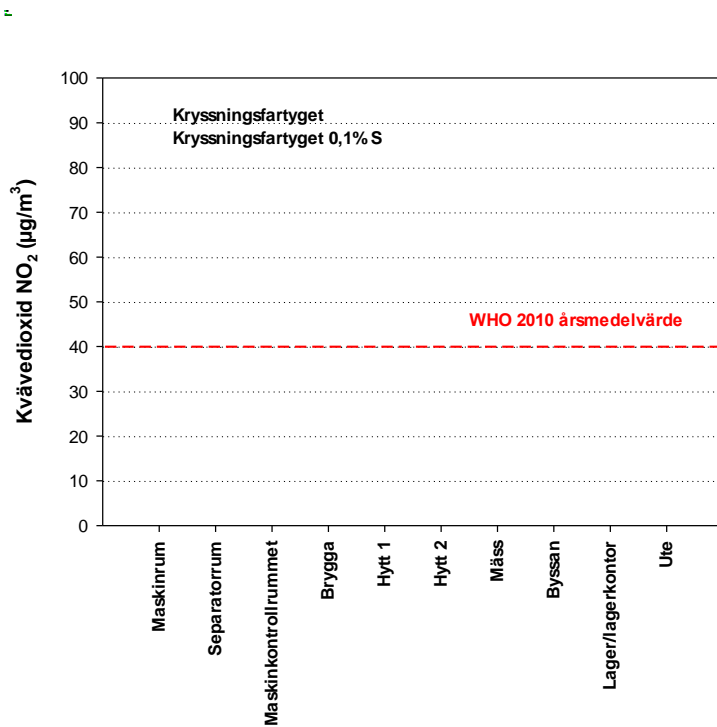
Medelvärdet av halterna i personalutrymmen på alla fartyg var NO (50 ± 66), NO₂ (24 ± 14) och SO₂ (2,1 ± 2,6), alla i µg/m³ under mätperioden (i regel en vecka). Riktvärdet för NO₂ i inomhusmiljöer är 40 µg/m³ (årsmedelvärde, WHO 2010) och för riktvärdet för SO₂ i inomhusmiljöer är 20 µg/m³ (24-timmars medelvärde, WHO 2005). Som jämförelse är kvävedioxidhalten 8 µg/m³ (medianvärdet) i genomsnittliga svenska bostäder (Langer & Bekö, 2013). Samtliga uppmätta halter i personalutrymmena låg väl under gällande riktvärden för inomhusmiljöer.

Medelvärdet av uppmätta halter i maskinutrymmen var NO (92 ± 133), NO₂ (38 ± 35) och SO₂ (6,5 ± 8,4), alla i µg/m³ under mätperioden (i regel en vecka). I maskinrummet är inomhusmiljögränsvärdena inte tillämpliga då det är en industriell miljö. Både kväveoxid-, kvävedioxid- och svaveldioxidhalterna låg med mycket god marginal under sina respektive hygieniska gränsvärden på 3 mg/m³ = 3 000 µg/m³, 4 mg/m³ = 4 000 µg/m³, respektive 5 mg/m³ = 5 000 µg/m³.

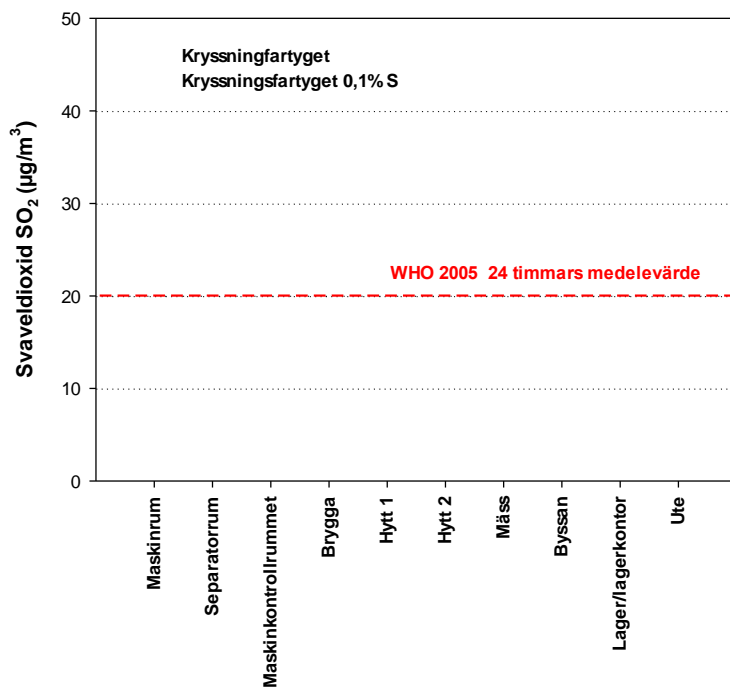
Numeriska värden för koncentrationerna av kväveoxider och svaveldioxid på samtliga platser på alla fartyg finns i Bilaga 7.



Figur 9. Koncentration av kvävemonoxid på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka). Riktvärde för NO i inommiljö saknas. Hygieniskt gränsvärde är $3 \text{ mg/m}^3 = 3\,000 \text{ µg/m}^3$.



Figur 10. Koncentration av kvävedioxid på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka). Riktvärde för inommiljö för NO₂ är 40 µg/m^3 som årsmedelvärde. Hygieniskt gränsvärde är $4 \text{ mg/m}^3 = 4\,000 \text{ µg/m}^3$.



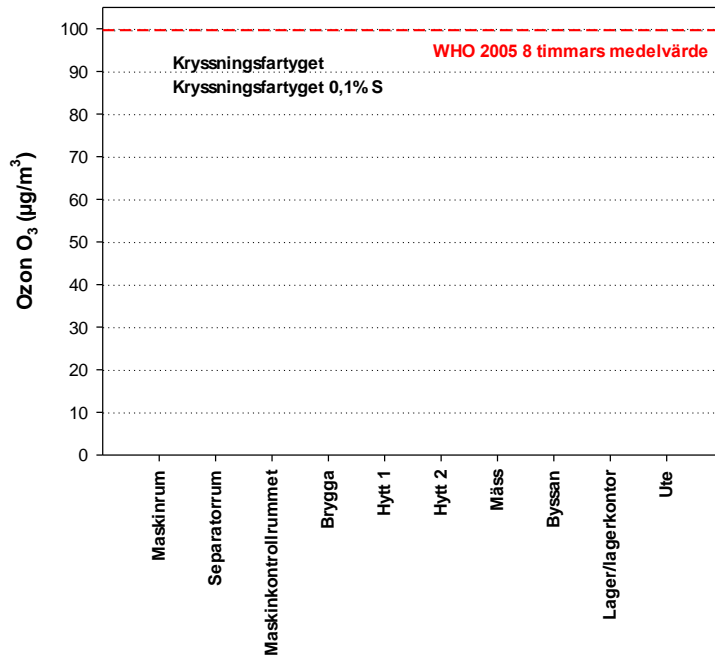
Figur 11. Koncentration av svaveldioxid på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka). Riktvärde för inommiljö för SO_2 är $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som 24-timmars medelvärde. Hygieniskt gränsvärde är $5 \text{mg}/\text{m}^3 = 5\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7.6 Ozon

Halterna av ozon var lägre än WHO:s riktvärde ($100 \mu\text{g}/\text{m}_3$) för god inommiljö och Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärde ($200 \mu\text{g}/\text{m}_3$) i samtliga utrymmen på alla fartyg. I Figur 12 redovisas resultat från en av mätningarna, från kryssningsfartyget.

Ozon alstras uteslutande i utomhusluft. Halterna i inommiljöer beror därför på halterna utomhus. Vid transport genom ventilationssystemet minskar normalt sett ozonhalten, eftersom ozonet är reaktivt och reagerar med andra ämnen i tilluften och med material och eventuella partiklar på ventilationskanalernas ytor. Detta förklarar varför de uppmätta halterna inomhus oftast var lägre än utomhus. Förutom de aktuella halterna brukar man visa på kvoten mellan koncentrationer i inomhusluft och i utomhushult, s.k. indoor-to-outdoor (I/O) ratio som har värden mellan 0 och 1. Man kan anta att i ventilationskanalerna med låga luftflöden (låg luftomsättning) kommer en större andel av ozonet att hinna reagera innan det passerat genom ventilationssystemet. Man kan därför anta att låg luftomsättning ger lägre I/O ratio för ozon än hög luftomsättning (Finlayson-Pitts och Pitts, 2000). Tabell 3 visar medelvärden för I/O kvoter för alla fartygen.

Ozonhalt i utomhusluften varierar kraftigt i tid och rum, bland annat beroende på årstid och förekomst av luftföroreningar som bidrar till bildning respektive förbrukning av ozon. Sommartid är ozonhalten vanligtvis högre än vintertid. Under sommarhalvåret mellan åren 2000 och 2011 var de maximala dygnsmedelvärdena (dvs ett medelvärde per år) av ozon i genomsnitt $80 \mu\text{g}/\text{m}_3$ i Sverige. Skillnaderna i ozonkoncentrationerna både i utomhusluft och i luft på fartygen mellan de olika mätkampanjerna har troligen orsakats av variationen av ozon i utomhusluften.



Figur 12. Koncentration av ozon på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka). Riktvärde för innemiljö för O₃ är 100 µg/m³ som 8-timmars medelvärde.

Tabell 3. Kvoter mellan inomhus och utomhus halter av ozon. Medelvärden över samtliga mätplatser på de enskilda fartygen. Numeriska värden för ozonkoncentrationerna på samtliga platser finns i Bilaga 7.

Fartyg	I/O kvoten ozon
Isbrytare vinter	0.35
Isbrytare sommar	0.33
Oljetankfartyg	0.41
Bunkerfartyg	0.55
Minröjningsfartyg	0.70
Korvett	0.42
Ubåtsräddningsfartyg	0.55
Ro-pax fartyg 1	0.88
Ro-pax fartyg 2	0.78
Kryssningsfartyg	0.66
Kryssningsfartyg 0,1% S	0.78

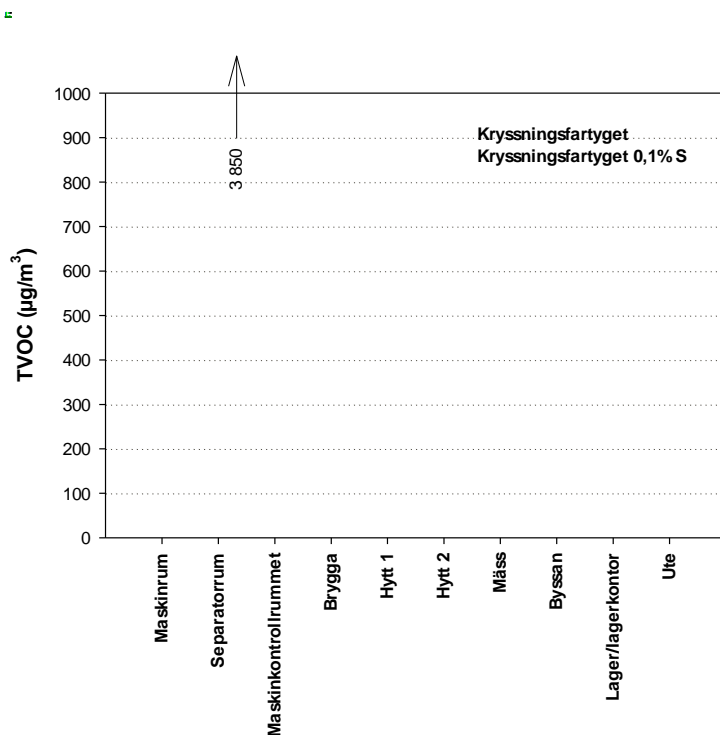
7.7 Kolväten: TVOC, bensen och formaldehyd

Numeriska värden för koncentrationerna av TVOC, bensen och formaldehyd från samtliga platser finns i Bilaga 8.

TVOC är en summa av alla påvisade flyktiga organiska ämnen i ett prov och saknar ett yrkeshygieniskt gränsvärde. Däremot har den tyska myndigheten Umweltbundesamt rekommenderat

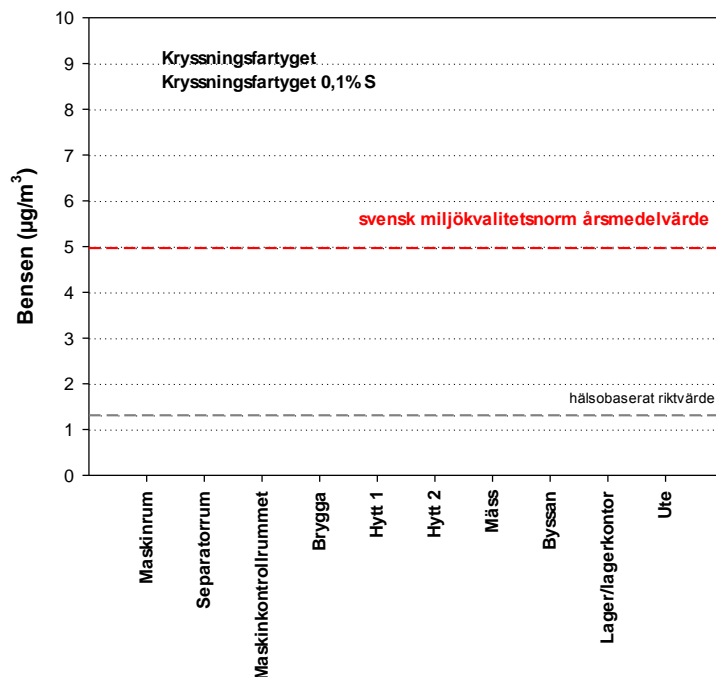
derat ett riktvärde för inomhusluft på $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Medelvärdet av halterna av flyktiga organiska ämnen i personalutrymmen på alla fartyg var TVOC (150 ± 110) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ under mätperioden. Medelhalten av TVOC på fartygen låg alltså under detta riktvärde. Som jämförelse ligger koncentration av TVOC (median) i genomsnittliga svenska bostäder på $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Langer & Bekö, 2013).

Medelvärdet av halterna av flyktiga organiska ämnen i maskinutrymmen på alla fartyg var TVOC ($2\,700 \pm 2\,900$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ under mätperioden. Höga halter av organiska ämnen uppstår vid hantering av bränsle och oljor. Sammansättning av VOC i utrymmen med anslutning till motorerna speglade kolväten förekommande i bränslet (aromatiska och alifatiska kolväten). I dessa miljöer är riktvärdet för inommiljö inte tillämpligt. Istället bör relevanta hygieniska gränsvärden tillämpas. Eftersom det inte finns något hygieniska gränsvärde för TVOC, ska istället hygieniska gränsvärden för respektive ämne eller ämnesgrupp som ingår i TVOC användas, se nedan. Figur 13 är ett typiskt exempel från mätningarna av TVOC.



Figur 13. Koncentration av TVOC på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka).

Medelvärdet av bensenhalten i personalutrymmen på alla fartyg var $0,7 \pm 0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under mätperioden. Medelvärdet av bensenhalten i maskinutrymmen på alla fartyg var $2,4 \pm 2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under mätperioden. Halten av bensen (Figur 14 är ett exempel från mätningar på kryssningsfartyget) låg med mycket god marginal på alla mätplatser under det hygieniska gränsvärdet för bensen ($1\,500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) och också under den svenska miljö kvalitetsnormen för utomhusluft ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) som används för jämförelse i avsaknad av annat relevant riktvärde för inommiljö. De uppmätta halterna i inommiljöer låg i nivå med eller under det hälsobaserade riktvärdet ($1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) som enligt Viktorin (1998) gäller som medelvärde för livslång exponering. För jämförelse ligger bensenhalten (median) i svenska bostäder på $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alltså något över det hälsobaserade riktvärdet (Langer & Bekö, 2013).



Figur 14. Koncentration av bensen på kryssningsfartyget. Medelvärden under mätperioden (en vecka).

Formaldehyd mättes i samtliga utrymmen på isbrytaren under båda kampanjerna och på några utvalda platser på de andra fartygen (se Bilaga 8 för de aktuella mätplatserna och mätresultat). Halter av formaldehyd från samtliga platser låg med god marginal under det av WHO rekommenderade riktvärde ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) för god inommiljö och Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärde ($370 \mu\text{g}/\text{m}^3$) i samtliga utrymmen där mätningen genomfördes. Formaldehyd avges normalt från träbaserade produkter såsom spånskivor. Medelvärdet var $1,5 \pm 0,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i maskinutrymmen och $3,3 \pm 2,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i inommiljöer. Som jämförelse ligger medelhalten av formaldehyd i svenska bostäder på $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

7.8 Benso(a)pyren och naftalen

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) består av ett antal ämnen med 2 – 6 så kallade aromatiska ringar. PAH ingår i bränslet och bildas också vid ofullständig förbränning. Tyngre PAH, bland annat benso(a)pyren betraktas som mer hälsofarliga än lättare PAH.

Medelhalten av benso(a)pyren från mätplatserna i inommiljöer ($0,02 \pm 0,02 \text{ ng}/\text{m}^3$) låg med god marginal under den svenska miljö kvalitetsnormen för utomhusluft ($1 \text{ ng}/\text{m}^3$) som används för jämförelse i avsaknad av annat relevant riktvärde. Observera att den svenska miljö kvalitetsnormen gäller ett årsmedelvärde och ett dygnsmedelvärde inte är direkt jämförbart med miljö kvalitetsnormen. Halterna av benso(a)pyren i maskinutrymmen ($0,2 \pm 0,6 \text{ ng}/\text{m}^3$) låg med mycket god marginal under det hygieniska gränsvärdet ($2\ 000 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Naftalen, en lätt PAH, utgjorde cirka 30 % av de analyserade PAH-ämnena. Medelvärdet för naftalen i maskinutrymmen ($2 \pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vilket med mycket god marginal underskrider Arbetsmiljöverket gränsvärde ($50 \text{ mg}/\text{m}^3 = 50\ 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Medelvärdet för naftalen i

inneklimat (0,2 ± 0,3 µg/m³) låg långt under WHO:s riktvärde (10 µg/m³) för allmänutrymmen.

Resultat från PAH-mätningarna finns i Bilaga 9.

7.9 Partiklar PM₁₀ och PM_{2.5}

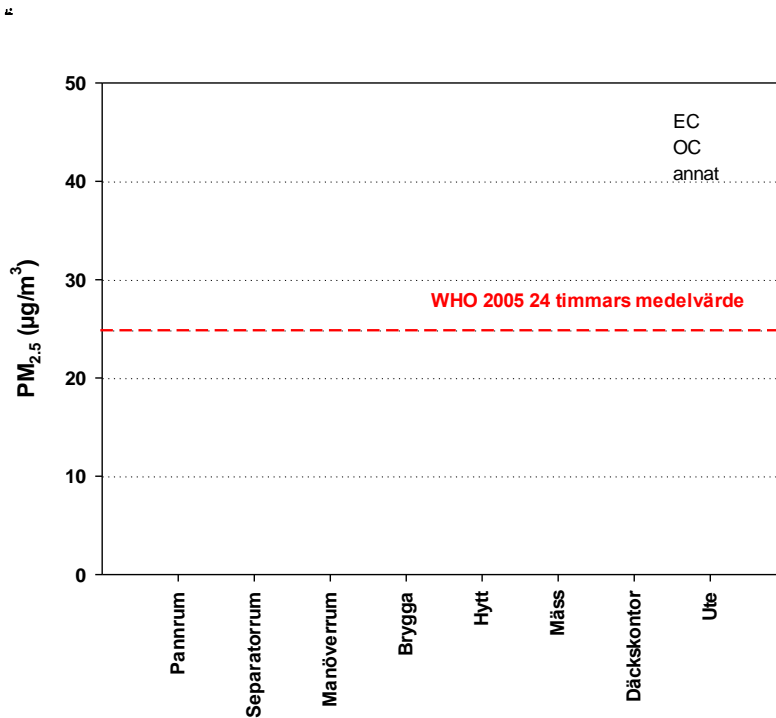
Mätningen av partiklar mindre än 10 µm (PM₁₀) gjordes med en direktvisande optisk partikelräknare. En inbyggd mjukvara räknar om antal uppmätta partiklar med aerodynamisk diameter < 10 µm till partikelmassa per m³. Medelhalten av partiklar mindre än 10 µm (PM₁₀) uppmättes till (24 ± 27) µg/m³ i maskinutrymmen och (13 ± 15) µg/m³ i inneklimat. I personalutrymmen låg medelpartikelhalten under det rekommenderade riktvärde (24 timmars medelvärde) för PM₁₀ på 50 µg/m³ (WHO 2005).



Figur 15. Bilder från mätningar: pumpad provtagning av partiklar i ett maskinrum (vänster). Mätningar av nanopartiklar med Engine Exhaust Particle Sizer (EEPS) instrumentet i maskinkontrollrummet (höger).

Mätningen av partiklar mindre än 2,5 µm (PM_{2.5}) gjordes under 24 timmar då partiklar uppsamlades på ett filter genom en storleksavskiljande impaktor. Partiklarna analyserades med avseende på elementärt kol (sot) och organiskt kol (svårflyktiga organiska ämnen). De olika delarna av staplarna i Figur 16 är ett typiskt exempel av resultat från mätning av PM_{2.5} och visar (nedifrån) andelar av elementärt kol (EC), organiskt kol (OC), dvs. organiska ämnen som befinner sig i fast fas och inte som gaser (oljedimma); resten är andelen av PM_{2.5} med okänd sammansättning. Andelsfördelning är typisk för alla fartyg då partiklarna i maskinutrymmen till största del består av organiskt kol.

Den uppmätta medelhalten av partiklar mindre än 2,5 µm (PM_{2.5}) var (16 ± 12) µg/m³ i maskinutrymmen och (7,2 ± 6,5) µg/m³ i inneklimat. Medelhalterna för PM_{2.5} låg under WHO riktvärde (24 timmars medelvärde) på 25 µg/m³ i alla personalutrymmen.



Figur 16. Masskoncentration av PM_{2.5}. EC – elementärt kol, OC – organiskt kol. Medelvärden för provtagning under 24 timmar. Exempel från isbrytaren, sommarkampanjen.

De uppmätta partikelhalterna (både PM₁₀ och PM_{2.5}) ligger med mycket god marginal under relevanta hygieniska gränsvärden för partiklar i arbetsmiljön, t.ex. gränsvärden för oorganiskt och organiskt damm mätt både som inhalerbart damm (NGV = 10 mg/m³ = 10 000 µg/m³) och respirabelt damm (NGV = 5 mg/m³ = 5 000 µg/m³).

Resultat från partikelmätningarna finns i Bilaga 10. De numeriska värdena för nanopartiklar visas för fullständigheten skull (de senare användes i principalkomponentanalys, se avsnitt 8). Halter av nanopartiklar anges i som antal partiklar per luftvolym (antalkoncentration). Dessa partiklar mättes under kortare perioder (några timmar) med ett direktvisande instrument. Koncentrationerna av nanopartiklar (antal partiklar/cm³) i Bilaga 10 är medelvärden för mätperioden. Nanopartiklar har inget hygieniskt gränsvärde eller rekommenderat riktvärde vare sig för utemiljö eller inommiljö. Halter uppmätta i bostäder och skolor ligger på 7 – 16 x 10³ partiklar/cm³ och 8 – 19 x 10³ partiklar/cm³ i utomhusluft (Morawska m.fl., 2013).

8 Principalkomponentanalys

Principalkomponentanalys (Principal Component Analysis, PCA) är en robust standardmetod för att beskriva och visualisera den dominerande strukturen i ett multivariat dataset där data har linjär respons. PCA tillämpades på resultat från alla fartyg för att identifiera gemensamma drag - grupperingar och korrelationer/beroende mellan fartygets tekniska parametrar, typ av inommiljö och halter av luftföroreningar.

Målet med analysen var att svara på frågorna:

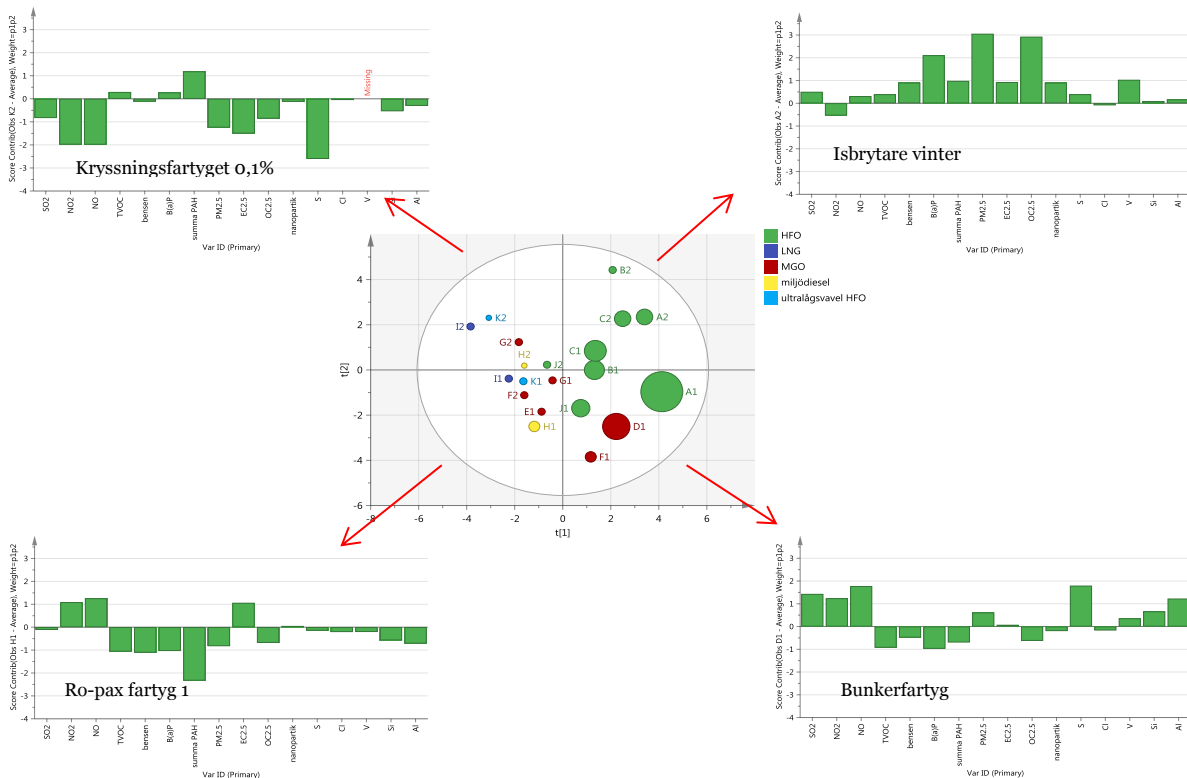
- Hur och varför skiljer sig typ och koncentration av olika luftföroreningar mellan fartygen?

- Vad avgör om det blir högre eller lägre halter av vissa luftföroreningar på några fartyg och inte på andra?

Mätplatserna skiljde något mellan fartygen beroende på funktion och hur fartyget var utformat men vissa utrymmen undersöktes på alla fartyg. Dessa utrymmen var: maskinrumsrelaterade: maskinrum och separatorrum samt inommiljöer maskinkontrollrum, bryggan, hytt och mäss.

De ingående parametrarna i PCA var fartygens tekniska parametrar så som ålder (tillverkningsår eller år då fartyget togs i bruk), framdrivningssätt, typ av bränsle, och luftföroreningarna SO₂, NO₂, NO, TVOC, bensen, summa PAH, benso(a)pyren; partiklarna PM_{2.5} och nanopartiklar; elementärt och organiskt kol i PM_{2.5}; grundämnen i PM_{2.5}: svavel (från bränsle), klor (från havssalt), vanadin (från bränsle) samt kisel och aluminium (beståndsdelar av jordskorpan). Separat beräkning gjordes för halter av partiklarna PM_{2.5} med deras kemiska sammansättning; elementärt och organiskt kol, klor (havssalt), svavel, vanadin, nickel, järn, kalium, natrium (bränsle), kalcium, zink (smörjolja) och kisel, aluminium, fosfor, koppar, bly (jordskorpan) för att undersöka om partiklarna var olika i maskinutrymmen respektive inommiljöer.

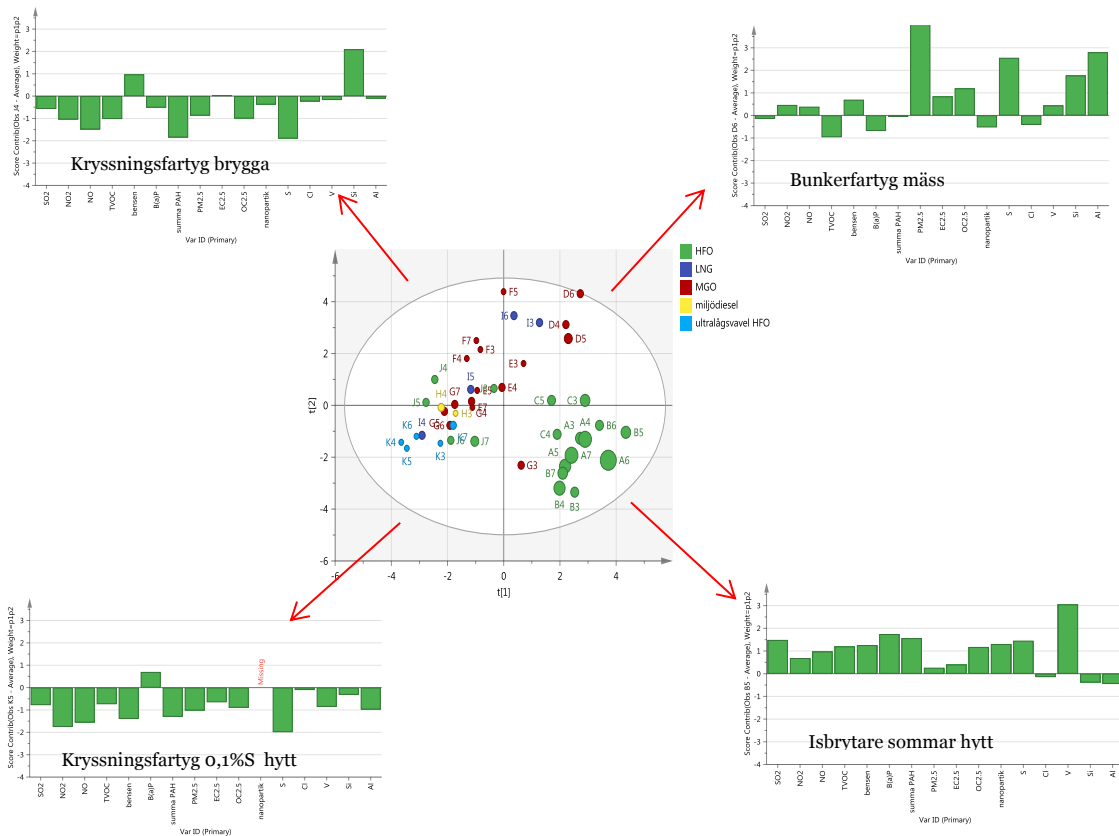
PCA ger en grafisk illustration av hur de olika beskrivningsvariablerna förhåller sig till varandra och till respektive objekt i en studie. Så kallad "score plot" (cirkeln med färgade punkter) visar hur observationer ligger i förhållande till varandra och så kallad korrelationsplot (gröna staplar) visar hur de olika luftföroreningarna från en mätplats på ett fartyg skiljer sig från genomsnittliga halter från alla mätplatserna på alla fartyg; dvs. vilka föroreningar som finns i högre eller lägre halter på de givna mätplatserna.



Figur 17. Principalkomponentanalys för luftföroreningarna i maskinutrymmen. Storlek på punkterna i mittencirkel indikerar varierande koncentration av svaveldioxid.

Figur 17 visar att luftkvaliteten i maskinutrymmen beror främst på typ av bränsle. Fartygen med HFO i den högra delen av figuren har högre halter luftföroreningar än fartygen som använde marin gasolja, marindiesel eller LNG. Avvikelser från genomsnittshalter (gröna staplar) är på en relativ skala. Dock visade analysen inte någon tydlig korrelation mellan bränsletyp och halter av luftföroreningar rent allmänt. Det är tydligt att t.ex. isbrytaren (HFO som huvudbränsle) i maskinutrymmen hade högre halter partiklar och PAH medan bunkerfartyget (MGO) hade förhöjda halter av SO₂, NO₂ och NO från förbränningsprocessen. Å andra sidan fanns det lägre halter av de flesta luftföroreningarna både på kryssningsfartyget (ultralågsavligt HFO) och på ro-pax fartyget som använde marindiesel som bränslet.

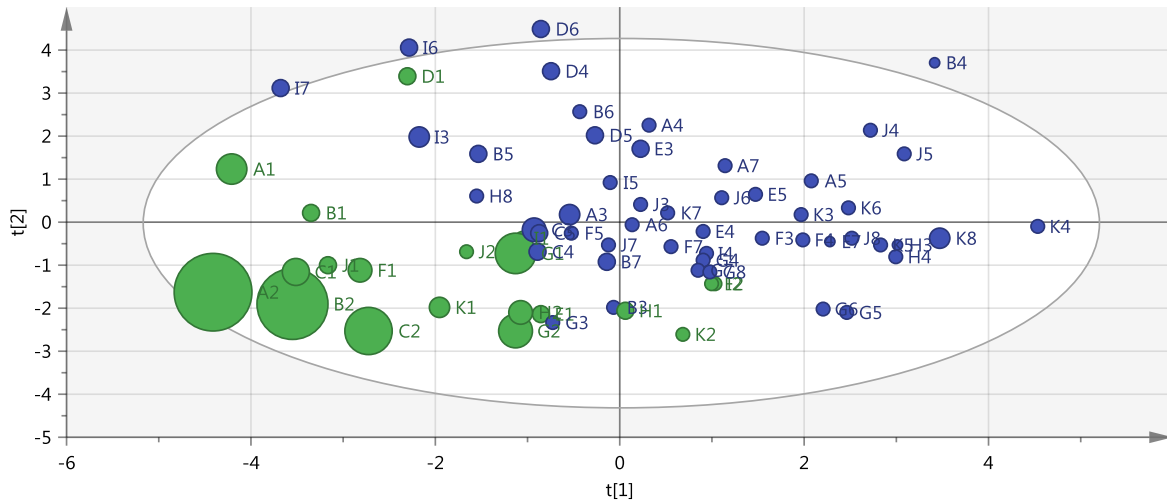
Innemiljöer på fartyg är vanligtvis fysiskt separerade från maskinutrymmen genom golv, väggar och dörrar. Det betyder i praktiken att luftföroreningarna från maskinrummet kommer in i inommiljöer via utomhusluft och ventilationsanläggningar. Utomhusluften i den närmaste omgivningen av fartyg innehåller luftföroreningarna från fartygets avgassystem (skorstensar) och dessa luftföroreningar tillförs inommiljön via ventilationen.



Figur 18. Principalkomponentanalys för luftföroreningarna i inommiljöer. Storlek på punkterna i mittencirkel indikerar varierande koncentration av svaveldioxid.

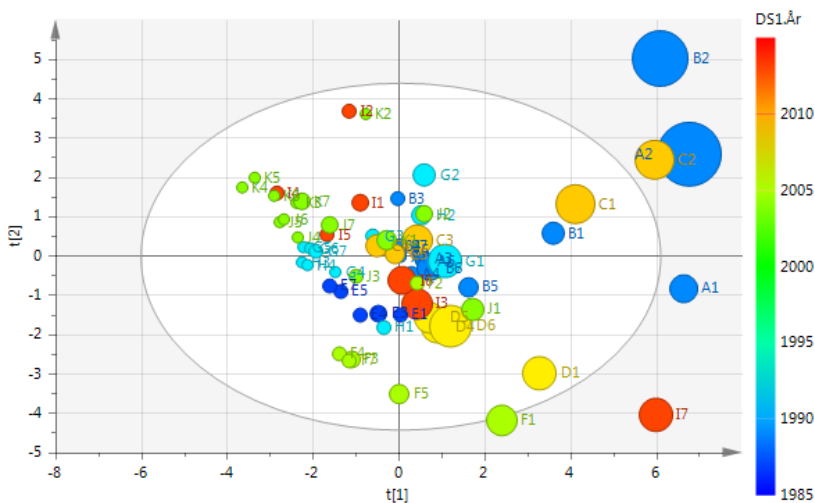
Korrelationsplottar (gröna staplar) i Figur 18 visar fördelning av luftföroreningar jämfört med genomsnittliga halter från alla mätpunkterna (relativt värde) i inommiljöer. Den troliga förklaringen till fördelning i "Score-plotten" är graden av kortslutning mellan avgasutsläpp och tilluft (dvs. hur mycket av avgaserna kommer in med tilluften), hur effektiv

ventilationssystemets luftrening är samt aktiviteterna i de olika inommiljöerna. På bryggan förekommer sällan någon aktivitet som astrar luftföroreningarna. Däremot i mässen, som oftast gränsar till byssan, speciellt på mindre fartyg, kan matlagningen bidra till t.ex. partikelhalter (t.ex. mässen på bunkerfartyget). Trots att typ av bränsle var den parameter som hade störst betydelse för luftkvalitet på fartyg så är det inte entydigt och halterna kan bero på andra parametrar eller processer.



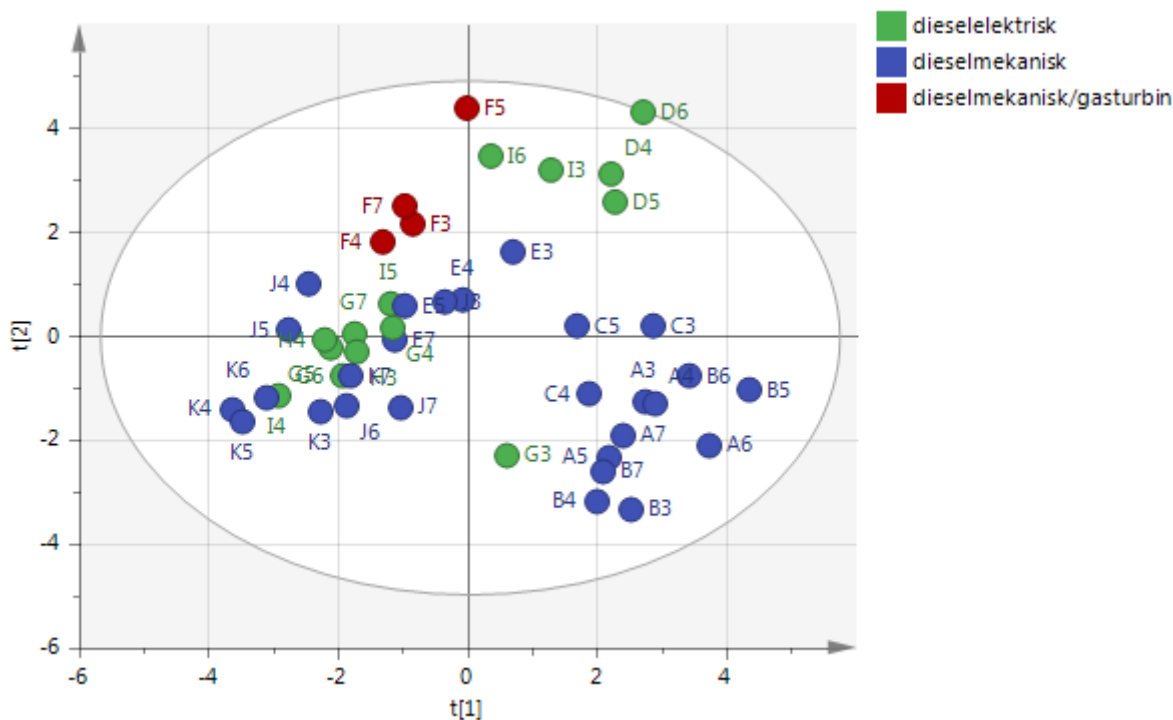
Figur 19. Principalkomponentanalys för partiklarna PM_{2.5} enligt den kemiska sammansättningen. Storlek på punkterna indikerar varierande koncentration av organiskt kol i partiklarna. Gröna punkter: maskinutrymmen; blåa punkter: inommiljöer.

Principalkomponentanalys för partiklar PM_{2.5} inklusive deras kemiska sammansättning, sot (elementärt kol), organiskt kol samt utvalda grundämnena (Figur 19) visar en tydlig skillnad mellan partiklarna i maskinutrymmen och i inommiljöer. Det är inte förvånande att partiklarna i maskinutrymmen har en annan kemisk sammansättning p.g.a. närvaro av förbränningsprocesser, bränslen och smörjoljor än partiklarna i inommiljöer.



Figur 20. Principalkomponentanalys för alla parametrar och observationer (mätpunkter förutom ute) enligt ålder. Storlek på punkterna visar, som exempel, varierande halter av PM_{2.5}.

Fartygets ålder påverkade inte inommiljö och luftkvalitet. Det blev ingen tydlig fördelning i de olika PCA-kvadranterna i "score-plotten" i Figur 20. Både äldre och nyare fartyg är osystematiskt utspridda över hela cirkeln.



Figur 21. Principalkomponentanalys för inommiljö på fartygen enligt framdrivningsätt.

Till skillnad från fartygens ålder påverkade framdrivningsättet fartygens inommiljö tydligt, vilket illustreras i Figur 21. Framdrivningsätt sammanfaller med typ av bränslet (Figur 18) där fartyg med dieselmekanisk framdrivning använde HFO (MGO för korvetten, fartyg F) som drivmedel och fartyg med dielelektrisk framdrivning använde MGO, marin diesel eller LNG som bränslet. Kodning av de individuella mätplatserna framgår av Tabeller 4:2 till 4:12 i Bilaga 4. Tjockolja (HFO) betraktas som ett "smutsigare" bränsle än de andra sorterna gasolja (MGO), marin diesel (MDO) eller biogas (LNG). Principalkomponentanalys påvisade att även om luftkvalitet i inommiljöer påverkades av bränsletypen så fartygen med HFO som drivmedel hade både sämsta och bästa inommiljö. Bränslets betydelse för inommiljön diskuteras vidare i nästa avsnitt.

Korrelationsdiagrammen (gröna staplar) från maskinutrymmen och inommiljöer från alla fartyg finns samlade i Bilaga 11.

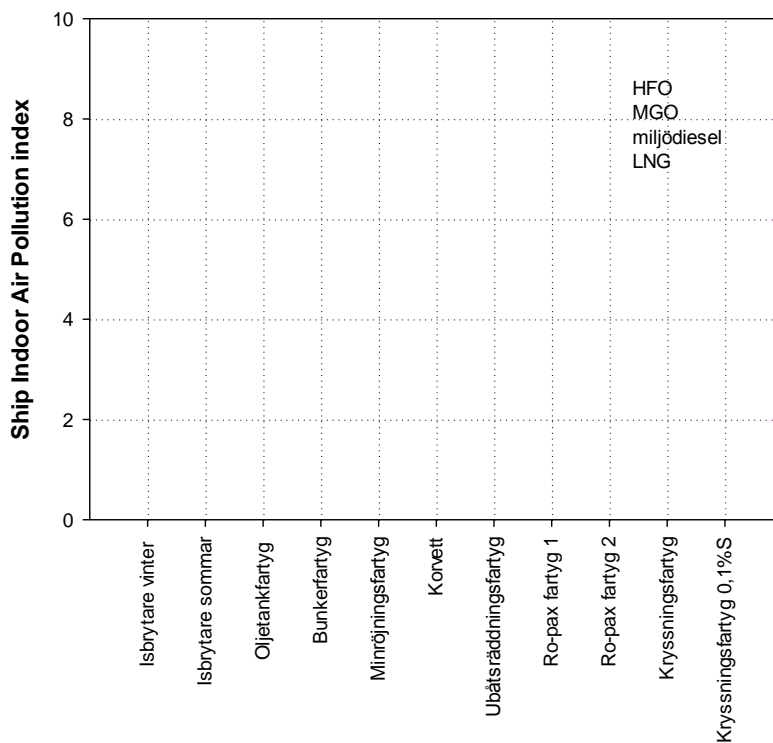
9 Indoor Air Pollution Index för fartyg

För att kunna jämföra luftkvalitet på de undersökta fartygen har vi använt konceptet luftföroreningsindex, Indoor Air Pollution Index. Detaljerad beskrivning av hur indexet är framräknat finns i Bilaga 12.

Indexet bygger på utvalda luftföroreningar med framtagna rekommenderade riktvärden för inommiljö (från Tabell 1): organiska ämnen TVOC, bensen och benso(a)pyren, oorganiska luftföroreningarna NO₂ och SO₂ samt partiklar PM₁₀ och PM_{2.5}. Del-indexen beräknas för varje parameter separat och sedan beräknas medelvärderadet för varje typ av förorening (organiska, oorganiska, partiklar) och varje mätplats på varje fartyg. Det slutliga indexet SIAPI (Ship Indoor Air Pollution Index) för varje fartyg beräknades som medelvärden från alla mätplatserna på respektive fartyg. Resultaten presenteras i Figur 22 där färgerna på staplarna indikerar bränsletypen.

Figur 22 visar att fartyg med dieselelektrisk framdrift med MGO eller miljödiesel men också ro-pax fartyget som använder gas (LNG) hade medelhöga index. Fartygen med dieselmekanisk framdrivning och HFO-bränslet hade både högst (isbrytaren, oljetankfartyget) och lägst (kryssningsfartyget med HFO och ultralågsavlig HFO) index. Det fanns förväntningar att ro-pax fartyget som drevs av gas skulle ha betydligt lägre halter luftföroreningar i inommiljöer. Indexet visar att så inte är fallet. Att fartyget fraktar fordon på ett slutet bildäck kan möjligen förklara föroreningshalterna och därmed nivån på indexet.

4



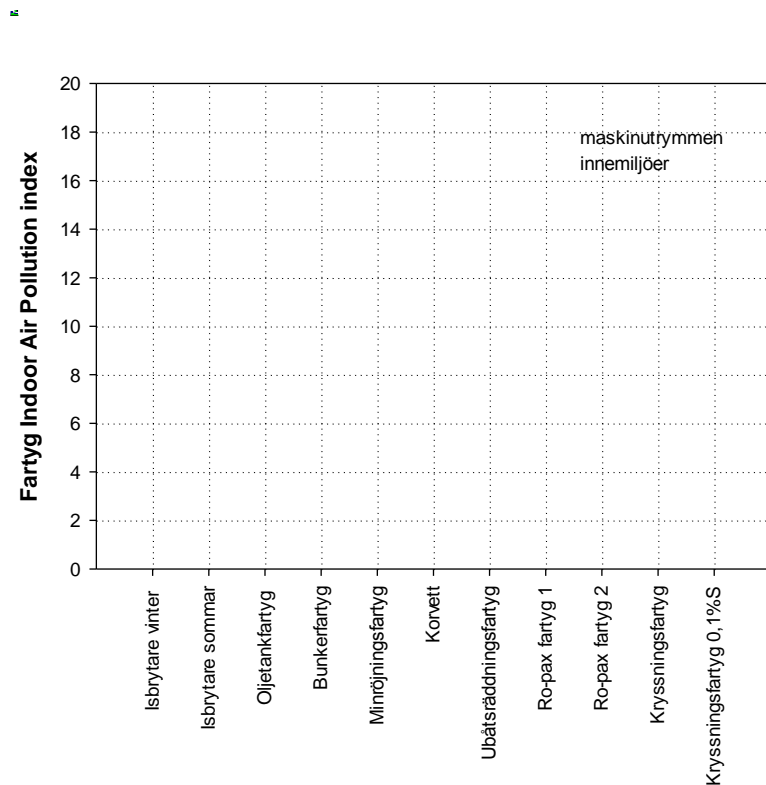
Figur 22. Indoor Air Pollution Index för hela fartyg.

Analys av SIAPI gjordes för studera skillnader mellan maskinutrymmen och inommiljöer. Blå staplar i Figur 23 visar SIAPI medelvärden för maskinrum och separatorrum, gröna staplarna är SIAPI medelvärden för maskinkontrollrum, brygga, mäss och hytt, samma mätplatser som valdes för principalkomponentanalyserna.

Indexet, dvs. luftföroreninghalten, var lägre eller mycket lägre i inommiljöerna jämfört med maskinutrymmen på alla fartyg. Det största bidraget till indexet i maskinutrymmen utgjordes

av höga halter av TVOC i separatorrummen. Detta resultat är inte förvånande med tanke på att i separatorrummen behandlas organiska blandningar såsom bränslen och smörjoljor.

Ro-pax fartyg 2 (LNG bränsle) som förutom passagerare även fraktade fordon hade mera förorenade inommiljöer än kryssningsfartyget som inte tog fordon ombord men använde tjockolja som bränsle. Detta resultat är något förvånande.



Figur 23. Indoor Air Pollution Index fördelade på maskinutrymmen och inommiljöer.

10 Råd och rekommendationer

Resultaten visar att luftkvaliteten överlag är god på de undersökta fartygen men att det finns utrymme för förbättringar. Eftersom samtliga uppmätta halter ligger under eller med god eller till och med mycket god marginal under gällande riktvärden och hygieniska gränsvärden drar vi slutsatsen att luftmiljön inte utgör någon hälsofara för de som arbetar och vistas ombord på fartyg.

Även om luftkvaliteten inte utgör någon hälsorisk, kan den ha betydelse för upplevelsen av inommiljön och även för arbetsprestation. För att förbättra kvaliteten på fartygens inommiljö, arbets- och boendemiljö lämnas följande förslag på tekniska och organisatoriska åtgärder vid nybyggnation och för befintliga fartyg.

10.1 Åtgärdsförslag för befintliga fartyg

För att förbättra inommiljön kan följande kontrolleras och vid behov kan de åtgärder som beskrivs nedan vidtas:

Kontroll och underhåll av ventilationssystem

För att säkerställa en god luftkvalitet, tillräcklig luftomsättning och att luftföroreningar fångas upp på ett effektivt sätt behöver de olika ventilationssystemen ombord kontrolleras och underhållas regelbundet. Det gäller såväl system för allmänventilation som för processventilation och punktutsug i verkstäder, färgförråd, kök, m.m. Personalen behöver också ha god kännedom om hur systemen fungerar och ha tillgång till skriftliga instruktioner där det tydligt framgår hur det enskilda systemet fungerar, hur service och underhåll utförs på ett säkert sätt, samt felsökningsschema.

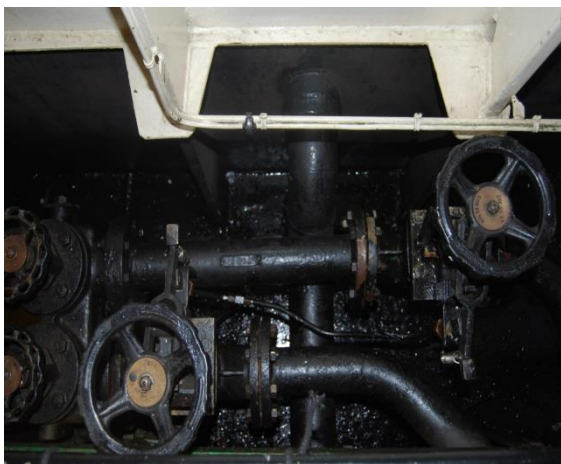
För att minska spridningen av damm och skadliga ämnen kan handverktyg som t.ex. svetsmunstycken, slipmaskiner och kapmaskiner utrustas med integrerade utsug som effektivt fångar upp luftföroreningar. Integrerade utsug fångar föroreningar nära källan, innan de hunnit spridas i arbetslokalen.

Ordning och reda

Generellt är det viktigt med rutiner för ordning och reda och hygien i både arbets- och boendetrymmen. Eftersom fartygsarbete innebär att många människor vistas inom relativt begränsade ytor har tidigare forskning visat att det t.ex. finns en ökad risk för smittspridning av infektionssjukdomar (Kak, 2007). Dålig ventilation, bristande underhåll av ventilationssystemen, bristfällig städning eller felaktiga städmetoder kan öka risken för hälsobesvär. Bra rutiner för städning håller nere partikelhalten, då damm fungerar som en partikelreservoar från vilken nya partiklar ständigt virvlar upp. Med fungerande rutiner för rengöring av lokaler och utrustning blir det också lättare för den personal som utför städningen att utföra ett bra arbete.

Ordning och reda underlättas av att det är klart och tydligt var utrustning, verktyg, material mm ska förvaras och att ”var sak har sin plats”. På arbetsplatser där personalen ofta byts ut är det viktigt att dessa rutiner är tydliga, så att de kan tillämpas av alla, även de som tillfälligt vistas på arbetsplatsen (Alvarez de Davilla m.fl., 2002: Tuttawa).

I kontorsmiljöer är det bra att exempelvis se till att sladdar till datorer och annan utrustning är uppsamlade i särskilda rännor eller med buntband och se till att hålla bordsytor rena så att det går att torka av och hålla rent.



Figur 24. Några exempel om hur det inte ska vara.

De högsta halterna av skadliga ämnen uppmättes i fartygens maskinutrymmen, särskilt i separatorrummet. Här är det därför viktigt att ha rutiner för att så långt som möjligt minska exponeringen från ångor från fartygets bränsle och smörjoljor. Tanktak och spilltråg behöver rengöras regelbundet och läckor tätas. Åtgärda även mindre läckor från ventilspindlar, axeltätningar på pumpar och dylikt. Även om det är utrymmen där det inte är tänkt att personal stadigvarande ska vistas under arbetstid så förekommer det ändå att maskinpersonal vistas många timmar i sträck i dessa utrymmen t.ex. vid rengöring och service av filter, bränsle- och smörjoljeseparatorer och annan utrustning. Själva rengöringsarbetet bör därför utföras i särskilt rengöringsrum, i den mån det är möjligt att flytta på det gods som ska rengöras. Stora kar med dieselolja för rengöring ska undvikas och istället bör andra och mindre hälsofarliga rengöringsmetoder och rengöringsmedel användas.

Personlig skyddsutrustning

För att minska risken för ohälsa och olycksfall rekommenderas att åtgärder vidtas enligt den så kallade åtgärdstrappan där åtgärder fokuserar på att främst eliminera, minimera och minska användning och spridning av farliga ämnen. Det sista steget på åtgärdstrappan är användning av personlig skyddsutrustning. Den personliga skyddsutrustningen ska väljas och vara utformad för att passa den person som ska bära utrustningen och ska vara anpassad för det arbete som ska utföras. För mer detaljerad information om val av andningsskydd, se gärna IVLs hemsida för kunskap och information om andningsskydd: www.andningsskydd.nu/.

10.2 Åtgärdsförslag vid nybyggnation av fartyg

Redan på planeringsstadiet är det viktigt att beakta hur fartyg och utformas och vilken utrustning som väljs. Särskilt viktigt för inommiljön är

- valet av framdrivningssystem och bränsle,
- ventilationsarrangemang,
- utformning av arbetsplatser i maskinutrymmen där de högsta halterna av luftföroreningar har uppmätts

Framdrivningssystem och bränsle

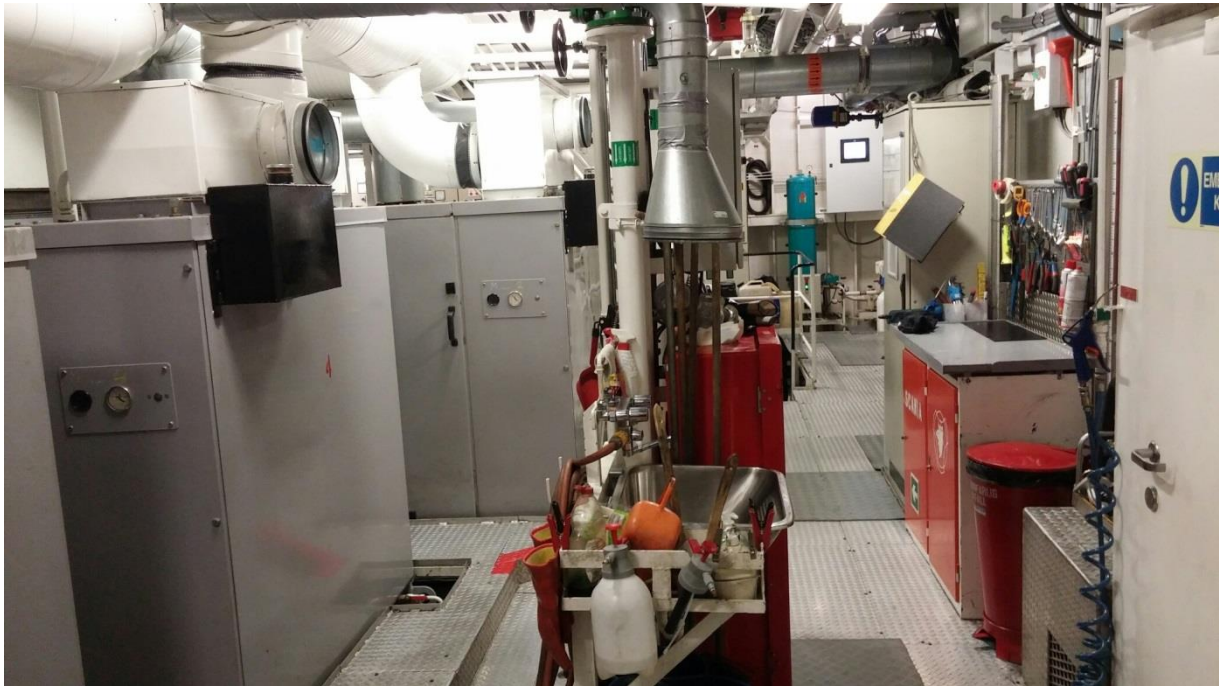
Mätningarna visade att luftkvaliteten ombord i hög grad påverkas av vilket bränsle som används för framdrivnings- och hjälpmotorer. Utöver de förbättringar av luftkvaliteten som kunde konstateras vid användning av LNG, MDO och MGO så innebär dessa bränsletyper även andra förbättringar för arbetsmiljön. Bland annat kan underhålls- och rengöringsintervall på filter och separatorer förlängas, och själva arbetet kan också utföras på kortare tid eftersom rengöringen blir avsevärt enklare. Fartyg som kör på HFO kräver också mer tid och användning av mer och starkare kemikalier för rengöring av durkar, spilltråg och annan utrustning.

Ventilationsarrangemang

För ventilationsarrangemang finns idag vissa specifika regler, t.ex. för placering av avluftningar av vissa tankar i förhållande till friskluftintag. På svenska fartyg finns också krav på särskild processventilation i verkstäder, kök och färgförråd där blandning av färg utförs. Även för de tankar där det inte finns särskilda krav bör avluftningarnas placering och dess förhållanden till luftintag nogga övervägas.

Utformning av arbetsplatser och boendemiljöer

Redan på planeringsstadiet är det viktigt att säkerställa att alla vanligt förekommande arbeten kan utföras på ett säkert och effektivt sätt. Maskinrum behöver utrustas med ett särskilt rengöringsrum dit filter, separatordelar och andra maskindelar kan transporteras med lyftanordning för rengöring. Det kan anordnas antingen genom lyftbalkar som löper genom maskinrummet och rakt in i rengöringsrummet, eller med pallyft. Rengöringsrummet ska vara väl ventilerat och på ett sådant sätt så att inte överluften går ut i angränsande maskin- och personalutrymmen. Rengöringsrummet bör också ha tillgång till varmt och kallt vatten, tryckluft och uttag för högtryckstvätt.



Figur 25. Välutformat maskinrum på ett nyare fartyg, dieselelektrisk framdrivning med gasolja som drivmedel.

Lokaler behöver också vara utformade och dimensionerade för normal städning. Bland annat måste det finnas tillräckligt svängrum för att komma åt med städvagn, dammsugare och annan utrustning som krävs. Även tillgång och placering av spygatter och annan avrinning behöver planeras. Fria durkytor underlättar rengöringen och i toalett- och duschutrymmen underlättas rengöringen med väggmonterad toalettstol och tvättställ.

11 Slutsatser

Resultat presenterade i denna rapport bidrar till ökat kunskapsunderlag inom ett område som har varit mindre utforskat, nämligen inommiljö och luftkvalitet på fartyg. Genom mätningar av både gasformiga och partikulära luftföroreningarna samt parametrar som definierar inneklimat (temperatur, relativ luftfuktighet) har inommiljö och luftkvalitet kartlagts på nio fartyg med olika funktioner, framdrivningssätt, bränsle, ålder och tonnage. Ett fartyg undersöktes en gång under vinterperioden och en gång under sommaren och ytterligare ett fartyg undersöktes före och efter byte av bränslet. Mätningarna genomfördes både i rena arbetsrelaterade utrymmen (maskinrum) och inommiljöer med kontorsliknande

utrymmen (kontrollrum, brygga) och mera renodlade inomhusmiljöer såsom hytt, mäss, byssan. Totalt har mätningarna utförts på mer än 70 mätplatser inne på fartygen och vid alla mätkampanjer utfördes även mätningar på utomhusluften.

Kartläggningen. Innomhusmiljö var bra på alla undersökta fartyg. Halter av luftföroreningar i arbetsmiljöer låg under eller mycket under Arbetsmiljöverket hygieniska gränsvärden. Halter i inomhusmiljöer jämfördes med rekommenderade riktvärden för god och hälsosam inomhusmiljö. Halterna i inomhusmiljöer där den huvudsakliga föroreningskällan var personbelastningen, låg också under dessa rekommenderade riktvärdena.

Termisk komfortzon som är framtagen för bostäder användes för att utvärdera inneklimat på mätplatserna ombord på fartyg. Temperatur och relativ luftfuktighet i maskinrum och separatorrum låg utanför komfortzonen på nästan alla fartyg. Andra mätplatser på fartygen hade för det mesta behaglig temperatur och luftfuktighet; det fanns dock några undantag t.ex. hytter och kontorsrum på kryssningsfartyget under kampanjen efter bränslebytet eller alla mätpunkter på isbrytaren under vintermätningar. Luften var i dessa fall för torr. Man rekommenderar inga åtgärder för att öka luftfuktigheten, eftersom sådana åtgärder riskerar att skapa betydligt allvarigare problem i form av tillväxt av mikroorganismer. Torr luft kan leda till besvär i form av torra slemhinnor och luftvägar. Många märker dock inte ens av låg luftfuktighet (ner till 15-20 % RF).

Luftomsättningen som är ett mått på väldimensionerad ventilation har enbart undersökts på isbrytaren vid sommarkampanjen. På de andra fartygen har ventilationssystemens effektivitet bedömts genom mätning av koldioxidhalten. Riktvärdet på 1 000 ppm har inte överskridits under längre tidsperioder vilket betyder att ventilation var dimensionerad väl för det antalet personer som vistades i lokalerna och att den fungerade väl.

Halter av formaldehyd som kan vara problematiskt i bostäder, kontor och skolor men var obefintliga på fartygen. Mögel var inte heller något problem; mögelpåväxt och spridning av mögelsporer gynnas av fuktiga miljöer. Den relativ luftfuktighet på fartyg var oftast (för) låg för att gynna tillväxt av mögel. Det går dock inte att utesluta att mögel kan växa till på kalla ytor där det förekommer kondens.

Övervakningsmetodiken. Inom projektet har vi utvecklat en metodik för övervakning av luftkvalitet på fartyg. Vi rekommenderar att vid behov av inomhusmiljöundersökningar på fartyg använda ett ”mätkit” bestående av instrument och provtagare för att mäta temperatur, RF och CO₂ samt NO_x (NO och NO₂). CO₂-mätningen är ett bra mått på ventilationens effektivitet i relation till personbelastningen vilket är en viktig parameter för inomhusmiljöer. Spridning av kväveoxider som är typiska förbränningsprodukter kan tyda på felaktig placering av friskluftsintag till inneutrymmen.

För maskinrum rekommenderas mätningar av NO och NO₂ och TVOC. Förhöjda halter av kväveoxider kan tyda på ”kortslutning” mellan avgassystemet och maskinutrymmen. Förhöjda halter av flyktiga organiska ämnen tyder på avgasning från bränslen, smörjolja och lösningsmedel. Om luften annars upplevs som besvärande, rekommenderas istället insatser som beskrivits ovan för att bland annat förbättra ventilationen och att minska eventuella läckage av ångor till maskinrummet och liknande utrymmen.

Det är också möjligt att ”betygsätta” luftkvalitet ombord på ett fartyg för att t.ex. kunna jämföra med fartygen från denna studie genom tillämpningen av SI-API (Ship Indoor Air

Pollution Index). Användning av detta index kräver dock omfattande mätningar, vilket vanligtvis kan vara svårt att genomföra. Detta kräver tillämpning av ett ”mätkit” i basversionen bestående av temperatur, RF, TVOC, CO₂ och NO_x utökad med SO₂, bensen (ingår i TVOC), benzo(a)pyren (ett PAH) samt PM₁₀ och PM_{2.5} (enkelt direktvisande instrument).

Fartyg med dieselmekanisk framdrift och tjockolja (HFO) som bränsle hade både det sämsta och det bästa luftkvalitet inom alla undersökta fartyg. Huvudsakligen var halterna av flyktiga organiska ämnen kraftigt förhöjda framförallt i separatorrummen. Innommiljö på fartyg med dielelektrisk framdrift som drevs med gasolja, miljödiesel eller biogas (LNG) var betydligt bättre med avseende på flyktiga organiska ämnen men andra luftföroreningarna bidrog till de samlade halterna av luftföroreningarna. Allmänt kan konstateras att tekniska parametrar som hade störst betydelse för luftkvaliteten i inommiljö och arbetsmiljö var typ av bränslet för maskinutrymmen och framdrivningssätt med tillhörande bränsle för andra inommiljöer.

Årstiden hade inte någon större betydelse på nivåer av luftföroreningarna på det undersökta fartyget (isbrytaren). Byte av bränslet från normal tjockolja till ultralågsvislig tjockolja medförde en förbättring av luftkvalitet på det givna fartyget (kryssningsfartyget); t.ex. halten av sot i partiklarna PM_{2.5} var lägre och index för luftkvalitet på fartyget (FIAPI) var också något lägre.

Åtgärdsförslag för att uppnå god och bättre inommiljö på fartyg. Dessa förslag bygger på tekniska och organisatoriska åtgärder för både befintliga och nyproducerade fartyg. Gemensamt gäller att väl designade och underhållna ventilationssystem är grunden till god inommiljö både i maskinutrymment och i inommiljöer. Fartygen med mekanisk framdrift som använde tjockolja som bränslet hade både den ”sämsta” och den ”bästa” inommiljö som illustrerar vikten av hur ventilationssystemet är utformat med avseende på placering av avluftningar från maskinrum i förhållande till uteluftsintag till inommiljöer.

På befintliga fartyg kan det vara svårt att ändra utformningen av fartyget och då gäller som regel att man bör eftersträva ordning och reda och god hygien för att förekomma uppkomst och spridning av luftföroreningar. Speciellt viktig är att avlägsna källor till avdunstningar från fartygets bränsle och smörjolja i maskinrum och att inrätta ett speciellt välventilerat rengöringsrum för rengöring och service av filter, bränsle- och smörjoljeseparatorer och annan utrustning. Detta gäller också vid design av nya fartyg. Allmänt gäller att utrymmen ska vara utformade för god städbarhet.

Referenser

- AFS 2011:18. Hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd om hygieniska gränsvärden. Arbetsmiljöverket, Stockholm.
- Alvarez de Davilla E., Birgersdotter L., Antonsson A.B., 2002. Tuttava på svenska. Ett arbetsmaterial om ordning och reda för småföretag. IVL rapport B1453.
- Bekö G., Lund T., Nors F., Toftum J., Clausen G., 2010. Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. *Building and Environment* 45, 2289 - 2295.
- EMEP 2014. Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components. Report 1/2014
- Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N., Jr., 2000. Chemistry of the upper and lower atmosphere. Theory, Experiments, and Applications. Academic Press, San Diego.
- Ferm M. and Rodhe H., 1997. Measurements of air concentrations of SO₂, NO₂ and NH₃ 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.
- FoHMFS 2014:17. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus. Folkhälsomyndigheten, Stockholm.
- FoHMFS 2014:18. Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation. Folkhälsomyndigheten, Stockholm.
- Forsell K., Lohman S, Nilsson R, m.fl., 2012. Klinisk utredning av en ansamling av cancerfall på en lotsstation. Rapport från Arbets- och Miljömedicin nr 142. ISBN 987-91-7876-141-8.
- Kak V., 2007. Infections in Confined Spaces: Cruise Ships, Military Barracks, and College Dormitories. *Infectious disease clinics of North America* 21, 773-784.
- Kim S.S. and Lee Y.G., 2010. Field measurements of indoor air pollutant concentrations on two new ships. *Building and Environment* 45, 2141-2147.
- Langer S. and Bekö G., 2013. Indoor air quality in the Swedish housing stock and its dependence on building characteristics. *Building and Environment* 69, 44-54.
- Langer S., Moldanová J., Bloom E., Österman C., 2014. Indoor environment on-board the Swedish icebreaker Oden. Proceedings of Indoor Air 2014, Hong Kong, July 7-12, 2014. Paper nr. HPO293.
- Morawska L., Afshari A., Bae G.N., Buonanno G., Chao C.Y.H., Hänninen O., Hoffman W., Isaxon C., Jarayatne E.R., Pasanen P., Salthammer T., Waring M., Wierzbicka A., 2013. Indoor aerosols: from personal exposure to risk assessment. *Indoor Air* 23, 462-487.
- MKN Miljö kvalitetsnormer för utomhusluft. Luftkvalitetsförordningen (2010:477).

- Orosa J.A. and Oliveira A.C., 2010. Assessment of work-related risk criteria onboard a ship as an aid to designing its onboard environment. *Journal of Marine Science and Technology* 15, 16–22.
- Persson O., Östberg C., Pagels J., Sebastian A., 2006. Air contaminants in a submarine equipped with air independent propulsion. *Journal of Environmental Monitoring* 8, 1111-1121.
- Sofuoglu S.C., Moschandreas D.J., 2003. The link between symptoms of office buildings occupants and in-office air pollution: the Indoor Air Pollution Index. *Indoor Air* 13, 332-343.
- SOFS 2005:15. Temperatur inomhus. Socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus.
- TSFS 2009:119. Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2009:119) om arbetsmiljö på fartyg. Transportstyrelsen, Norrköping.
- 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>
- 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 Europe.
- Victorin K., 1998. Risk assessment of carcinogenic air pollutants. IMM rapport 1/98.

Bilaga 1 Fartyg som ingått i denna studie

För beskrivning av fartygets storlek förutom läng och bredd, används termer som bruttotonnage, dödviktston eller displacement. Displacement är vikten av det vatten som fartyget tränger undan och motsvarar fartygets vikt inklusive all last. Bruttoton är fartygets totala inneslutande volym. För handelsfartyg används oftast bruttotonnage, Gross Tonnage på engelska (GT) och/eller dödviktston (DWT) (skillnaden mellan olastat och fullastat displacement).

Isbrytaren byggdes på Arendalsvarvet i Göteborg och togs i bruk 1989. Den är 108 m lång, 31 m bred och har displacement 13 000 ton. Framdriften är dieselmekanisk med fyra huvudmotorer (Sulzer ZA40S 8-cylindriga motorer om 18 000 kW) och fyra hjälpmotorer (Sulzer AT 25H 6-cylindriga dieselmotorer om 1 185 kW). Dessutom har isbrytaren två värme pannor för uppvärmning. Bränslet för huvudmaskiner är Heavy Fuel Oil (HFO; tjockolja) och Marine Gas Oil (MGO; marin gasolja) för hjälpmotorer. Isbrytarens huvudsysselsättning är att bryta is i Östersjön och säkra vintersjöfart.

Oljetankfartyget är ett IMO typ-2 olje- och kemikaliefartyg. Hon byggdes av Soli Shipyard i Turkiet 2009 och är isklassad (1A). Hon är 150 m lång, 23,2 m bred, dödvikten är 19 992 ton och fartyget kan bära 22 171 m³ last. Huvudmotor är MAN 8S35ME-B, med effekt på totalt 6960 kW med tre hjälpmotorer Yanmar 6EY18AL (3x750 kW). Framdrivningsmaskineriet är dieselmekaniskt och bränslet är tjockolja. Fartyget fraktar råolja.

Bunkerfartyget byggdes 2008 på AAS MEK varvet, är 80 m lång, 13,3 m bred och har ett bruttotonnage på 2 284 ton och dödvikt 3 692 ton (lastkapacitet på tankfartyg). Framdrivningsmaskineriet är dieselelektriskt och består av fem DI 16 55M Scania motorer som utvecklar en total kraft på 2 350 kW och en marschfart på 10 knop. Fartyget drivs av marin gasolja. Fartyget lastar marint bränsle och bunkrar andra fartyg.

Minröjningsfartyget är ett av svenska flottans örlogsfartyg. Fartyget byggdes 1987 på Kockums i Karlskrona; det är 47,5 m långt, 9,6 m brett och har ett displacement om 360 ton. Minröjningsfartyget drivs av fyra stycken Scania V8 Diesel motorer om 268 kW var och drivs av marin gasolja.

Korvetten är ett av svenska flottans örlogsfartyg och är byggt med så kallad smygteknik (stealth). Korvetten levererades från Kockums varv 2005, är 72,8 m lång, 10,4 m bred och har displacement på 650 ton. Maskineriet består av två vattenjetaggregat som drivs av CODAG- arrangemang (kombinerat diesel- och gasturbinmaskineri). I högfart drivs fartyget av fyra gasturbiner som utvecklar 16 000 kW och i lågfart av två dieselmotorer som utvecklar 2 600 kW. Bränslet är marin gasolja. Korvetten patrullerar Östersjön.

Ubåtsräddningsfartyget är ett dyk- och ubåtsbärgningsfartyg som tjänstgör i svenska marinen. Fartyget förfogar över tryckkammare, dykarklockor och flera

undervattensfarkoster som kan operera på djup ner till 1 000 m. Fartyget byggdes vid DeHoop varvet i Nederländerna 1985 och togs i drift av svenska marinen 1992. Hon är 104,9 m lång, 18 m bred, displacement är 6 150 ton och hon drivs fram av fem MAN 9ASL 25/30-motorer, dieselelektriskt drift med marin gasolja som bränsle.

Ro-pax fartyg 1 (ro-ro/passagerarfartyg) är en bilfärja som levererades från Tangen Verft A/S, Kragerø i Norge 1992). Fartyget är 111 m lång, 28,2 m bred, har ett bruttotonnage på 10 918 ton och kan lasta 1250 passagerare och 240 bilar. Framdrivningsmaskineriet består av fyra Wärtsilä-Vasa 6R32E dieselmotorer, bränslet är miljödiesel. Framdriften är dieselelektrisk. Efter krav från hamnkommunen utrustades färjan med avgasrening i form av katalysatorer.

Ro-pax fartyg 2 fartyg fraktar bilar, lastbilar, trailers och passagerare; det rullande godset fördelas på två däck. Fartyget drivs av flytande naturgas (LNG; Liquefied Natural Gas, ca 98 %) och marin gasolja (ca 2 %). Fartyget byggdes på varvet STX Europe, Åbo, Finland och togs i drift 2013. Hon är 218 m lång, 31,8 m bred och har ett bruttotonnage på 57 565 ton. Framdrivningsmaskineriet består av fyra Wärtsilä 8L 50 DF motorer som utvecklar en total kraft om 30,4 MW och ger en marschfart på 22 knop. Fartyget tar 2 890 passagerare och kan lasta 1275 lastmeter.

Kryssningsfartyget byggdes av Aker Finnyards varvet i Raumo (Finland) och sjösattes 2004. Fartyget kan ta 1 800 passagerare och saknar bildäck eftersom hon är ett renodlat kryssningsfartyg. Hon är 177 m lång, 26,8 m bred och har bruttodräktighet 34 924 ton. Fartyget har ett maskineri på 4 Wärtsilä 6L46 dieselmotorer som har en effekt på 23 400 kW. Bränslet är tjockolja (HFO) och framdriften är dieselmekanisk. Fartyget genomgick byte av bränslet i början på 2015 från tjockolja med 1 % svavel till ultralågsvavlig tjockolja med 0,1 % svavel.

Tabell 1:1. Sammanställning av fartygens tekniska parametrar.

Fartyg	Framdrift	Huvudbränsle	Byggt år/ togs i drift	Längd (m)	Bredd (m)	Vikt (ton)
Isbrytare vinter	dieselmekanisk	HFO	1989	108	31	13 000
Isbrytare sommar	dieselmekanisk	HFO	1989	108	31	13 000
Oljetankfartyg	dieselmekanisk	HFO	2009	150	23	19 992
Bunkerfartyg	dieselelektrisk	MGO	2008	80	13	3 692
Minröjningsfartyg	dieselmekanisk	MGO	1987	48	10	360
Korvett	dieselmekanisk/ gasturbin	MGO	2005	73	10	650
Ubåtsräddningsfartyg	dieselelektrisk	MGO	1992	105	18	6 150
Ro-pax fartyg 1	dieselelektrisk	miljödiesel	1992	111	28	10 918
Ro-pax fartyg 2	dieselelektrisk	LNG	2013	218	32	57 565
Kryssningsfartyg	dieselmekanisk	HFO 1% S	2004	177	27	34 924
Kryssningsfartyg 0,1% S	dieselmekanisk	HFO 0,1% S	2004	177	27	34 924

Bilaga 2 Information om projektet ”God inommiljö på svenska fartyg”

Projektets syfte och upplägg

IVL Svenska Miljöinstitutet bedriver ett projekt som undersöker inommiljön på svenska fartyg. Projektets mål är att kartlägga gasformiga och partikulära luftföroreningar ombord i både personalutrymmen och arbetsutrymmen. Resultaten av undersökningen utvärderas mot befintliga riktvärden för luftföroreningar i inomhusluft och Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden. Projektet är indelat i tre faser: en detaljerad pilotstudie, undersökningar på ca 10 olika fartyg samt sammanställning av råd och rekommendationer om åtgärder för att säkerställa god inommiljö både på befintliga och nybyggda fartyg. Projektet har finansiering från AFA försäkring och Stiftelse IVL.

Pilotstudien med en detaljerad mätplan har genomförts på isbrytaren Oden under två perioder: en i vinter 2013 i Bottenviken och en under sommaren 2013 under Odens resa till Svalbard. Utvärdering av mätdata resulterade både i lägessammanställning om inommiljö på Oden och i en uppsättning av mätparametrar som är relevanta och praktiskt genomförbara på andra fartyg.

Temperatur, relativ luftfuktighet och koncentration av CO₂ (ett mått på luftväxling inomhus) mäts med en loggande sensor (Figur 1). Gasformiga luftföroreningarna NO_x, SO₂, flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) mäts med s.k. passiva provtagare (Figur 2).

Figur 1. Sensor för mätning av temperatur, relativ luftfuktighet och CO₂.

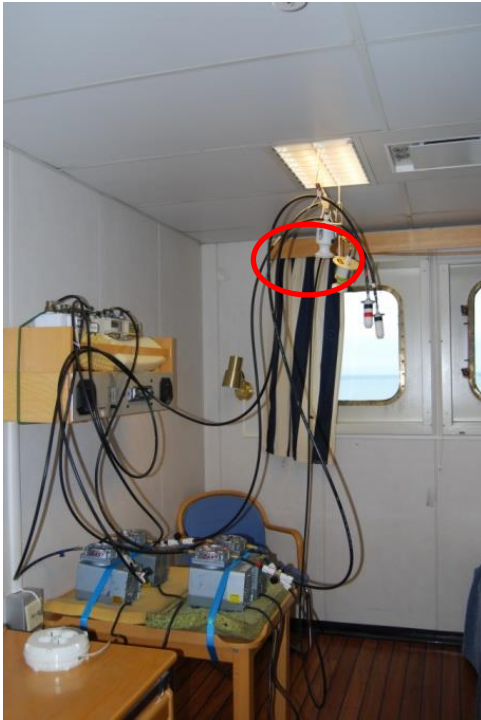


Figur 2. Uppsättning med passiva provtagare.



Partiklar PM_{2.5} (partiklar med diameter < 2.5 µm) samlas på filter (Figur 3) av två olika material för följande analyser av kemisk sammansättning och bestämning av masskoncentration (µg/m³). Partikel-koncentration mäts också med två handhållna direktvisande optiska partikelräknare.

Figur 3. Pumpar, gasmätare och impaktorer för provtagning av partiklar PM_{2.5}.



Er medverkan i projektet

Vi behöver komma ombord två personer och resa med båten under ungefär två dygn. Vi installerar de passiva provtagarna, sensorer för T, RH och CO₂, samlar partikelprover och mäter med de direktvisande instrumenten. Vi har identifierat 5 mätplatser: bryggan, en hytt, två utrymmen i maskinrummet, efter samråd med Tekniska chefen och en uteplats som referens. Provtagarna fästs endast tillfälligt med buntband och liknande så inga bestående ingrepp behöver göras på fartyget. Vi har själva med oss all utrustning och behöver inte besvära besättningen.

För pumparna behöver vi nätuttag för 220V. För mätningarna utomhus

behöver vi kunna ställa pumparna inomhus med möjlighet att dra ut slangarna. Passiva provtagare ska exponeras under en vecka. Vi behöver sedan hjälp av någon ur besättningen som ni utser som kan ta ner de passiva provtagarna och lägga dem i en låda som vi tillhandahåller med adresslapp och porto och skickar den till IVL. Pumparna kommer vi att skicka i en trälåda (90 x 60 x 40 cm) med en transportfirma till båten i lämplig hamn. Vi ombesörjer hämtning från hamnen när ni anländer till Sverige igen.

Vi behöver bekräftat samtycke från rederi och fartyget samt kontaktuppgifter till en kontaktperson ombord.

Vi blir oerhört tacksamma om ni tillåter oss att kunna genomföra mätningarna på ert fartyg. Projektet är inte ämnat att leta efter ”fel” utan att konstatera läget. Det kommer till gagn för alla inom sjöfarten att kunna förstå och säkerställa god inomhusmiljö ombord.

Kontaktpersoner

Sarka Langer
sarka.langer@ivl.se
Tel. +46 (0)31 725 6297

Jana Moldanová
jana.moldanova@ivl.se
Tel. +46 (0)31 725 6213

Cecilia Österman
cecilia.osterman@lnu.se
Tel. +46 (0)480 49 76 80

Bilaga 3 Mätmetoder för inneklimatparametrar och gasformiga och partikulära luftföroreningarna

Temperatur, relativ luftfuktighet och CO₂-halt registrerades var 5 minut (för temperatur och relativ luftfuktighet: HOBO U12-012 data logger, Onset Computer Corp, Bourne, MA, USA; för CO₂ CARBOCAP® CO₂ monitors, GMW22, Vaisala, Finland). Provtagningsstiderna sammanfaller i stort sett med tidpunkter för mätkampanjer (Tabeller 4:2 – 4:12 i Bilaga 4). Koncentration av kolmonoxid (CO) mättes med en tidsupplösning på 1 minut (ToxiRae Pro (Gisburn, UK) under kortare varierande tidsperioder (flera timmar) på alla fartyg.

Koncentrationer av gasformiga luftföroreningar ozon, NO och NO₂ (NO_x) och SO₂ mättes med IVLs passiva provtagare. 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 provtagningsstiden. Resultat av mätningen är koncentrationsvärden integrerade över tiden. Detaljer om principer för diffusiv provtagning och analysermetoder kan hittas i vetenskaplig litteratur (Ferm, 2001; Ferm and Rodhe, 1997)

För passiv provtagning av flyktiga organiska ämnen (VOC Volatile Organic Compounds) användes rör innehållande Tenax adsorbentmedium (Tenaxrör, model N9307005, Perkin Elmer, Waltham, MA, USA). VOC analyserades med gaskromatografi/masspektrometri (GC/MS; GS 6890, MS 5973N, Agilent, USA) som summa av VOC i provet och som individuella ämnen identifierade med masspektrometer. Totalhalter av flyktiga organiska ämnen, 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.

Formaldehyd provtogs också passivt med DSD-DNPH Aldehyde Diffusive Sampling Device (Supelco, Bellefonte, PA, USA) och analyserades med vätskekromatografi (HPLC) med en UV detektor.

Polycykliska organiska ämnen (PAH) i pilotstudien samlades genom aktiv (pumpad) provtagning med specialprovtagare bestående av polyuretanskum (PUF) för gasformiga PAH och ett filter för partikelbundna PAH. Prover extraherades i ett organiskt lösningsmedel och analyserades med avseende på 15 specificerade PAH, s.k. US EPA-PAH med gas kromatografi och en detektor baserad på fluorescensprincipen. PAH på de andra fartygen provtogs med en passiv specialprovtagare bestående av polyuretanskum (PUF) som var mycket lättare att hantera. PUF-provtagare extraherades i ett organiskt lösningsmedel. Prover analyserades med avseende på 32 specificerade PAH med GC/MS.

Partiklar PM_{2.5} samlades på Teflonfilter och på kvartfilter med pumpad provtagning. För denna provtagning användes impaktorer som separerade partiklarna i den önskade storleksfraktionen. Partikelkoncentration med avseende på massa bestämdes från provtagna volymer och vikter av de uppsamlade partiklarna på filter. Innehåll av elementärt (EC) och organiskt kol (OC) i partiklarna analyserades i prover uppsamlade på kvartfilter genom en extern konsult (Ustav Chemických Procesu AVCR, Laborator chemie a fyziky aerosolu, Prag, Czech Republic). Till analysen av EC och OC användes en semiautomatisk EC/OC analysator (Sunset Laboratory Inc., <http://www.sunlab.com>). Grundämnen bestämdes med en teknik baserad på röntgenstrålning, XRF, X-Ray Fluorescence (Cooper Environment Services, Beaverton, Oregon, USA). Koncentration av 48 grundämnen analyserades med denna teknik i partiklarna uppsamlade på Teflo-filter.

Tre direktvisande instrument användes för kontinuerlig mätning av partikelhalten. Partiklar i storleksområdet 0.3 – 25 µm fördelat på 15 storleksintervaller mättes med en optisk partikelräknare (Portable Dust Monitor, Grimm 11-A, Grimm Aerosol Technik GmbH & Co) med tidsupplösning på 1 minut. Inbyggd mjukvara räknar om antalet partiklar i de olika storleksintervallen till masskoncentration av PM₁₀ och PM_{2.5}. Två direktvisande instrument användes för kontinuerlig mätning av koncentrationer av nanopartiklar. Nanopartiklar mättes med en EEPS (Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer, TSI Inc. Model 3090). Med detta instrument kan antal och massa av partiklar i storleksintervallet 5.6 - 560 nm, fördelat på 32 storleksklasser, och med en tidsupplösning på 1 minut erhållas. Nanopartiklar (20 - < 1 000 nm) mättes med kondensationspartikelräknare P-trak (TSI model 8525) med en tidsupplösning på 1 minut. Resultat från mätningar av nanopartiklar redovisas inte i denna rapport p.g.a. inte kompatibla instrumentmetoder.

Luftburna mögelpartiklar samlades på agarremsor Rose Bengal agar media (agar strip HS; Biotest-Serum Institute GmbH, Frankfurt/Main, Germany) med hjälp av specialdesignad pump Reuter Centrifugal Sampler (RCS, Folex-Biotest-Schleussner Inc., Farfield, NJ, USA). Provtagningen pågick i 4 minuter med en flödehastighet av 40 liter min⁻¹. Remsorna skickades till IVLs mikrobiologiska laboratorium för analys. De inkuberades vid 25 C° i 7-10 dagar innan mikroskopisk avläsning. Antal odlingsbara luftburna mikrobiologiska partiklar bestämdes som Colony Forming Units (CFU) per m³ av provtagen luft. Artsammansättning av mikroflora identifierades.

Bilaga 4 Mätplatserna och mätperioderna

Tabell 4:1. Mätperioder för mätkampanjer på fartygen.

Kod	Fartyg	Start	Stopp
A	Isbrytare vinter	2013-02-28	2013-03-11
B	Isbrytare sommar	2013-08-06	2013-08-18
C	Oljetankfartyg	2014-12-15	2014-12-21
D	Bunkerfartyg	2014-02-26	2014-02-28
E	Minröjningsfartyg	2014-05-12	2014-05-21
F	Korvett	2014-09-01	2014-09-22
G	Ubåtsräddningsfartyg	2014-09-22	2014-09-27
H	Ro-pax fartyg 1	2014-08-11	2014-08-20
I	Ro-pax fartyg 2	2013-12-19	2013-12-25
J	Kryssningsfartyg	2014-11-24	2014-12-01
K	Kryssningsfartyg 0,1 % S	2015-04-13	2015-04-20

Tabell 4:2. Mätplatser och mätperioder på isbrytaren under vinterkampanjen.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
A1	Pannrum	2013-02-28 17:02	2013-03-08 12:49
A2	Separatorrum	2013-02-28 17:01	2013-03-08 12:57
A3	Manöverrum	2013-02-28 16:59	2013-03-08 12:59
A4	Brygga	2013-02-28 16:07	2013-03-08 13:25
A5	Hytt	2013-02-28 16:46	2013-03-08 13:19
A6	Mäss	2013-02-28 16:40	2013-03-08 13:08
A7	Däckskontor	2013-02-28 16:51	2013-03-08 13:15
A9	Ute	2013-03-05 13:32	2013-03-06 18:38

Tabell 4:3. Mätplatser och mätperioder på isbrytaren under sommarkampanjen.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
B1	Pannrum	2013-08-07 14:40	2013-08-15 10:10
B2	Separatorrum	2013-08-07 14:30	2013-08-15 10:00
B3	Manöverrum	2013-08-07 13:40	2013-08-15 10:55
B4	Brygga	2013-08-07 11:35	2013-08-15 10:25
B5	Hytt	2013-08-07 11:50	2013-08-15 10:00
B6	Mäss	2013-08-07 13:20	2013-08-15 10:55
B7	Däckskontor	2013-08-07 13:40	2013-08-15 10:15
B9	Ute	2013-08-07 10:30	2013-08-15 09:50

Tabell 4:4. Mätplatser och mätperioder på oljetankfartyget.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
C1	Maskinrum	2014-12-15 16:10	2014-12-21 08:35
C2	Separatorrum	2014-12-15 16:15	2014-12-21 08:40
C3	Maskinkontrollrum	2014-12-15 15:55	2014-12-21 08:30
C4	Brygga	2014-12-15 14:37	2014-12-21 09:00
C5	Hytt	2014-12-15 15:40	2014-12-21 08:50
C9	Ute	2014-12-15 16:30	2014-12-21 08:45

Tabell 4:5. Mätplatser och mätperioder på bunkerfartyget.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
D1	Maskinrum	2014-02-26 16:00	2014-03-06 08:45
D4	Brygga	2014-02-26 12:40	2014-03-06 09:00
D5	Hytt	2014-02-26 17:15	2014-03-06 08:50
D6	Mäss	2014-02-26 16:55	2014-03-06 08:30
D8	Ute lastdäck	2014-02-26 13:25	2014-03-06 08:25
D9	Ute brygga	2014-02-26 12:40	2014-03-06 09:10

Tabell 4:6. Mätplatser och mätperioder på minröjningsfartyget.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
E1	Maskinrum	2014-05-12 11:53	2014-05-21 11:32
E3	Maskincentral	2014-05-12 11:50	2014-05-21 11:50
E4	Brygga	2014-05-12 11:30	2014-05-21 10:50
E5	Hytt	2014-05-12 11:55	2014-05-21 12:08
E7	Stridsledningscentral	2014-05-12 11:45	2014-05-21 11:15
E9	Ute	2014-05-12 12:10	2014-05-21 12:24

Tabell 4:7. Mätplatser och mätperioder på korvetten.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
F1	Maskinrum	2014-09-01 21:05	2014-09-22 10:30
F2	Generatorrum	2014-09-01 21:15	2014-09-22 10:30
F3	Maskinkontrollrum	2014-09-01 14:45	2014-09-22 10:30
F4	Brygga	2014-09-01 15:30	2014-09-22 10:30
F5	Hytt	2014-09-01 21:15	2014-09-22 10:20
F7	Stridsledningscentral	2014-09-01 15:15	2014-09-22 10:30
F9	Ute	2014-09-01 21:20	2014-09-22 10:20

Tabell 4:8. Mätplatser och mätperioder på ubåtsräddningsfartyget.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
G1	Maskinrum	2014-09-22 16:15	2014-09-29 19:30
G2	Separatorrum	2014-09-22 16:20	2014-09-29 19:35
G3	Maskinkontrollrum	2014-09-22 16:00	2014-09-29 19:20
G4	Brygga	2014-09-23 17:05	2014-09-29 20:40
G5	Hytt	2014-09-22 20:15	2014-09-29 20:05
G6	Mäss	2014-09-23 17:30	2014-09-29 19:50
G7	Byssan	2014-09-22 16:40	2014-09-29 19:45
G8	Dykcentralen	2014-09-22 19:45	2014-09-29 19:45
G9	Ute	2014-09-22 19:25	2014-09-29 19:25

Tabell 4:9. Mätplatser och mätperioder på ro-pax fartyg 1.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
H1	Maskinrum	2014-08-11 10:45	2014-08-20 09:50
H2	Separatorrum	2014-08-11 10:40	2014-08-20 09:50
H3	Maskinkontrollrum	2014-08-11 11:05	2014-08-20 09:45
H4	Brygga	2014-08-11 13:10	2014-08-20 09:40
H8	Bildäck	2014-08-11 11:15	2014-08-20 09:55
H9	Ute	2014-08-11 13:10	2014-08-20 09:40

Tabell 4:10. Mätplatser och mätperioder på ro-pax fartyg 2.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
I1	Maskinrum	2013-12-19 14:10	2013-12-25 09:45
I2	Separatorrum	2013-12-19 14:15	2013-12-25 10:00
I3	Maskinkontrollrum	2013-12-19 11:00	2013-12-25 09:09
I4	Brygga	2013-12-19 13:30	2013-12-25 10:48
I5	Hytt	2013-12-19 13:15	2013-12-25 10:21
I6	Mäss	2013-12-19 12:18	2013-12-25 09:35
I7	Bildäck 3	ingen mätning	ingen mätning
I9	Ute	2013-12-19 12:50	2013-12-25 10:55

Tabell 4:11. Mätplatser och mätperioder på kryssningsfartyget.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
J1	Maskinrum	2014-11-24 08:35	2014-12-01 14:50
J2	Separatorrum	2014-11-24 08:45	2014-12-01 13:40
J3	Maskinkontrollrum	2014-11-24 08:25	2014-12-01 12:40
J4	Brygga	2014-11-24 09:20	2014-12-01 11:15
J5	Hytt däck 3	2014-11-24 10:25	2014-12-01 16:00
J5	Hytt däck 9	2014-11-24 10:15	2014-12-01 12:20
J6	Mäss	2014-11-24 08:50	2014-12-01 12:50
J7	Byssan	2014-11-24 09:00	2014-12-01 13:00
J8	Lager/Lagerkontor	2014-11-24 10:55	2014-12-01 12:30
J9	Ute	2014-11-24 09:45	2014-12-01 11:30

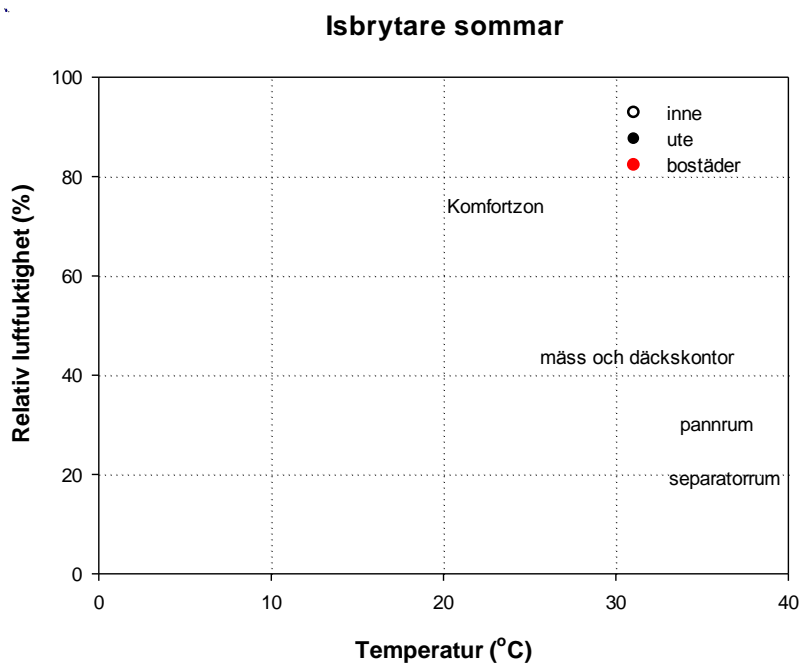
Tabell 4:12. Mätplatser och mätperioder på kryssningsfartyget o,1% S.

Kod	Mätplats	Start	Stopp
K1	Maskinrum	2015-04-13 20:50	2015-04-20 13:50
K2	Separatorrum	2015-04-13 20:45	2015-04-20 13:35
K3	Maskinkontrollrum	2015-04-13 20:25	2015-04-20 13:30
K4	Brygga	2015-04-13 21:50	2015-04-20 14:40
K5	Hytt däck 3	2015-04-14 09:15	2015-04-20 15:05
K5	Hytt däck 9	2015-04-14 08:00	2015-04-20 14:30
K6	Mäss	2015-04-13 21:05	2015-04-20 14:00
K7	Byssan	2015-04-14 21:30	2015-04-20 14:15
K8	Lager/Lagerkontor	2015-04-14 09:50	2015-04-20 14:55
K9	Ute	2015-04-14 08:40	2015-04-20 14:25

Bilaga 5 Temperatur och relativ luftfuktighet: numeriska värden och diagram

Tabell 5:1. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på isbrytaren under sommarkampanjen.

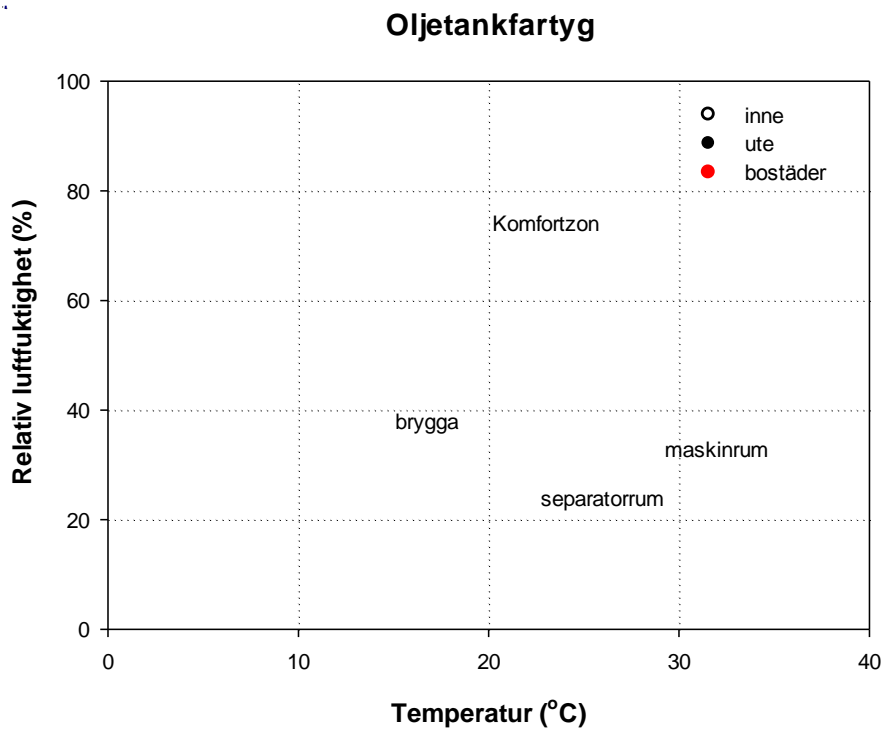
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Pannrum	35,7 \pm 2,3	26 \pm 2
Separatorrum	36,5 \pm 2,1	24 \pm 5
Manöverrum	24,6 \pm 1,3	42 \pm 6
Brygga	21,5 \pm 1,2	47 \pm 3
Hytt	19,5 \pm 1,2	52 \pm 3
Mäss	25,8 \pm 1,4	39 \pm 4
Däckskontor	25,7 \pm 1,8	39 \pm 4
Ute	13,2 \pm 3,3	76 \pm 8



Figur 5:1. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på isbrytaren under sommarkampanjen. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:3 i Bilaga 4).

Tabell 5:2. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på oljetankfartyget.

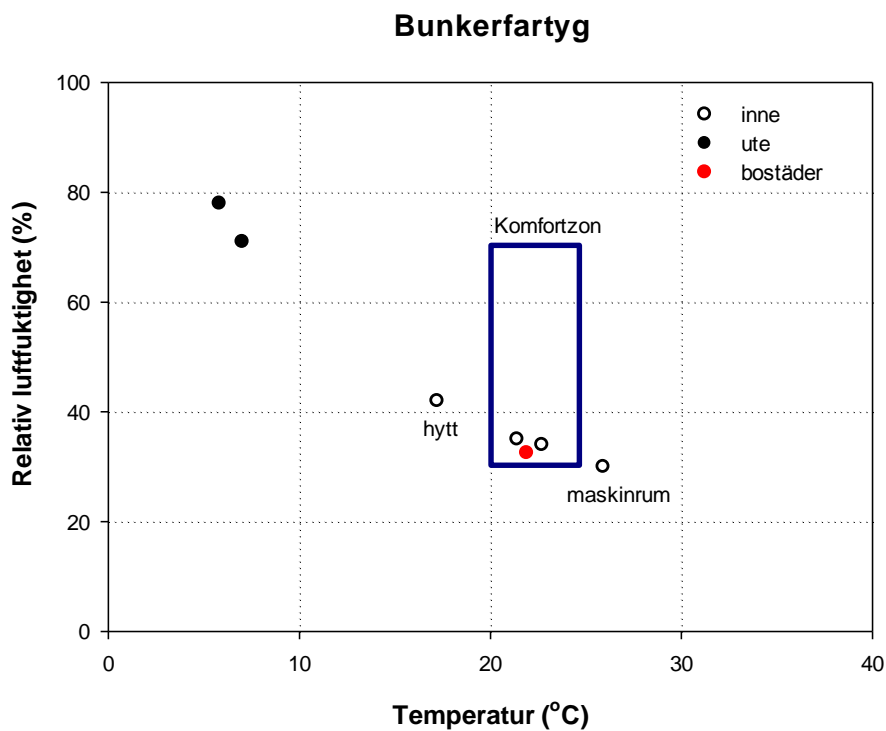
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	28,2 \pm 1,2	33 \pm 2
Separatorrum	25,8 \pm 1,3	28 \pm 2
Maskinkontrollrum	24,0 \pm 0,3	34 \pm 3
Brygga	19,5 \pm 0,7	38 \pm 1
Hytt	20,4 \pm 0,2	38 \pm 1
Ute	6,5 \pm 2,2	57 \pm 8



Figur 5:2. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på oljetankfartyget. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:4 i Bilaga 4).

Tabell 5:3. Medelvärden ± standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på bunkerfartyget.

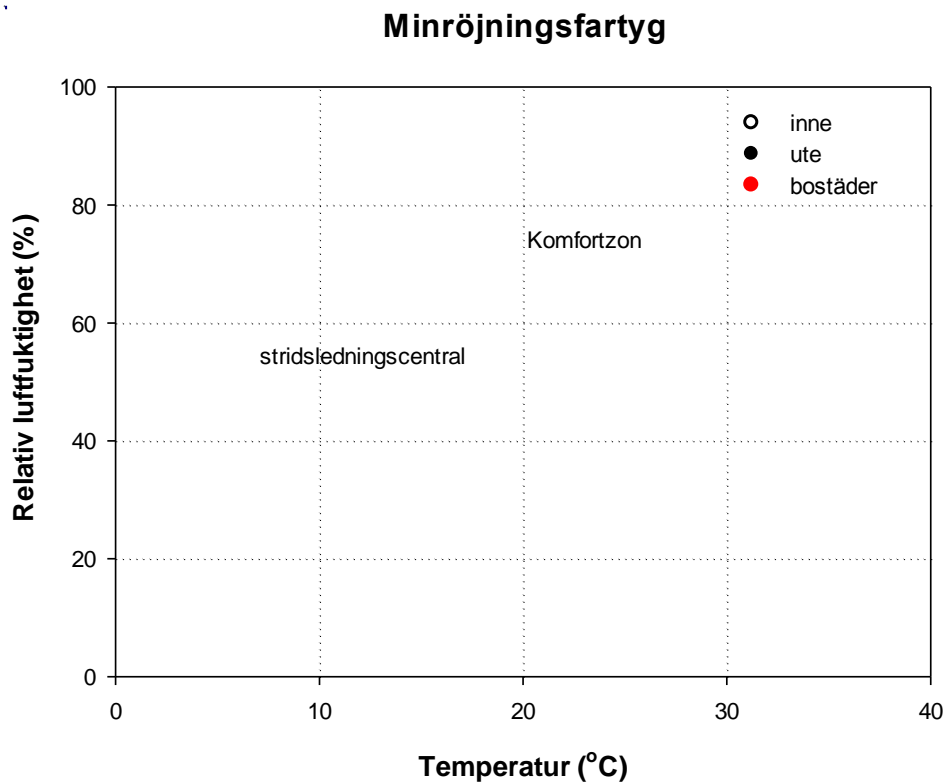
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Brygga	21,4 ± 0,9	35 ± 1
Hytt 310	17,2 ± 2,2	42 ± 3
Mäss	22,7 ± 1,0	34 ± 1
Maskinrum	25,9 ± 2,2	30 ± 2
Ute lastdäck	5,8 ± 1,0	78 ± 3
Ute brygga	7,0 ± 0,8	71 ± 2



Figur 5:3. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på bunkerfartyget. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:5 i Bilaga 4).

Tabell 5:4. Medelvärden ± standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på minröjningsfartyget.

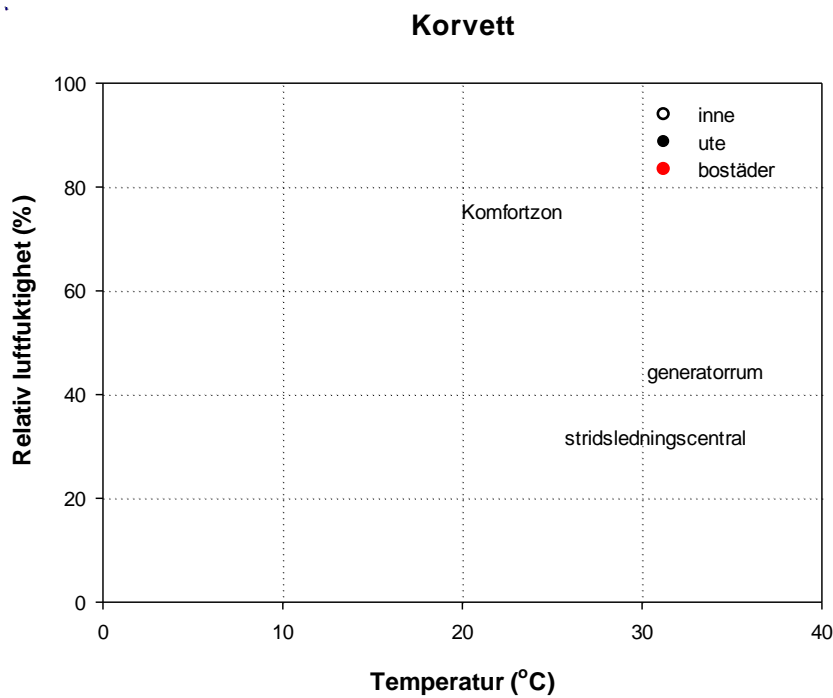
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	21,3 ± 4,6	48 ± 9
Maskincentral	22,9 ± 1,0	43 ± 5
Brygga	20,4 ± 1,6	49 ± 6
Stridsledningscentral	17,9 ± 1,4	54 ± 8
Hytt	20,3 ± 1,7	50 ± 9
Ute	14,4 ± 6,6	72 ± 12



Figur 5:4. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på minröjningsfartyget. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:6 i Bilaga 4).

Tabell 5:5. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på korvetten.

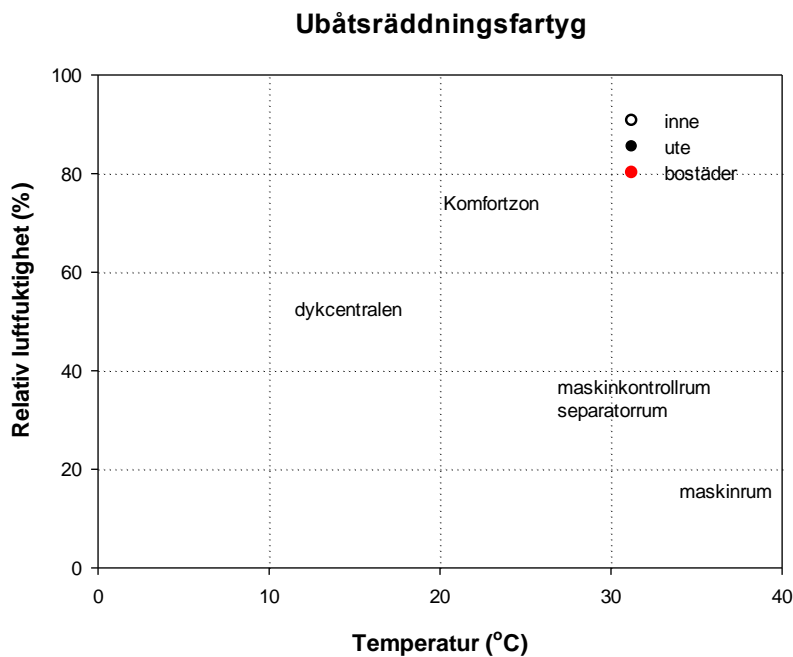
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	24,7 \pm 1,8	53 \pm 5
Generatorrum	30,6 \pm 1,7	39 \pm 5
Maskinkontrollrum	22,0 \pm 0,9	46 \pm 2
Brygga	21,1 \pm 1,5	48 \pm 4
Hytt	20,1 \pm 0,8	54 \pm 2
Stridsledningscentral	26,0 \pm 0,8	37 \pm 4
Ute	21,3 \pm 4,6	48 \pm 9



Figur 5:5. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på korvetten. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:7 i Bilaga 4).

Tabell 5:6. Medelvärden ± standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på ubåtsräddningsfartyget.

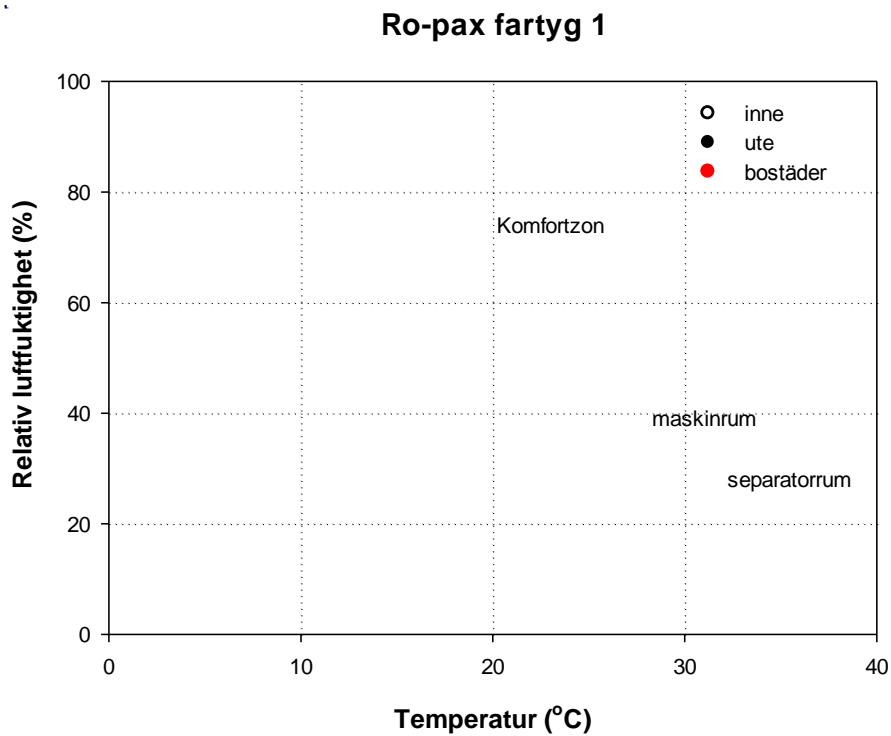
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	36,6 ± 3,2	20 ± 3
Separatorrum	25,8 ± 0,7	34 ± 5
Maskinkontrollrum	26,1 ± 1,0	35 ± 5
Brygga	20,3 ± 1,2	43 ± 5
Hytt	21,6 ± 1,3	41 ± 5
Mäss	20,6 ± 1,0	43 ± 5
Byssan	20,9 ± 1,5	44 ± 7
Dykcentralen	18,5 ± 2,1	53 ± 7
Ute	13,8 ± 1,8	64 ± 5



Figur 5:6. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på ubåtsräddningsfartyget. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:8 i Bilaga 4).

Tabell 5:7. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på ro-pax fartyget 1.

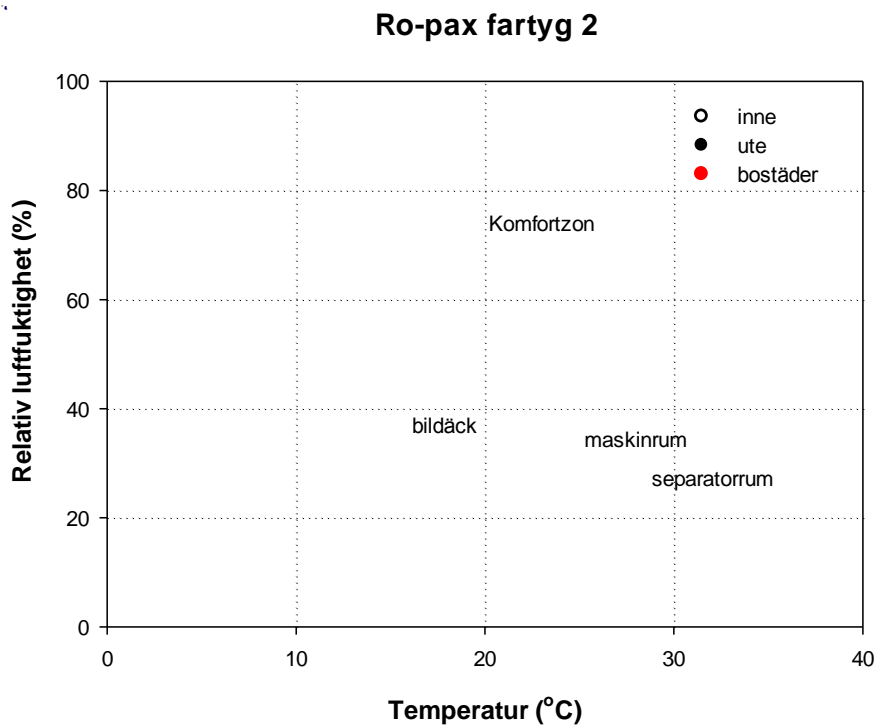
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	31,0 \pm 1,5	35 \pm 3
Separatorrum	34,4 \pm 1,9	33 \pm 3
Maskinkontrollrum	23,6 \pm 0,6	45 \pm 1
Brygga	22,6 \pm 1,7	49 \pm 4
Bildäck	19,8 \pm 1,9	62 \pm 7
Ute	19,4 \pm 2,5	62 \pm 10



Figur 5:7. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på ro-pax fartyget 1. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:9 i Bilaga 4).

Tabell 5:8. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på ro-pax fartyget 2.

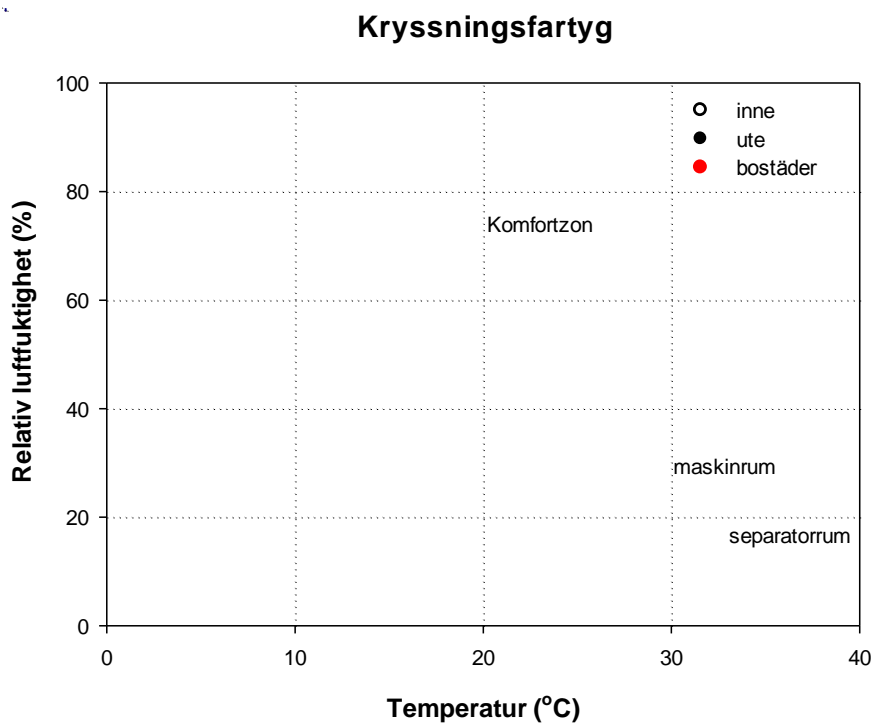
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	25,8 \pm 2,6	29 \pm 2
Separatorrum	28,0 \pm 0,4	27 \pm 1
Maskinkontrollrum	23,6 \pm 0,5	35 \pm 1
Brygga	21,1 \pm 0,2	43 \pm 3
Hytt	21,1 \pm 0,3	40 \pm 1
Mäss	20,9 \pm 0,4	47 \pm 1
Bildäck	17,9 \pm 2,3	42 \pm 4
Separatorrum	4,3 \pm 0,5	83 \pm 3



Figur 5:8. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på ro-pax fartyget 2. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:10 i Bilaga 4).

Tabell 5:9. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på kryssningsfartyget.

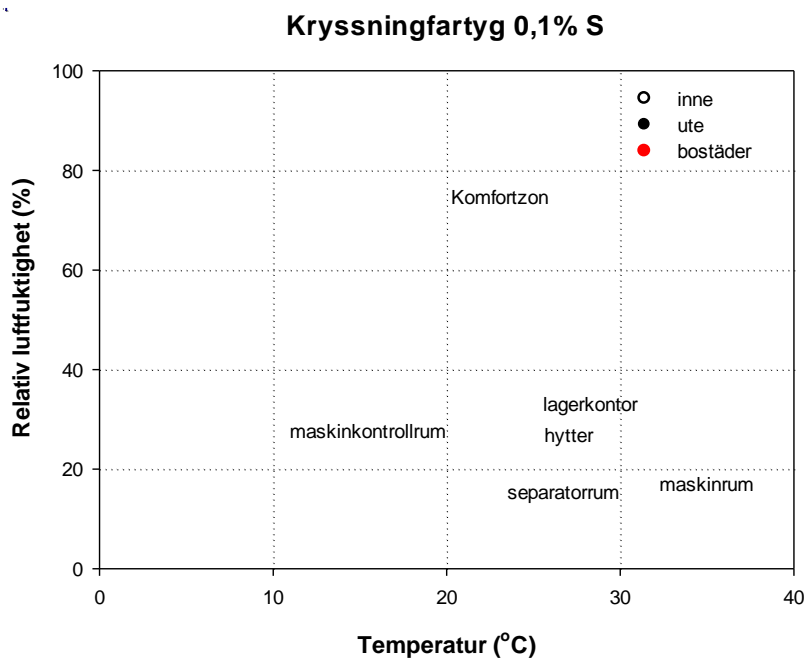
Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	30,7 \pm 1,5	25 \pm 2
Separatorrum	31,6 \pm 1,6	22 \pm 2
Maskinkontrollrum	23,3 \pm 0,6	35 \pm 1
Brygga	22,2 \pm 0,4	37 \pm 2
Hytt däck 3	22,2 \pm 0,6	38 \pm 3
Hytt däck 9	23,7 \pm 0,5	32 \pm 2
Mäss	21,0 \pm 0,6	39 \pm 3
Byssan	20,9 \pm 0,7	39 \pm 4
Lager/Lagerkontor	21,1 \pm 0,4	44 \pm 3
Ute	6,5 \pm 1,4	78 \pm 2



Figur 5:9. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på kryssningsfartyget. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:11 i Bilaga 4).

Tabell 5:10. Medelvärden \pm standardavvikelser för temperatur och relativ luftfuktighet för mätplatserna på kryssningsfartyget 0,1% S.

Mätplats	Temperatur (°C)	RF (%)
Maskinrum	27,8 \pm 0,7	20 \pm 2
Separatorrum	31,4 \pm 2,6	17 \pm 2
Maskinkontrollrum	21,0 \pm 0,6	28 \pm 2
Brygga	22,2 \pm 1,7	31 \pm 2
Hytt däck 3	24,3 \pm 0,3	26 \pm 1
Hytt däck 9	24,9 \pm 0,9	29 \pm 1
Mäss	20,7 \pm 0,5	32 \pm 1
Byssan	20,5 \pm 0,5	34 \pm 1
Lager/Lagerkontor	23,9 \pm 0,7	28 \pm 2
Ute	7,0 \pm 3,8	60 \pm 15



Figur 5:10. Temperatur och relativ luftfuktighet i utrymmen på kryssningsfartyget 0,1% S. Medelvärden för mätperioder (se Tabell 4:12 i Bilaga 4).

Bilaga 6 Koncentration av koldioxid på fartygen

Tabell 6:1. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelsers) på isbrytaren för båda mätkampanjerna.

Mätplats	CO ₂ (ppm) vinter	CO ₂ (ppm) sommar
Pannrum	390 \pm 14	349 \pm 14
Separatorrum	390 \pm 14	390 \pm 10
Manöverrum	422 \pm 52	370 \pm 25
Brygga	455 \pm 60	409 \pm 31
Hytt	590 \pm 173	443 \pm 82
Mäss	385 \pm 56	397 \pm 54
Däckskontor	366 \pm 60	403 \pm 73
Ute	390 \pm 14	379 \pm 13

Tabell 6:2. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelsers) på oljetankfartyget och bunkerfartyget.

Mätplats oljetankfartyg	CO ₂ (ppm)	Mätplats bunkerfartyg	CO ₂ (ppm)
Maskinrum	370 \pm 12	Maskinrum	414 \pm 31
Separatorrum	370 \pm 12	Brygga	496 \pm 92
Maskinkontrollrum	404 \pm 30	Hytt	400 \pm 40
Brygga	520 \pm 58	Mäss	461 \pm 57
Hytt	406 \pm 17	Ute Lastdäck	ingen mätning
Ute	414 \pm 14	Ute brygga	458 \pm 19

Tabell 6:3. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelsers) på minröjningsfartyget och korvetten. Utemätning av CO₂ uteblev på korvetten.

Mätplats minröjningsfartyg	CO ₂ (ppm)	Mätplats korvett	CO ₂ (ppm)
Maskinrum	404 \pm 24	Maskinrum	494 \pm 190
Maskincentral	476 \pm 81	Generatorrum	409 \pm 88
Brygga	500 \pm 106	Maskinkontrollrum	512 \pm 95
Stridsledningscentral	468 \pm 68	Brygga	518 \pm 85
Hytt	496 \pm 95	Hytt	567 \pm 92
Ute	450 \pm 33	Stridsledningscentral	564 \pm 101

Tabell 6:4. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelser) på ubåtsräddningsfartyg.

Mätplats	CO₂ (ppm)
Maskinrum	363 \pm 15
Separatorrum	378 \pm 16
Maskinkontrollrum	468 \pm 56
Brygga	443 \pm 67
Hytt	486 \pm 53
Mäss	482 \pm 116
Byssan	461 \pm 37
Dykcentralen	ingen mätning
Ute	421 \pm 16

Tabell 6:5. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelser) på ro-pax fartyg 1.

Mätplats	CO₂ (ppm)
Maskinrum	332 \pm 19
Separatorrum	350 \pm 23
Maskinkontrollrum	541 \pm 46
Brygga	392 \pm 24
Bildäck	420 \pm 33
Ute	398 \pm 20

Tabell 6:6. Halter av koldioxid (medelvärden \pm standardavvikelser) på ro-pax fartyg 2.

Mätplats	CO₂ (ppm)
Maskinrum	386 \pm 19
Separatorrum	386 \pm 17
Maskinkontrollrum	504 \pm 38
Brygga	302 \pm 180
Hytt	475 \pm 76
Mäss	456 \pm 67
Bildäck 3	399 \pm 77
Ute	440 \pm 20

Tabell 6:7. Halter av koldioxid (medelvärden ± standardavvikelse) på kryssningsfartyg.

Mätplats	CO₂ (ppm) Kryssningsfartyg	CO₂ (ppm) Kryssningsfartyg 0,1% S
Maskinrum	356 ± 19	344 ± 26
Separatorrum	326 ± 16	350 ± 6
Maskinkontrollrum	439 ± 35	514 ± 96
Brygga	421 ± 19	374 ± 25
Hytt däck 3	369 ± 57	354 ± 20
Hytt däck 9	412 ± 28	359 ± 30
Mäss	484 ± 112	480 ± 100
Byssan	401 ± 18	389 ± 15
Lager/Lagerkontor	450 ± 38	391 ± 61
Ute	399 ± 16	468 ± 28

Bilaga 7 Mätdata för luftföroreningarna NO, NO₂, SO₂ och ozon

Tabell 7:1. Resultat för alla fartyg från mätningen av kvävemonoxid (NO), kvävedioxid (NO₂) svaveldioxid (SO₂) och ozon (O₃). Alla resultat är i enheten µg/m³ (mikrogram per kubikmeter). Medelvärden från veckolång provtagning.

Fartyg	Mätplats	NO	NO ₂	SO ₂	O ₃
Isbrytare vinter	Pannrum	105	40.6	32.9	21.7
Isbrytare vinter	Separatorrum	51	20.5	10.6	21.2
Isbrytare vinter	Manöverrum	22	24.3	4.9	18.3
Isbrytare vinter	Brygga	42	28.4	7.7	20.5
Isbrytare vinter	Hytt	48	23.4	6.8	23.1
Isbrytare vinter	Mäss	49	26.4	11.4	30.8
Isbrytare vinter	Däckskontor	52	25.6	8.7	23.1
Isbrytare vinter	Ute	37	14.3	9.1	64.1
Isbrytare sommar	Pannrum	43	38.2	13.3	25.6
Isbrytare sommar	Separatorrum	11	16.8	2.0	24.2
Isbrytare sommar	Manöverrum	26	18.4	3.3	48.6
Isbrytare sommar	Brygga	103	37.1	6.1	11.9
Isbrytare sommar	Hytt	107	32.7	5.4	14.3
Isbrytare sommar	Mäss	86	32.2	3.4	15.2
Isbrytare sommar	Däckskontor	92	30.9	4.1	17.4
Isbrytare sommar	Ute	17	7.4	6.7	68.0
Oljetankfartyg	Maskinrum	43	42.9	15.6	25.6
Oljetankfartyg	Separatorrum	15	24.3	10.1	27.4
Oljetankfartyg	Maskinkontrollrum	14	27.9	5.0	15.4
Oljetankfartyg	Brygga	34	32.0	2.9	3.4
Oljetankfartyg	Hytt	12	24.1	3.8	25.1
Oljetankfartyg	Ute	21	18.3	10.2	47.2
Bunkerfartyg	Maskinrum	400	59.1	20.0	23.7
Bunkerfartyg	Brygga	63	30.4	1.9	39.5
Bunkerfartyg	Hytt	62	30.6	3.3	40.0
Bunkerfartyg	Mäss	59	31.2	1.8	19.2
Bunkerfartyg	Ute Lastdäck	1.5	12.5	1.8	68.4
Bunkerfartyg	Ute	61	24.0	5.1	42.5

Fartyg	Mätplats	NO	NO₂	SO₂	O₃
Minröjningsfartyg	Maskinrum	109	39.2	1.45	70.6
Minröjningsfartyg	Maskincentral	89	35.4	0.4	44.1
Minröjningsfartyg	Brygga	112	42.8	0.94	25.7
Minröjningsfartyg	Stridsledningscentral	97	33.7	0.4	39.1
Minröjningsfartyg	Hytt	68	31.9	0.4	44.6
Minröjningsfartyg	Ute	302	76.0	5.53	63.7
Korvett	Maskinrum	504	174.6	4.4	30.5
Korvett	Generatorrum	207	57.2	0.5	17.3
Korvett	Maskinkontrollrum	232	56.5	0.05	28.7
Korvett	Brygga	230	59.7	0.05	44.8
Korvett	Hytt	265	58.3	0.05	33.4
Korvett	Stridsledningscentral	223	54.3	0.05	41.6
Korvett	Ute	178	53.6	3.1	77.7
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinrum	60	28.5	1.7	25.0
Ubåtsräddningsfartyg	Separatorrum	22	17.4	1.6	34.3
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinkontrollrum	20	27.2	0.5	15.2
Ubåtsräddningsfartyg	Brygga	19	24.3	0.5	19.4
Ubåtsräddningsfartyg	Hytt	12	17.6	0.5	18.1
Ubåtsräddningsfartyg	Mäss	19	21.2	0.5	17.3
Ubåtsräddningsfartyg	Byssan	13	16.9	0.5	32.9
Ubåtsräddningsfartyg	Dykcentralen	32	22.6	0.5	36.0
Ubåtsräddningsfartyg	Ute	56	17.4	2.9	45.2
Ro-pax fartyg 1	Maskinrum	169	50.4	5.30	27.3
Ro-pax fartyg 1	Separatorrum	14	27.8	0.4	34.0
Ro-pax fartyg 1	Maskinkontrollrum	6	28.8	0.4	30.7
Ro-pax fartyg 1	Brygga	38	12.9	1.78	67.8
Ro-pax fartyg 1	Bildäck	78	50.9	1.06	44.8
Ro-pax fartyg 1	Ute	6	21.9	0.4	45.7
Ro-pax fartyg 2	Maskinrum	1.5	15	0.6	51
Ro-pax fartyg 2	Separatorrum	1.5	17	0.6	7.4
Ro-pax fartyg 2	Maskinkontrollrum	19	19	0.6	54
Ro-pax fartyg 2	Brygga	1.5	10	0.6	50
Ro-pax fartyg 2	Hytt	1.5	10	0.6	44
Ro-pax fartyg 2	Mäss	1.5	12	0.6	52
Ro-pax fartyg 2	Bildäck 3	---	---	---	---
Ro-pax fartyg 2	Ute	1.5	8.5	1.05	55
Fartyg	Mätplats	NO	NO₂	SO₂	O₃

Kryssningsfartyg	Maskinrum	54	33.5	11.4	18.5
Kryssningsfartyg	Separatorrum	13	11.1	1.3	29.3
Kryssningsfartyg	Maskinkontrollrum	22	17.2	1.8	19.8
Kryssningsfartyg	Brygga	1.5	11.9	1.0	30.5
Kryssningsfartyg	Hytt	1.5	10.3	0.8	23.0
Kryssningsfartyg	Mäss	15	13.0	1.0	20.9
Kryssningsfartyg	Byssan	10	13.7	2.2	34.2
Kryssningsfartyg	Lager	1.5	7.2	0.4	9.7
Kryssningsfartyg	Ute	8.4	11.9	2.0	35.0
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinrum	16.8	33.3	2.12	43.8
Kryssningsfartyg 0,1%S	Separatorrum	1.5	8.1	0.4	67.7
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinkontrollrum	9.9	13.9	0.4	38.3
Kryssningsfartyg 0,1%S	Brygga	1.5	9.9	0.4	62.3
Kryssningsfartyg 0,1%S	Hytt	1.5	8.4	0.4	49.5
Kryssningsfartyg 0,1%S	Mäss	1.5	9.5	0.4	41.3
Kryssningsfartyg 0,1%S	Byssan	1.5	10.5	1.02	67.4
Kryssningsfartyg 0,1%S	Lagerkontor	1.5	7.8	0.4	50.5
Kryssningsfartyg 0,1%S	Ute	1.5	7.1	0.3	67.4

Bilaga 8 Mätdata för luftföroreningarna flyktiga organiska ämnen (TVOC), bensen och formaldehyd

Tabell 8:1. Resultat för alla fartyg för TVOC, bensen och formaldehyd. Alla resultat är i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mikrogram per kubikmeter). Medelvärden från veckolång provtagning.

Fartyg	Mätplats	TVOC	Bensen	Formaldehyd
Isbrytare vinter	Pannrum	1 671	4.1	1.9
Isbrytare vinter	Separatorrum	4 250	4.5	0.6
Isbrytare vinter	Manöverrum	236	1.3	1.1
Isbrytare vinter	Brygga	425	1.1	1.7
Isbrytare vinter	Hytt	273	1.2	3.9
Isbrytare vinter	Mäss	273	1.1	1.2
Isbrytare vinter	Däckskontor	258	1.3	2.3
Isbrytare vinter	Ute	574	7.0	0.8
Isbrytare sommar	Pannrum	3 091	3.6	2.9
Isbrytare sommar	Separatorrum	6 053	6.2	1.0
Isbrytare sommar	Manöverrum	295	1.7	1.9
Isbrytare sommar	Brygga	250	1.2	5.6
Isbrytare sommar	Hytt	293	1.1	7.3
Isbrytare sommar	Mäss	387	1.0	4.1
Isbrytare sommar	Däckskontor	284	1.0	5.9
Isbrytare sommar	Ute	100	1.3	0.5
Oljetankfartyg	Maskinrum	948	3.2	---
Oljetankfartyg	Separatorrum	5 051	10.3	---
Oljetankfartyg	Maskinkontrollrum	171	0.7	4.2
Oljetankfartyg	Brygga	256	1.0	16
Oljetankfartyg	Hytt	69	0.8	7.0
Oljetankfartyg	Ute	38	0.8	---
Bunkerfartyg	Maskinrum	115	1.5	---
Bunkerfartyg	Brygga	39	1.2	---
Bunkerfartyg	Hytt	25	1.5	---
Bunkerfartyg	Mäss	58	1.2	---
Bunkerfartyg	Ute Lastdäck	61	3.0	---
Bunkerfartyg	Ute	24	1.9	---

Fartyg	Mätplats	TVOC	Bensen	Formaldehyd
Minröjningsfartyg	Maskinrum	450	0.7	---
Minröjningsfartyg	Maskincentral	134	1.1	---
Minröjningsfartyg	Brygga	168	0.8	4.9
Minröjningsfartyg	Stridsledningscentral	108	0.6	6.0
Minröjningsfartyg	Hytt	90	0.6	4.6
Minröjningsfartyg	Ute	49	1.0	---
Korvett	Maskinrum	238	0.7	---
Korvett	Generatorrum	6 777	1.1	---
Korvett	Maskinkontrollrum	104	0.3	---
Korvett	Brygga	101	0.3	0.47
Korvett	Hytt	59	0.4	0.73
Korvett	Stridsledningscentral	76	0.3	0.55
Korvett	Ute	61	5.1	---
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinrum	706	0.7	---
Ubåtsräddningsfartyg	Separatorrum	6 269	2.5	---
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinkontrollrum	459	0.5	---
Ubåtsräddningsfartyg	Brygga	147	0.3	3.3
Ubåtsräddningsfartyg	Hytt	66	0.3	4.8
Ubåtsräddningsfartyg	Mäss	104	0.3	4.4
Ubåtsräddningsfartyg	Byssan	117	0.4	1.8
Ubåtsräddningsfartyg	Dykcentralen	40	0.3	---
Ubåtsräddningsfartyg	Ute	16	0.4	---
Ro-pax fartyg 1	Maskinrum	140	0.3	---
Ro-pax fartyg 1	Separatorrum	7 886	1.2	---
Ro-pax fartyg 1	Maskinkontrollrum	262	0.4	4.0
Ro-pax fartyg 1	Brygga	25	0.2	1.4
Ro-pax fartyg 1	Bildäck	103	1.4	0.82
Ro-pax fartyg 1	Ute	10	0.1	---
Ro-pax fartyg 2	Maskinrum	41	0.9	---
Ro-pax fartyg 2	Separatorrum	8 024	2.5	---
Ro-pax fartyg 2	Maskinkontrollrum	83	0.8	2.0
Ro-pax fartyg 2	Brygga	33	0.7	0.8
Ro-pax fartyg 2	Hytt	108	0.8	1.4
Ro-pax fartyg 2	Mäss	85	0.7	---
Ro-pax fartyg 2	Bildäck 3	---	---	---
Ro-pax fartyg 2	Ute	5	1.2	---

Fartyg	Mätplats	TVOC	Bensen	Formaldehyd
Kryssningsfartyg	Maskinrum	88	0.8	1.1
Kryssningsfartyg	Separatorrum	983	1.7	---
Kryssningsfartyg	Maskinkontrollrum	86	0.8	1.6
Kryssningsfartyg	Brygga	43	1.1	---
Kryssningsfartyg	Hytt	17.3	0.7	1.1
Kryssningsfartyg	Mäss	158	0.9	---
Kryssningsfartyg	Byssan	136	0.7	1.3
Kryssningsfartyg	Lager	111	0.8	5.8
Kryssningsfartyg	Ute	11	0.7	---
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinrum	65	0.4	---
Kryssningsfartyg 0,1%S	Separatorrum	3 850	2.2	---
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinkontrollrum	44	0.3	2.4
Kryssningsfartyg 0,1%S	Brygga	159	0.3	1.8
Kryssningsfartyg 0,1%S	Hytt	43	0.3	1.9
Kryssningsfartyg 0,1%S	Mäss	89	0.3	2.4
Kryssningsfartyg 0,1%S	Byssan	194	0.4	1.5
Kryssningsfartyg 0,1%S	Lagerkontor	32	0.3	---
Kryssningsfartyg 0,1%S	Ute	30	0.4	---

Bilaga 9 Mätdata för luftföroreningarna PAH, naftalen och benso(a)pyren

Tabell 9:1. Resultat för alla fartyg för polycykliska aromatiska kolväten (summa PAH), naftalen och benso(a)pyren (B(a)P). Alla resultat är i enheten ng/m³ (nanogram per kubikmeter). Medelvärden för 24-timmars provtagning (isbrytaren) respektive veckolång provtagning (andra fartyg).

Fartyg	Mätplats	ΣPAH	naftalen	B(a)P
Isbrytare vinter	Pannrum	2 101	1 550	0.44
Isbrytare vinter	Separatorrum	6 477	4 850	0.87
Isbrytare vinter	Manöverrum	285	210	0.04
Isbrytare vinter	Brygga	828	800	0.03
Isbrytare vinter	Hytt	723	680	0.07
Isbrytare vinter	Mäss	970	910	0.05
Isbrytare vinter	Däckskontor	684	630	0.03
Isbrytare vinter	Ute	624	600	0.04
Isbrytare sommar	Pannrum	2132	1 314	0.09
Isbrytare sommar	Separatorrum	28 526	24 383	2.45
Isbrytare sommar	Manöverrum	1035	946	0.07
Isbrytare sommar	Brygga	864	805	0.05
Isbrytare sommar	Hytt	879	805	0.06
Isbrytare sommar	Mäss	800	716	0.06
Isbrytare sommar	Däckskontor	749	649	0.05
Isbrytare sommar	Ute	774	744	0.02
Oljetankfartyg	Maskinrum	7 804	943	0.10
Oljetankfartyg	Separatorrum	7 887	790	0.03
Oljetankfartyg	Maskinkontrollrum	2 130	129	0.02
Oljetankfartyg	Brygga	687	143	0.01
Oljetankfartyg	Hytt	1 114	211	0.01
Oljetankfartyg	Ute	436	45	0.03
Bunkerfartyg	Maskinrum	1 076	182	0.01
Bunkerfartyg	Brygga	147	29	0.01
Bunkerfartyg	Hytt	168	35	0.01
Bunkerfartyg	Mäss	181	62	0.01
Bunkerfartyg	Ute Lastdäck	310	108	0.19
Bunkerfartyg	Ute	554	76	0.12

Fartyg	Mätplats	ΣPAH	naftalen	B(a)P
Minröjningsfartyg	Maskinrum	844	195	0.01
Minröjningsfartyg	Maskincentral	119	26	0.01
Minröjningsfartyg	Brygga	142	42	0.01
Minröjningsfartyg	Stridsledningscentral	86	23	0.01
Minröjningsfartyg	Hytt	93	19	0.01
Minröjningsfartyg	Ute	224	26	0.02
Korvett	Maskinrum	651	20	0.005
Korvett	Generatorrum	2 726	273	0.009
Korvett	Maskinkontrollrum	189	29	0.003
Korvett	Brygga	125	35	0.003
Korvett	Hytt	89	18	0.003
Korvett	Stridsledningscentral	120	31	0.003
Korvett	Ute	170	27	0.085
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinrum	1 575	226	0.02
Ubåtsräddningsfartyg	Separatorrum	4 981	445	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinkontrollrum	1 070	212	0.02
Ubåtsräddningsfartyg	Brygga	222	45	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Hytt	164	23	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Mäss	283	48	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Byssan	159	36	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Dykcentralen	233	48	0.01
Ubåtsräddningsfartyg	Ute	233	39	0.03
Ro-pax fartyg 1	Maskinrum	319	52	0.01
Ro-pax fartyg 1	Separatorrum	1 549	128	0.01
Ro-pax fartyg 1	Maskinkontrollrum	87	26	0.01
Ro-pax fartyg 1	Brygga	48	24	0.01
Ro-pax fartyg 1	Bildäck	109	27	0.01
Ro-pax fartyg 1	Ute	---	---	---
Ro-pax fartyg 2	Maskinrum	216	11	0.02
Ro-pax fartyg 2	Separatorrum	3 990	319	0.02
Ro-pax fartyg 2	Maskinkontrollrum	123	14	0.01
Ro-pax fartyg 2	Brygga	35	3	0.01
Ro-pax fartyg 2	Hytt	44	7	0.02
Ro-pax fartyg 2	Mäss	58	7	0.01
Ro-pax fartyg 2	Bildäck 3	---	---	---
Ro-pax fartyg 2	Ute	207	22	0.76

Fartyg	Mätplats	ΣPAH	naftalen	B(a)P
Kryssningsfartyg	Maskinrum	572	63	0.02
Kryssningsfartyg	Separatorrum	1 834	143	0.09
Kryssningsfartyg	Maskinkontrollrum	141	26	0.01
Kryssningsfartyg	Brygga	38	6	0.01
Kryssningsfartyg	Hytt	49	8	0.01
Kryssningsfartyg	Mäss	80	8	0.01
Kryssningsfartyg	Byssan	82	13	0.02
Kryssningsfartyg	Lager	108	15	0.01
Kryssningsfartyg	Ute	76	15	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinrum	928	43	0.03
Kryssningsfartyg 0,1%S	Separatorrum	7 833	791	0.06
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinkontrollrum	349	22	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Brygga	35	7	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Hytt	53	7	0.03
Kryssningsfartyg 0,1%S	Mäss	83	12	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Byssan	72	11	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Lagerkontor	69	8	0.02
Kryssningsfartyg 0,1%S	Ute	89	9	0.02

Bilaga 10 Mätdata för partiklar

Tabell 10:1. Resultat för alla fartyg för partiklar PM₁₀, PM_{2.5}, elementärt och organiskt kol (EC och OC) i PM_{2.5} och nanopartiklar. Alla resultat är i enheten µg/m³ (mikrogram per kubikmeter) förutom nanopartiklar (antal/cm³). Medelvärden för några timmars provtagning.

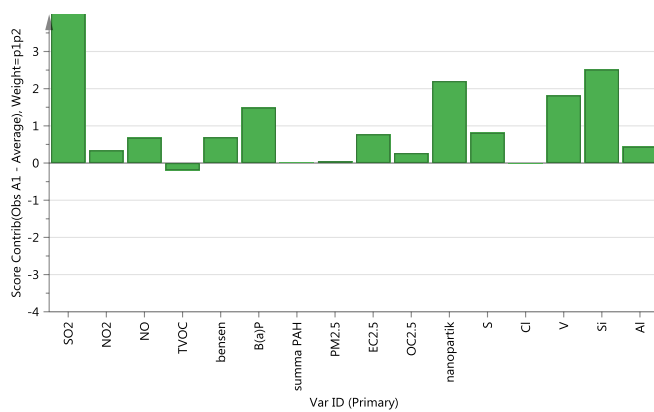
Fartyg	Mätplats	PM ₁₀	PM _{2.5}	EC	OC	Nano partiklar
Isbrytare vinter	Pannrum	26	16	2.0	14	290 000
Isbrytare vinter	Separatorrum	98	48	2.1	46	76 000
Isbrytare vinter	Manöverrum	9.4	---	---	---	32 000
Isbrytare vinter	Brygga	8.1	4.5	0.3	1.1	3 200
Isbrytare vinter	Hytt	6.1	4.2	1.1	3.0	48 000
Isbrytare vinter	Mäss	5.7	7.9	0.3	2.7	7 400
Isbrytare vinter	Däckskontor	4.9	3.4	0.1	1.0	8 600
Isbrytare vinter	Ute	9.4	6.7	0.1	5.3	35 000
Isbrytare sommar	Pannrum	22	12	0.4	4.9	240 000
Isbrytare sommar	Separatorrum	96	42	0.3	42	45 000
Isbrytare sommar	Manöverrum	6.6	4.6	0.1	3.0	4 200
Isbrytare sommar	Brygga	12	2.9	0.04	0.2	70 000
Isbrytare sommar	Hytt	15	9.3	0.6	4.4	100 000
Isbrytare sommar	Mäss	11	14	0.3	2.9	3 000
Isbrytare sommar	Däckskontor	5.6	3.9	0.3	3.6	12 000
Isbrytare sommar	Ute	34	4.6	0.3	1.0	620
Oljetankfartyg	Maskinrum	---	27	0.2	11	---
Oljetankfartyg	Separatorrum	---	270	2.8	260	---
Oljetankfartyg	Maskinkontrollrum	---	19	0.2	8.4	---
Oljetankfartyg	Brygga	---	11	0.1	4.8	---
Oljetankfartyg	Hytt	---	11	0.2	5.0	---
Oljetankfartyg	Ute	---	3.9	0.1	0.0	---
Bunkerfartyg	Maskinrum	24	23	0.7	3.9	14 000
Bunkerfartyg	Brygga	21	19	1.0	4.2	15 000
Bunkerfartyg	Hytt	29	20	1.5	4.3	16 000
Bunkerfartyg	Mäss	32	30	0.7	4.9	3 200
Bunkerfartyg	Ute Lastdäck	48	44	3.5	16	27 000
Bunkerfartyg	Ute	12	8.6	0.5	1.9	8 200

Fartyg	Mätplats	PM₁₀	PM_{2.5}	EC	OC	Nano partiklar
Minröjningsfartyg	Maskinrum	4.0	5.1	0.9	3.5	22 000
Minröjningsfartyg	Maskincentral	8.3	8.4	0.6	3.1	8 300
Minröjningsfartyg	Brygga	9.2	5.0	0.4	0.9	---
Minröjningsfartyg	Stridsledningscentral	2.6	4.6	0.1	0.6	13 000
Minröjningsfartyg	Hytt	6.0	3.8	0.1	1.1	14 000
Minröjningsfartyg	Ute	---	3.3	0.7	1.4	22 000
Korvett	Maskinrum	15	19	10	8.6	44 000
Korvett	Generatorrum	3.7	4.2	2.5	2.0	---
Korvett	Maskinkontrollrum	6.2	6.3	4.2	1.8	---
Korvett	Brygga	8.7	4.9	1.8	0.8	8 700
Korvett	Hytt	13	11	3.8	2.7	---
Korvett	Stridsledningscentral	5.3	6.0	3.5	2.0	5 700
Korvett	Ute	---	---	---	---	44 000
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinrum	32	21	0.9	20	40 000
Ubåtsräddningsfartyg	Separatorrum	22	13	0.3	15	12 000
Ubåtsräddningsfartyg	Maskinkontrollrum	15	5.8	0.3	2.2	26 000
Ubåtsräddningsfartyg	Brygga	12	3.1	0.3	2.2	18 000
Ubåtsräddningsfartyg	Hytt	4.8	2.1	0.2	1.6	8 100
Ubåtsräddningsfartyg	Mäss	9.1	2.2	0.2	0.8	15 000
Ubåtsräddningsfartyg	Byssan	26	5.8	0.3	1.6	10 000
Ubåtsräddningsfartyg	Dykcentralen	3.3	4.4	0.3	2.5	16 000
Ubåtsräddningsfartyg	Ute	12	8.1	0.6	3.2	38 000
Ro-pax fartyg 1	Maskinrum	12	5.4	2.0	3.4	23 000
Ro-pax fartyg 1	Separatorrum	24	11	1.0	9.2	8 200
Ro-pax fartyg 1	Maskinkontrollrum	9.4	2.8	0.4	0.5	3 900
Ro-pax fartyg 1	Brygga	2.1	2.2	0.4	1.0	14 000
Ro-pax fartyg 1	Bildäck	46	11	1.7	1.6	19 000
Ro-pax fartyg 1	Ute	7.6	4.8	1.1	1.3	23 000
Ro-pax fartyg 2	Maskinrum	12	7.2	0.1	0.7	2 000
Ro-pax fartyg 2	Separatorrum	6.0	5.7	0.2	1.0	360
Ro-pax fartyg 2	Maskinkontrollrum	54	19	1.4	5.6	---
Ro-pax fartyg 2	Brygga	---	5.4	0.1	0.7	---
Ro-pax fartyg 2	Hytt	4.3	6.0	0.8	2.9	---
Ro-pax fartyg 2	Mäss	34	18	1.0	3.6	---
Ro-pax fartyg 2	Bildäck 3	84	22	1.6	4.1	---
Ro-pax fartyg 2	Ute	68	7.4	0.6	3.9	---

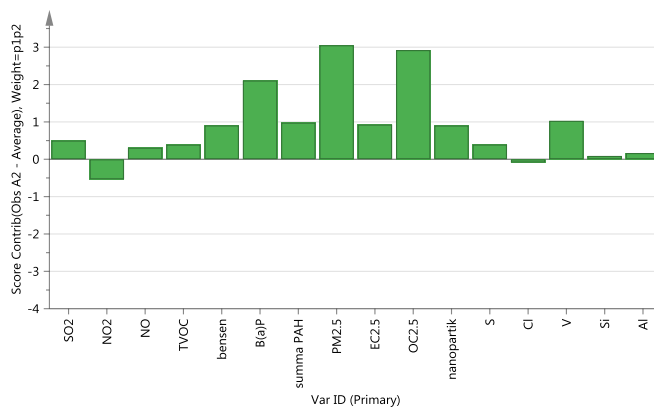
Fartyg	Mätplats	PM₁₀	PM_{2.5}	EC	OC	Nano partiklar
Kryssningsfartyg	Maskinrum	26	12	0.9	4.4	59 000
Kryssningsfartyg	Separatorrum	12	7.8	0.6	1.3	13 000
Kryssningsfartyg	Maskinkontrollrum	3.1	4.3	0.6	1.6	11 000
Kryssningsfartyg	Brygga	1.8	2.2	0.4	0.7	5 000
Kryssningsfartyg	Hytt	0.9	2.7	0.5	1.3	4 600
Kryssningsfartyg	Mäss	3.9	3.7	0.2	1.1	4 000
Kryssningsfartyg	Byssan	33	6.2	0.1	1.3	27 000
Kryssningsfartyg	Lager	8.7	1.6	0.1	1.1	540
Kryssningsfartyg	Ute	---	2.6	0.5	1.2	59 000
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinrum	8.0	11	0.1	6.3	6 200
Kryssningsfartyg 0,1%S	Separatorrum	10	2.9	0.1	1.2	17 000
Kryssningsfartyg 0,1%S	Maskinkontrollrum	1.9	2.5	0.1	0.9	5 000
Kryssningsfartyg 0,1%S	Brygga	2.3	1.5	0.1	0.8	1 2 000
Kryssningsfartyg 0,1%S	Hytt	1.0	1.8	0.1	0.9	---
Kryssningsfartyg 0,1%S	Mäss	1.9	2.4	0.1	0.9	12 000
Kryssningsfartyg 0,1%S	Byssan	26	7.4	0.1	2.5	8 200
Kryssningsfartyg 0,1%S	Lagerkontor	1.2	0.7	---	---	3 500
Kryssningsfartyg 0,1%S	Ute	5.7	12	0.1	0.7	4 300

Bilaga 11 Korrelationsplottar från PCA

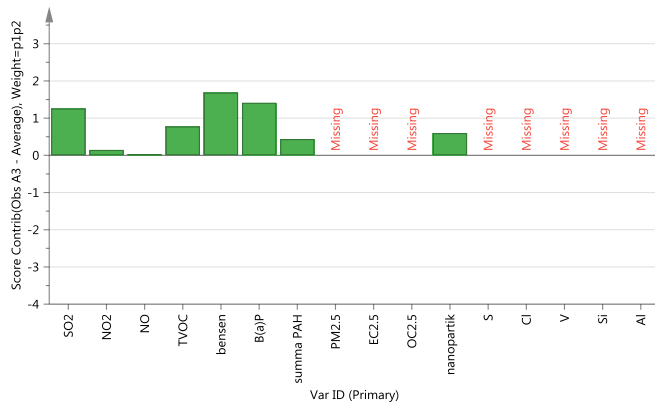
I denna bilaga samlas de s.k. korrelationsplottarna från principalkomponentanalysen. De gröna staplarna visar hur de olika luftföroreningarna från en mätplats på ett fartyg skiljer sig från genomsnittliga halter från alla mätpunkterna på alla fartyg; dvs. vilka föroreningar finns i högre eller lägre halter på de givna mätplatserna. Skalan på y-axel är relativ.



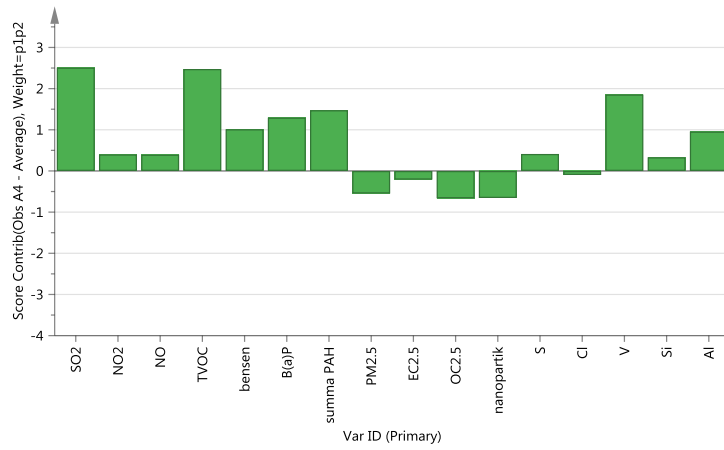
Figur 11:1. Isbrytare vinter – pannrum (A1).



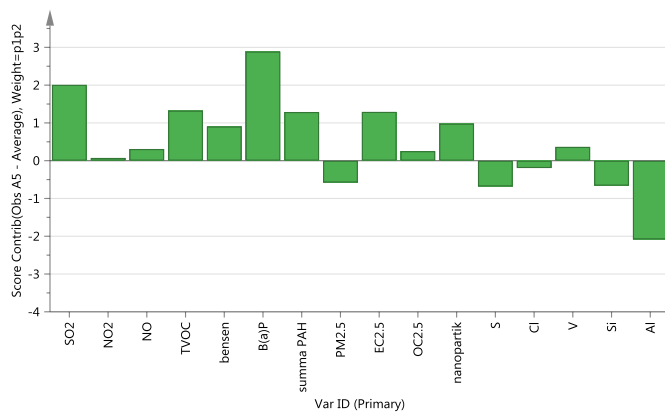
Figur 11:2. Isbrytare vinter – separatorrum (A2).



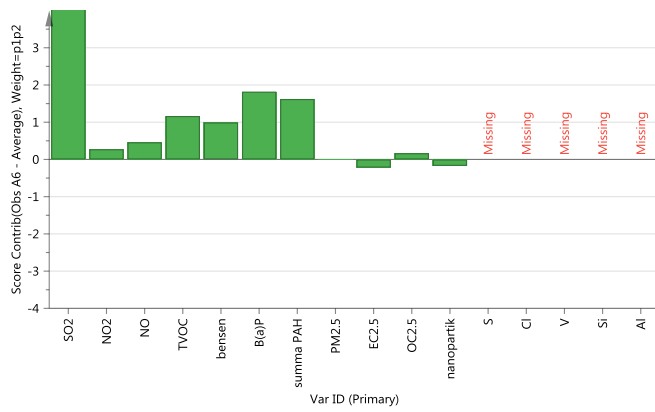
Figur 11:3. Isbrytare vinter – manöverrum (A3).



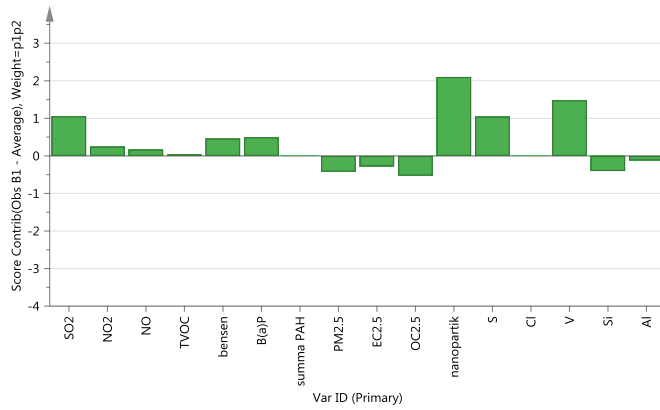
Figur 11:4. Isbrytare vinter – brygga (A4).



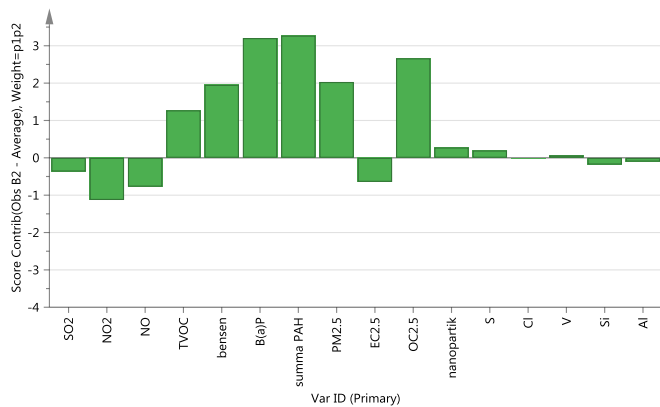
Figur 11:5. Isbrytare vinter – hytt (A5).



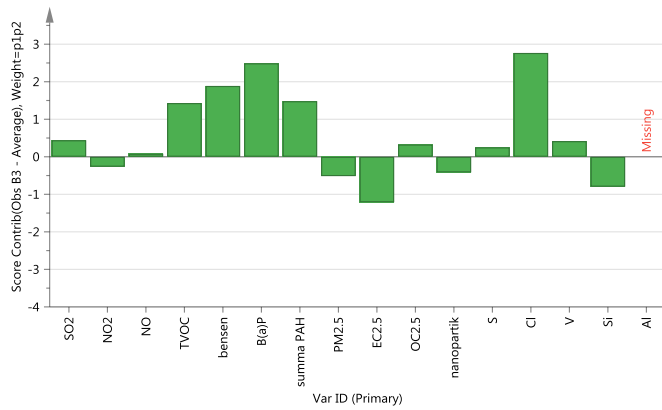
Figur 11:6. Isbrytare vinter – mäss (A6).



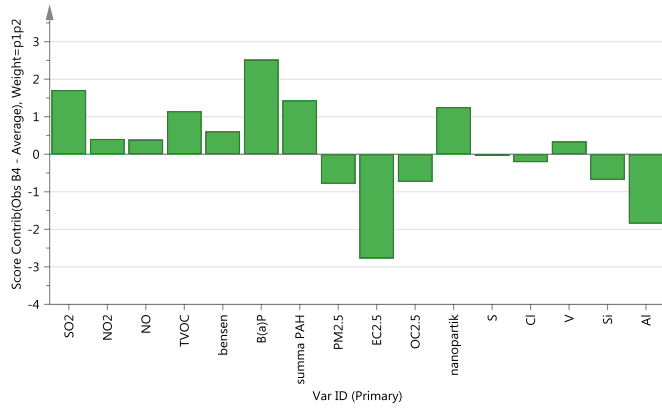
Figur 11:7. Isbrytare sommar – pannrum (B1).



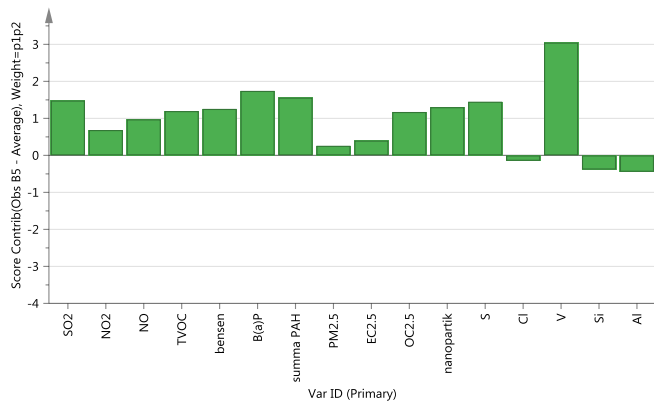
Figur 11:8. Isbrytare sommar – separatorrum (B2).



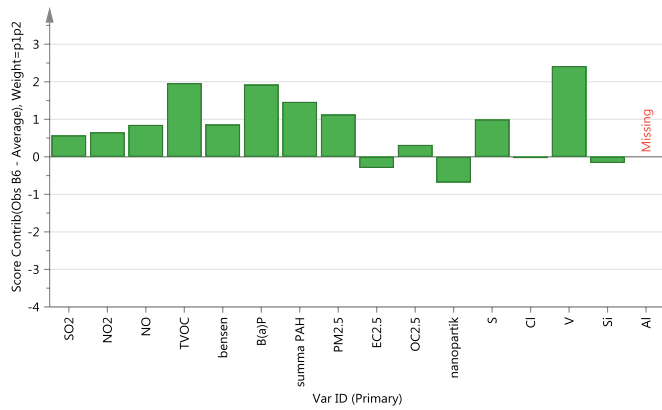
Figur 11:9. Isbrytare sommar – manöverrum (B3).



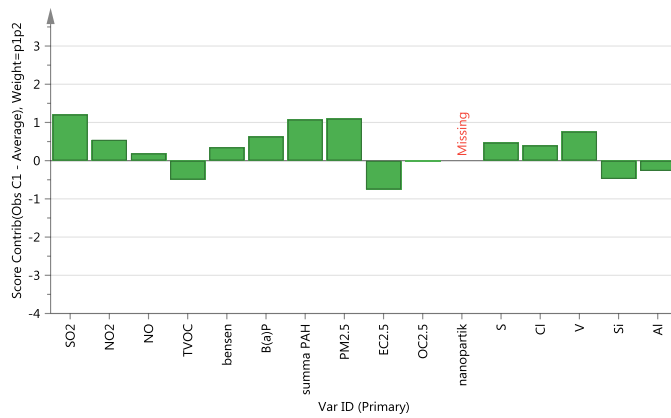
Figur 11:10. Isbrytare sommar – brygga (B4).



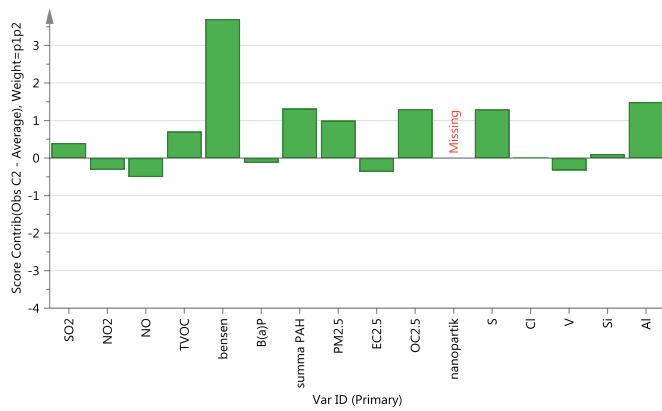
Figur 11:11. Isbrytare sommar – hytt (B5).



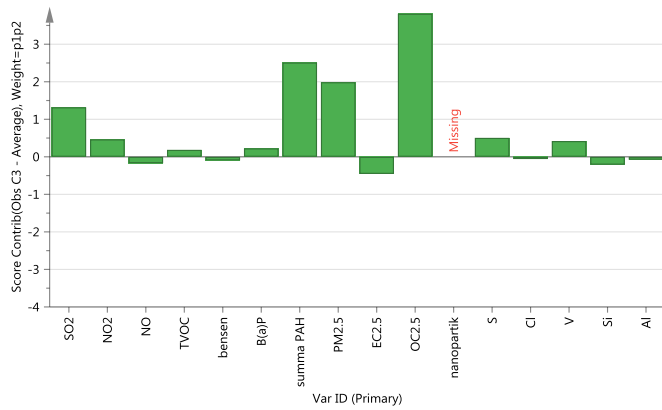
Figur 11:12. Isbrytare sommar – mäss (B6).



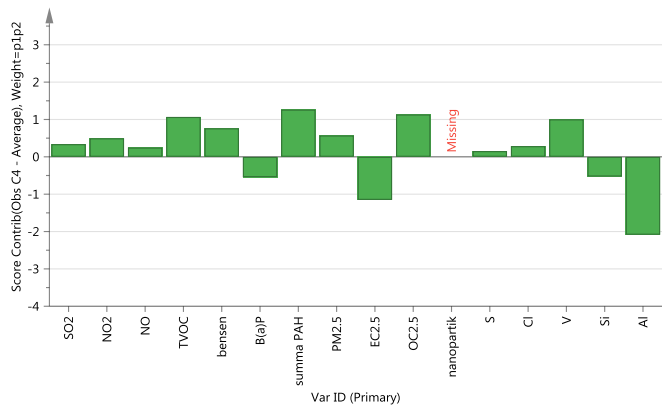
Figur 11:13. Oljetankfartyg – maskinrum (C1).



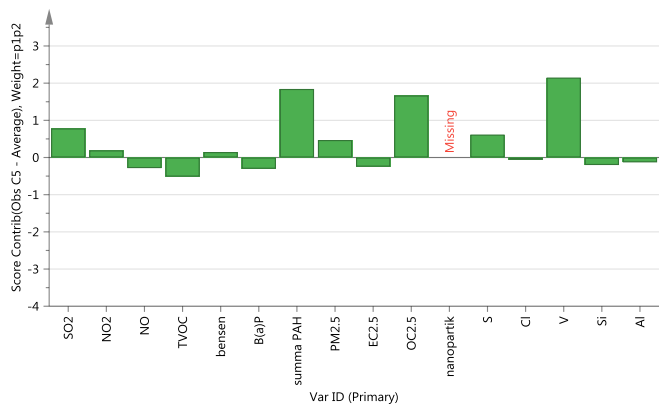
Figur 11:14. Oljetankfartyg – separatorrum (C2).



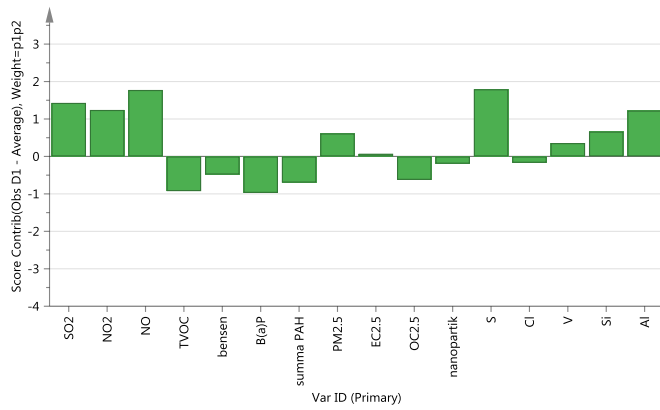
Figur 11:15. Oljetankfartyg – maskinkontrollrum (C3).



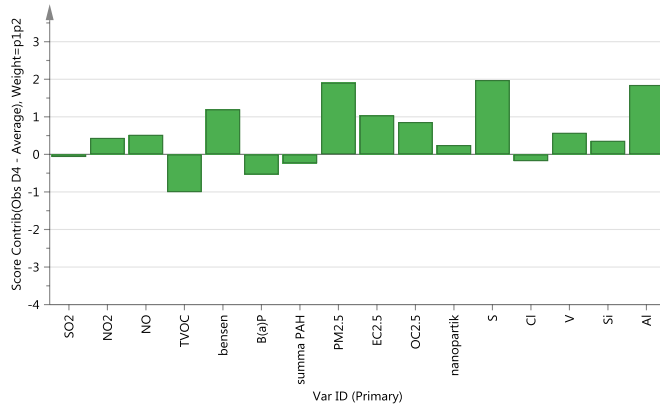
Figur 11:16. Oljetankfartyg – brygga (C4).



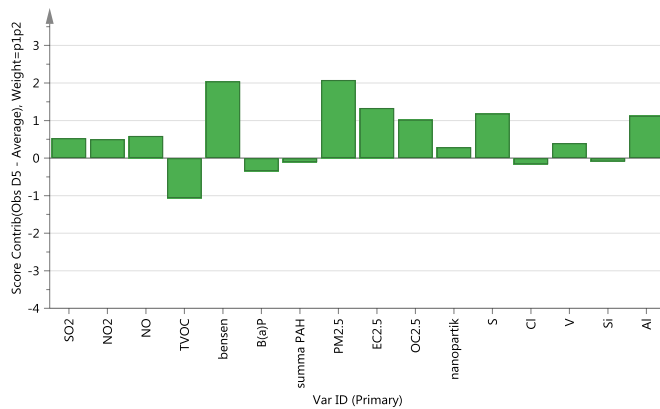
Figur 11:17. Oljetankfartyg – hytt (C5).



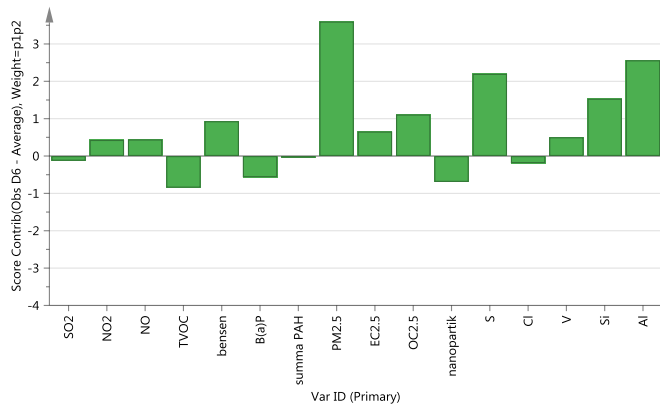
Figur 11:18. Bunkerfartyg – maskinrum (D1).



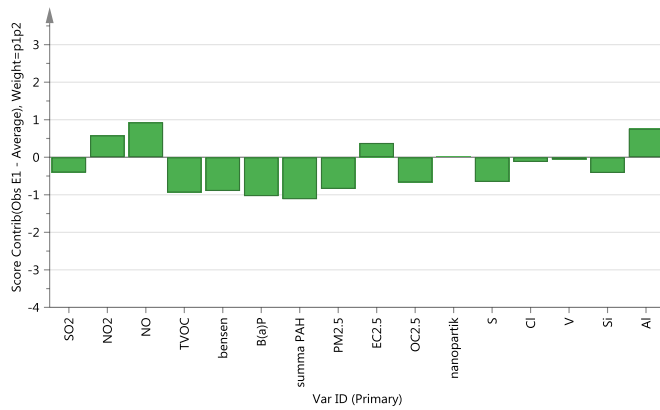
Figur 11:19. Bunkerfartyg – brygga (D4).



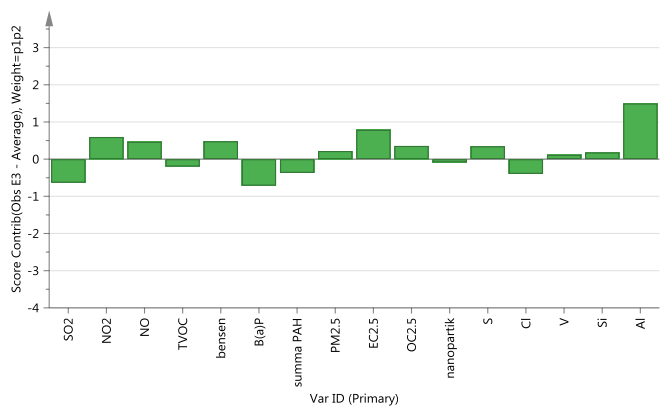
Figur 11:20. Bunkerfartyg – hytt (D5).



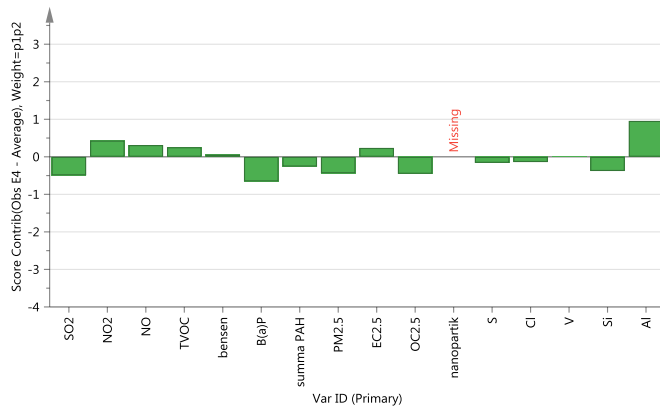
Figur 11:21. Bunkerfartyg – mäss (D6).



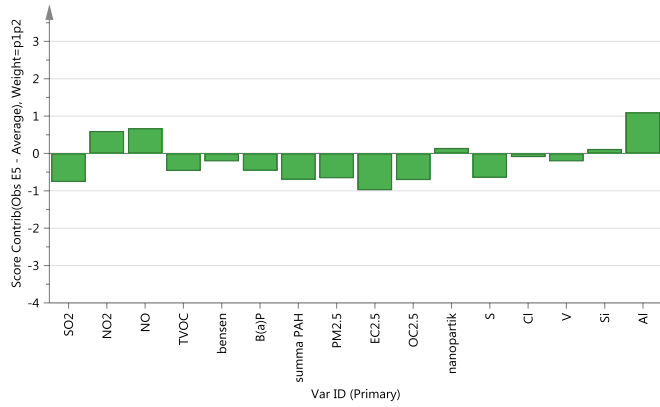
Figur 11:22. Minröjningsfartyg – maskinrum (E1).



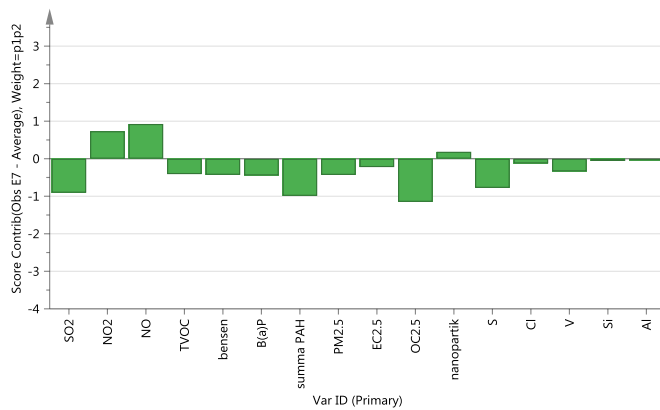
Figur 11:23. Minröjningsfartyg – maskincentral (E3).



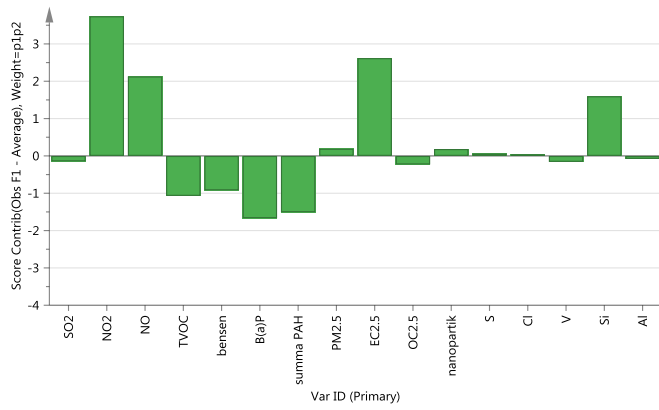
Figur 11:24. Minröjningsfartyg – brygga (E4).



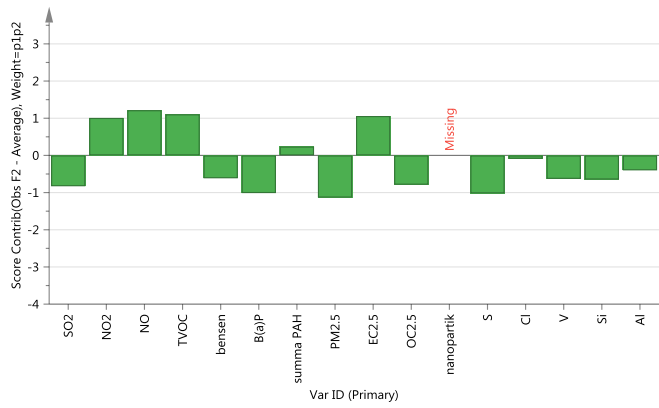
Figur 11:25. Minröjningsfartyg – hytt (E5).



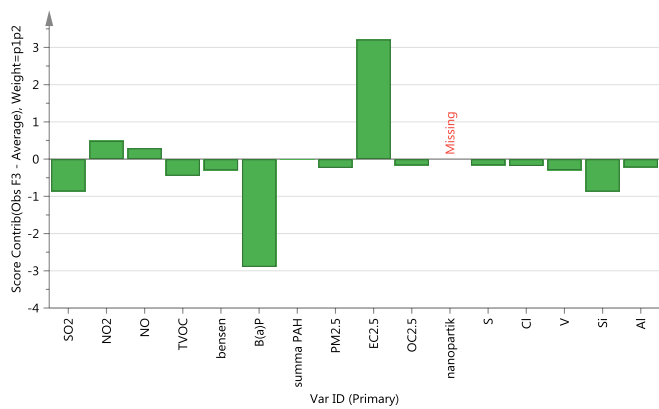
Figur 11:26. Minröjningsfartyg – stridsledningscentral (E7).



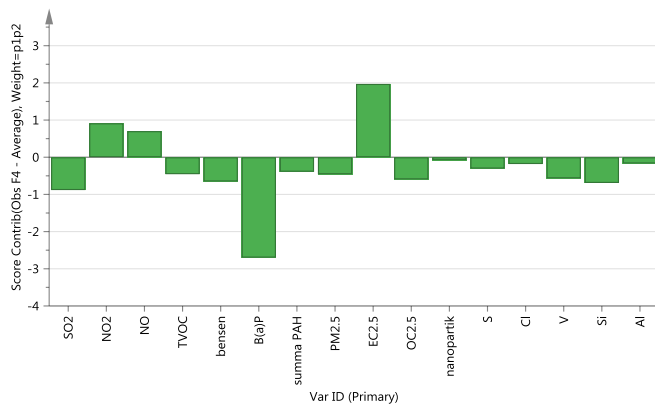
Figur 11:27. Korvett – maskinrum (F1).



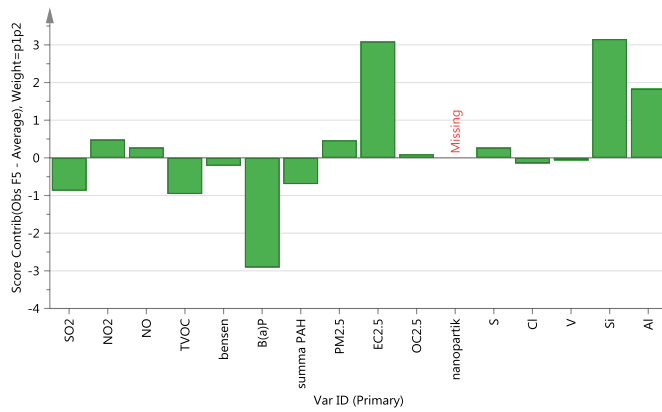
Figur 11:28. Korvett – generatorrum (F2).



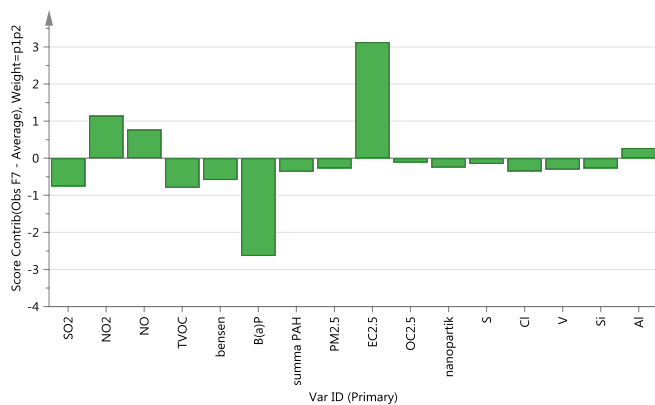
Figur 11:29. Korvett – maskinkontrollrum (F3).



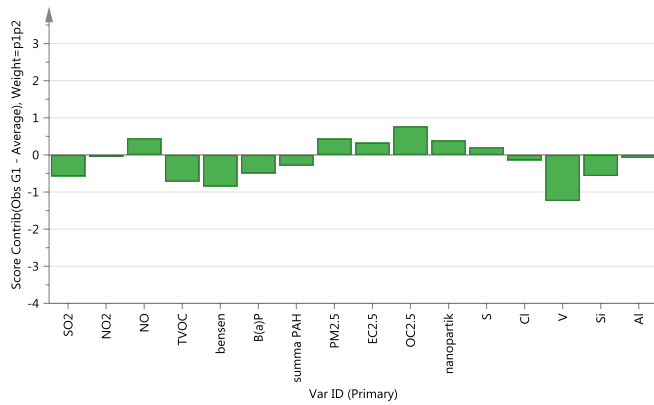
Figur 11:30. Korvett – brygga (F4).



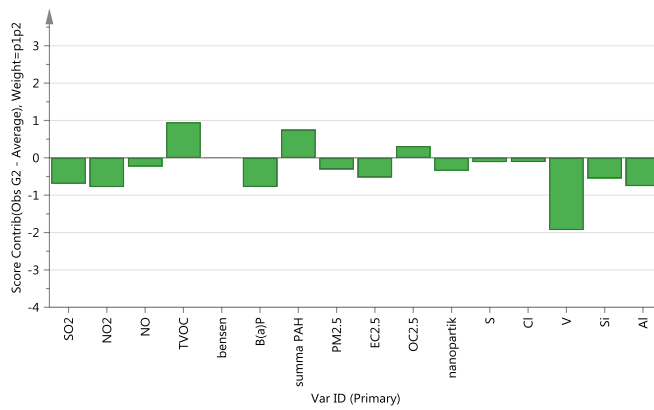
Figur 11:31. Korvett – hytt (F5).



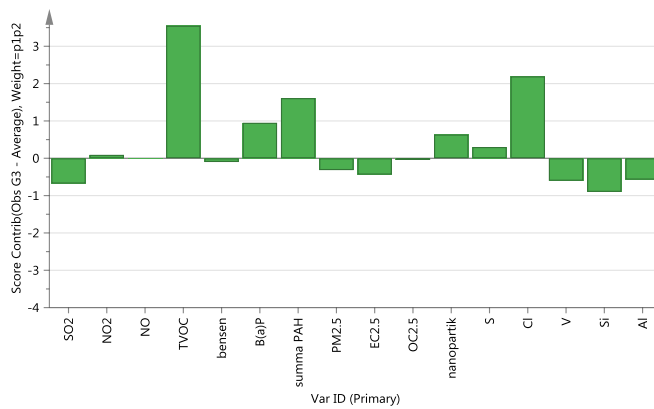
Figur 11:32. Korvett – stridsledningscentral (F7).



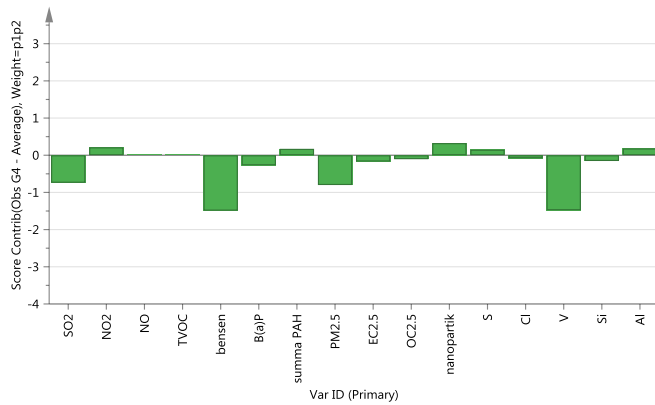
Figur 11:33. Ubåtsräddningsfartyg – maskinrum (G1).



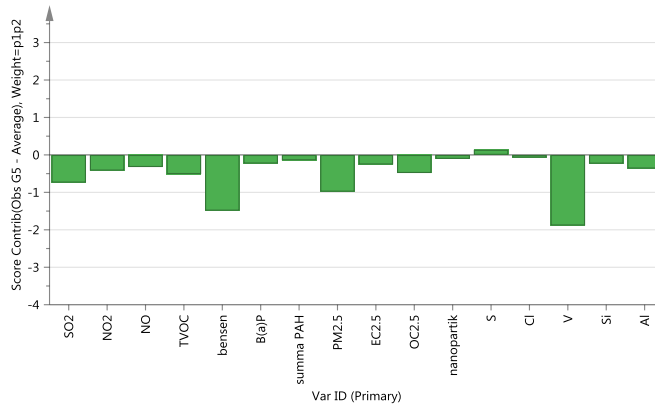
Figur 11:34. Ubåtsräddningsfartyg – separatorrum (G2).



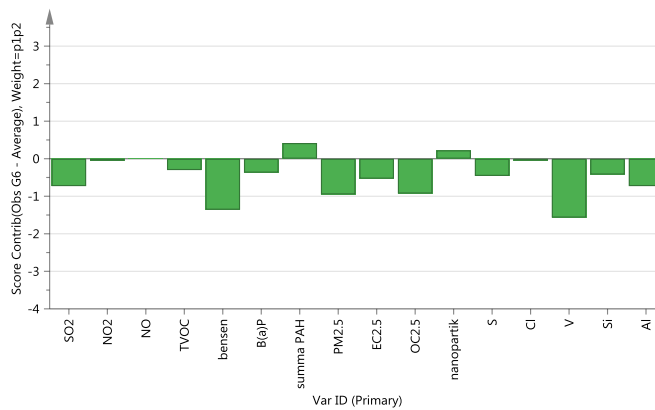
Figur 11:35. Ubåtsräddningsfartyg – maskinkontrollrum (G3).



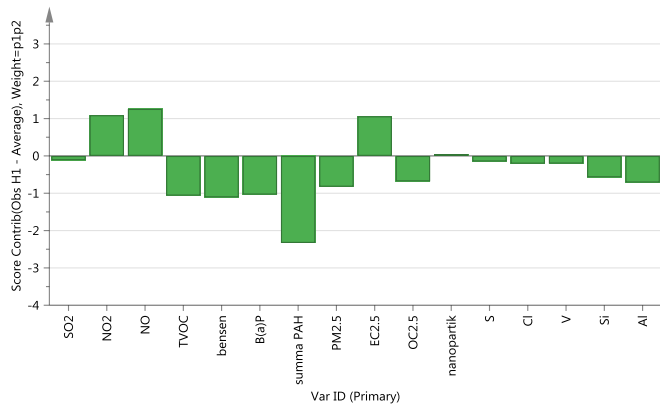
Figur 11:36. Ubåtsräddningsfartyg – brygga (G4).



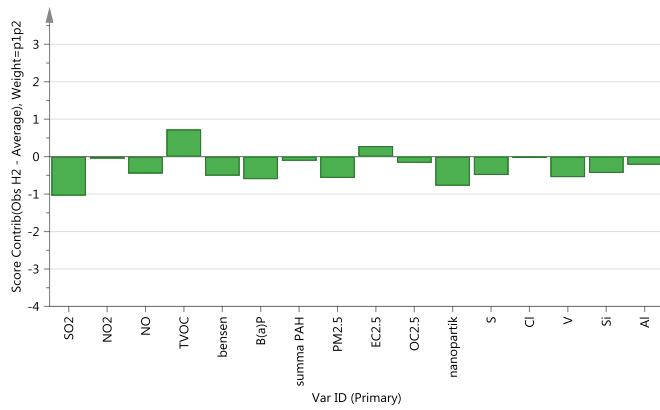
Figur 11:37. Ubåtsräddningsfartyg – hytt (G5).



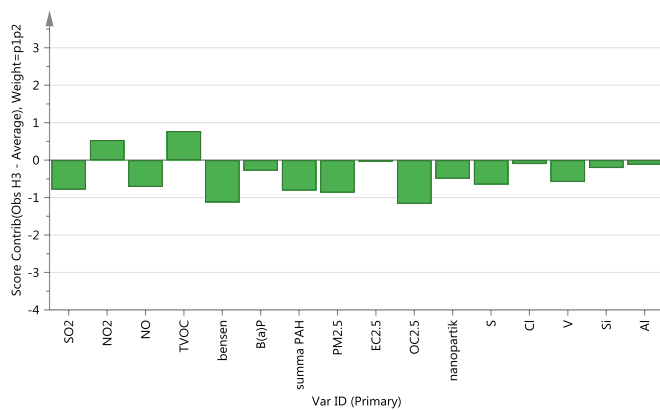
Figur 11:38. Ubåtsräddningsfartyg – mäss (G6).



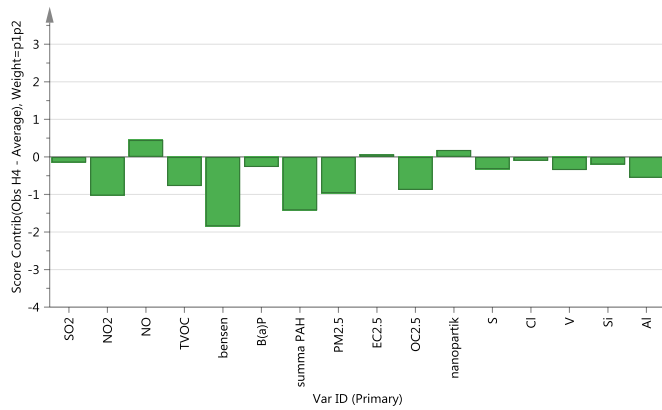
Figur 11:39. Ro-pax fartyg 1– maskinrum (H1).



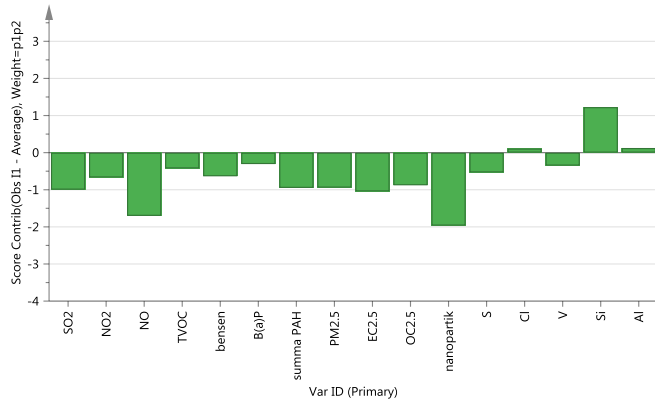
Figur 11:40. Ro-pax fartyg 1– separatorrum (H2).



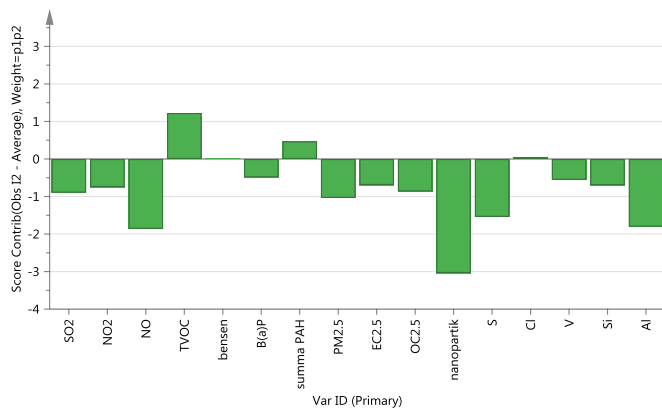
Figur 11:41. Ro-pax fartyg 1– maskinkontrollrum (H3).



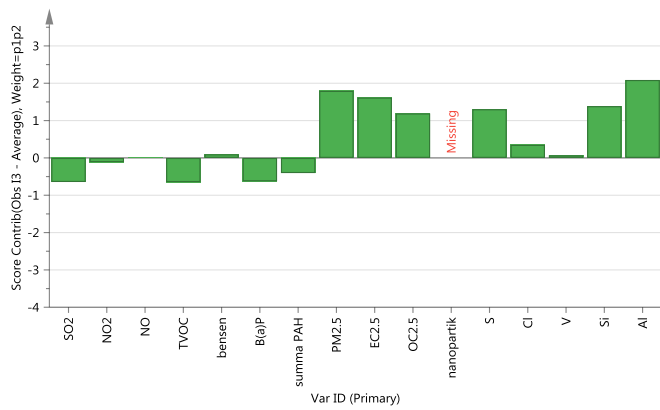
Figur 11:42. Ro-pax fartyg 1– brygga (H4).



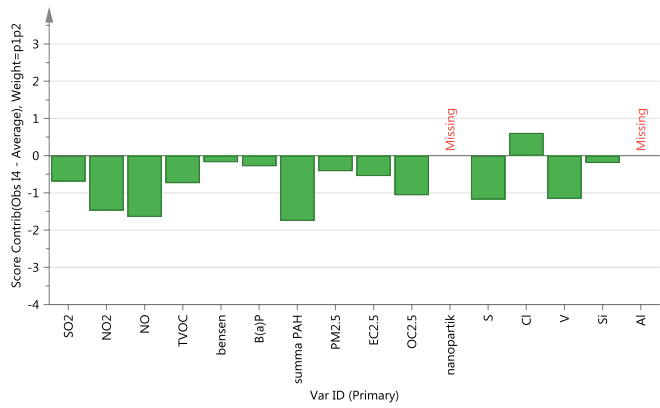
Figur 11:43. Ro-pax fartyg 2– maskinrum (I1).



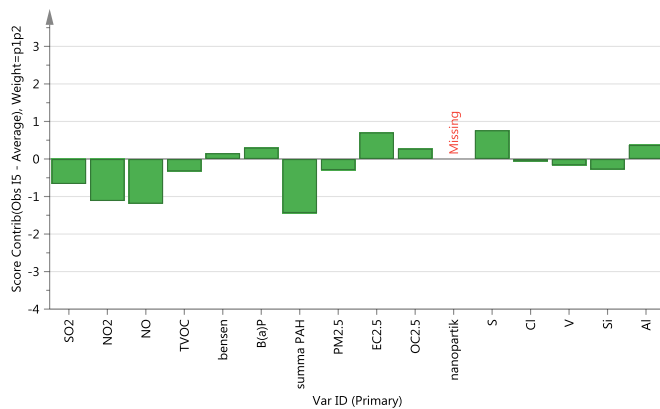
Figur 11:44. Ro-pax fartyg 2– separatorrum (I2).



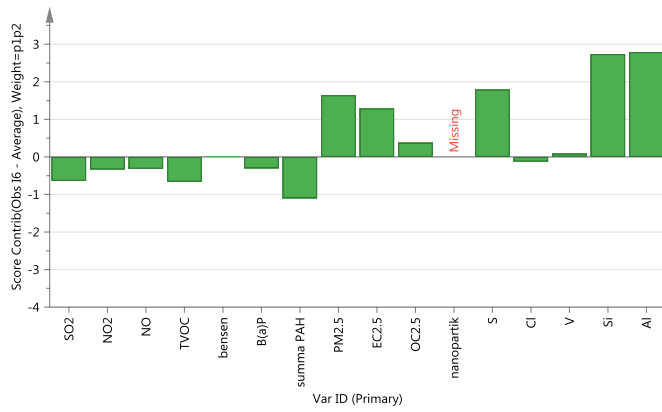
Figur 11:45. Ro-pax fartyg 2- maskinkontrollrum (I3).



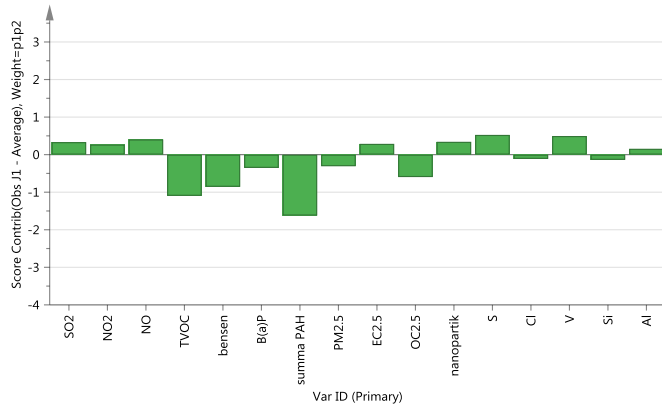
Figur 11:46. Ro-pax fartyg 2- brygga (I4).



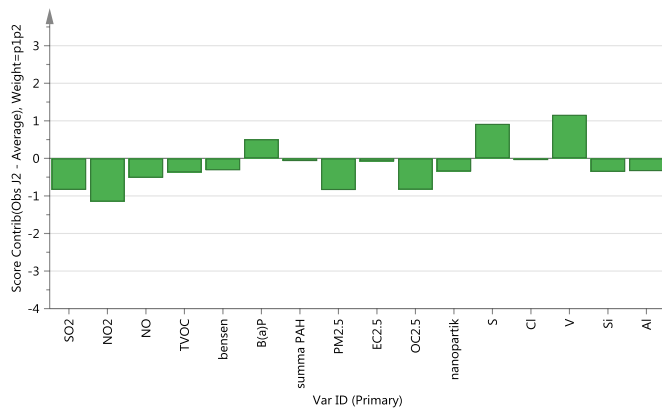
Figur 11:47. Ro-pax fartyg 2- hytt (I5).



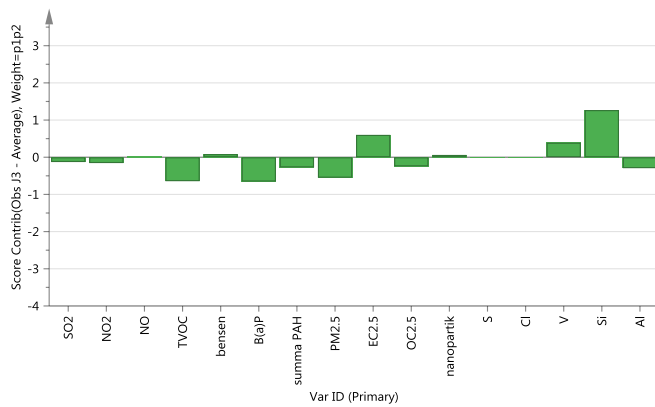
Figur 11:48. Ro-pax fartyg 2- mäss (I6).



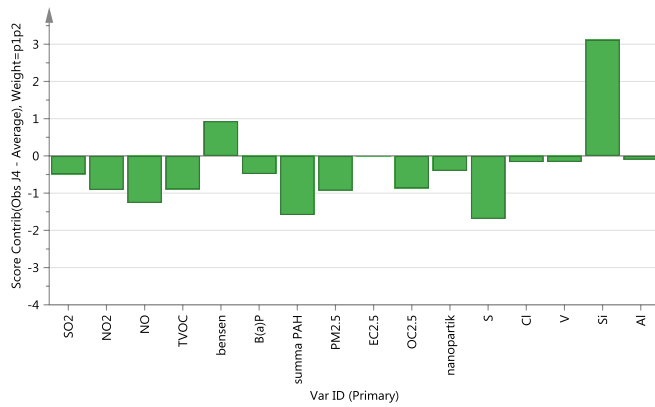
Figur 11:49. Kryssningsfartyg- maskinrum (J1).



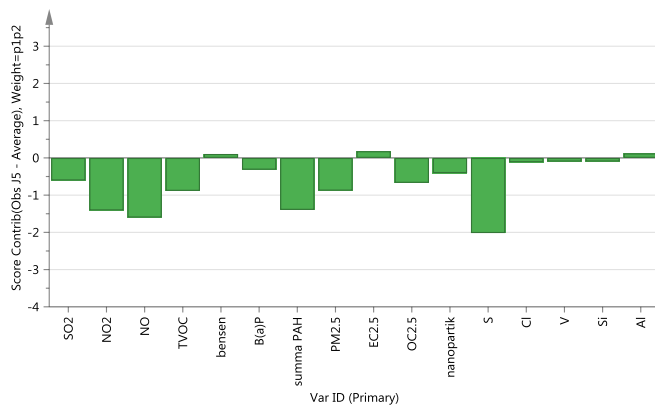
Figur 11:50. Kryssningsfartyg- separatorrum (J2).



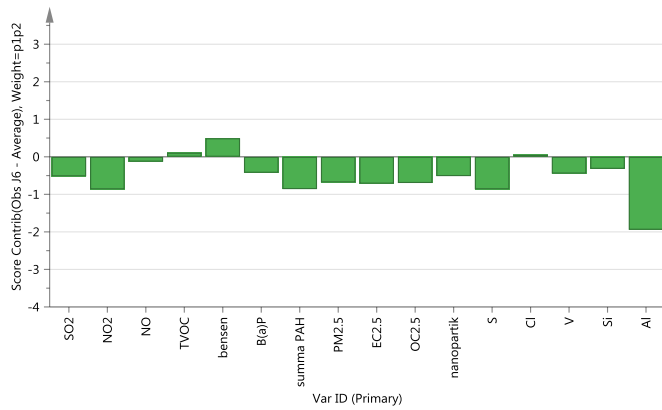
Figur 11:51. Kryssningsfartyg– maskinkontrollrum (J3).



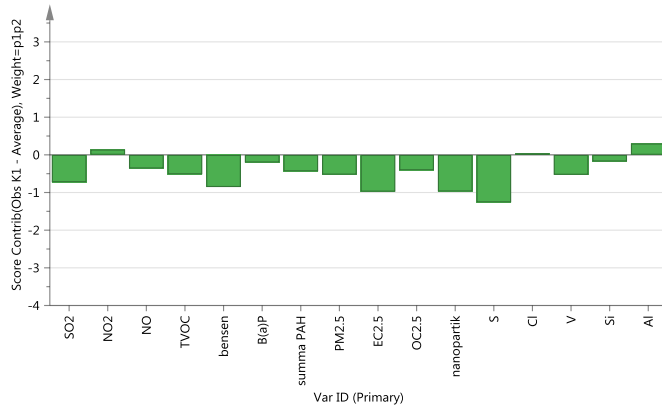
Figur 11:52. Kryssningsfartyg– brygga (J4).



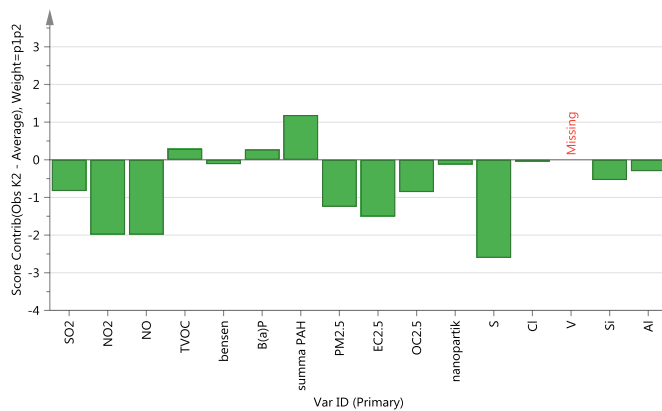
Figur 11:53. Kryssningsfartyg– hytt (J5).



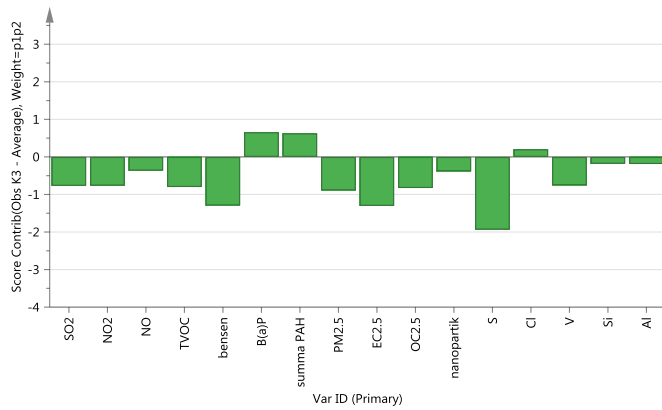
Figur 11:54. Kryssningsfartyg- mäss (J6).



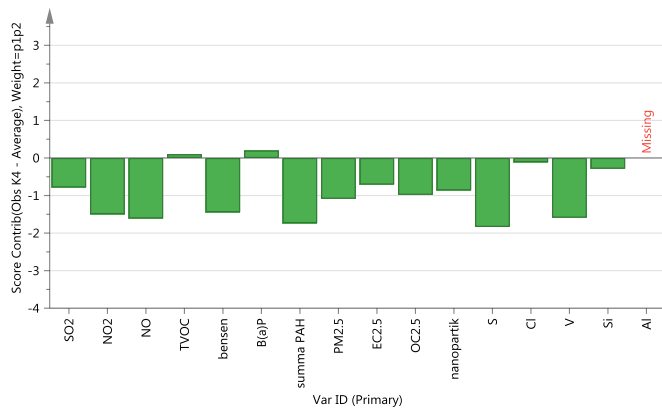
Figur 11:55. Kryssningsfartyg0,1% S- maskinrum (K1).



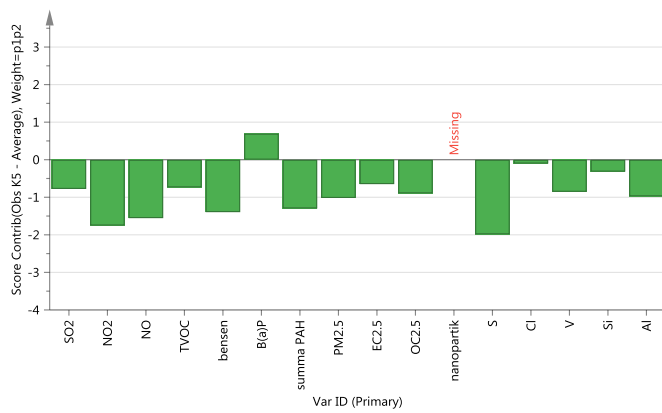
Figur 11:56. Kryssningsfartyg0,1% S- separatorrum (K2).



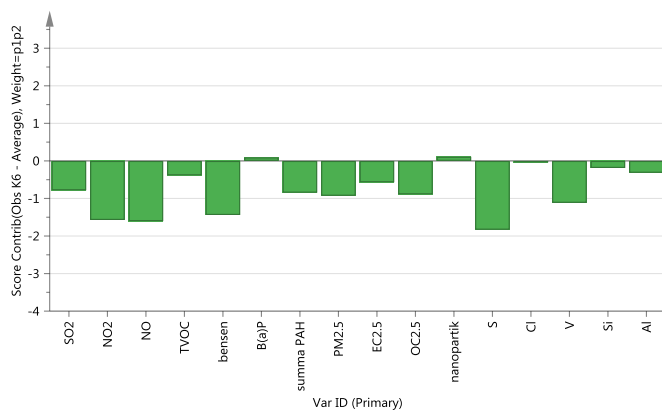
Figur 11:57. Kryssningsfartyg0,1% S- maskinkontrollrum (K3).



Figur 11:58. Kryssningsfartyg0,1% S- brygga (K4).



Figur 11:59. Kryssningsfartyg0,1% S- hytt (K5).



Figur 11:60. Kryssningsfartygo,1% S- mäss (K6) .

Bilaga 12 Indoor Air Pollution Index för fartyg

Beräkning av luftföroreningsindex, Ship Indoor Air Pollution Index (SIAPI), bygger på en procedur som utvecklats för kontorsbyggnader (Sofuoglu och Moschandreas, 2003). Indexet baseras på uppmätta halter av luftföroreningar i 41 kontorsbyggnader. Följande åtta luftföroreningar ingick i formulering av indexet: formaldehyd, summa flyktiga organiska ämnen (TVOC, Total Volatile Organic Compounds), kolmonoxid, radon, PM₁₀, PM_{2.5}, svampar (mögel) och bakterier. Det finns ett rekommenderat, hälsobaserat riktvärde för alla dessa luftföroreningar som i beräkningen används som avgränsning (demarcation). Man har diskuterat olika sätt för beräkning av indexet, s.k. aggregeringsfunktion: linjär summa av delindex, s.k. maximum operator, icke-linjärt medelvärde och aritmetiskt medelvärde; det sistnämnda bedömdes som lämpligaste sätt för beräkning av indexet.

Vi har valt ut följande luftföroreningar som samtliga har rekommenderade riktvärden för inommiljö: organiska ämnen TVOC, bensen och benso(a)pyren, oorganiska luftföroreningarna NO₂ och SO₂ samt partiklar PM₁₀ och PM_{2.5}. Riktvärden framgår av Tabell 12:1 där även den tidperiod som medelvärdet beräknas för anges inom parentes; Fullständiga referenser finns i avsnittet litteraturförteckning (Referenser) i rapporten.

Tabell 12:1. Avgränsningsvärden för luftföroreningsindex SIAPI (Ship Indoor Air Pollution Index).

Luftförorening	Avgränsning (demarcation; dmc) (medelvärderingstid)	Referens
TVOC	300 µg/m ³ (---)	UBA
Bensen	5 µg/m ³ (1 år)	Miljö kvalitetsnorm
Benso(a)pyren	1,0 ng/m ³ (1 år)	Miljö kvalitetsnorm
SO ₂ svaveldioxid	20 µg/m ³ (24 timmar)	WHO 2005
NO ₂ kvävedioxid	40 µg/m ³ (1 år)	WHO 2010
PM ₁₀	50 µg/m ³ (24 timmar)	WHO 2005
PM _{2.5}	25 µg/m ³ (24 timmar)	WHO 2005

Ett delindex för varje luftförorening och varje individuell mätplats beräknas enligt den följande ekvationen (1):

$$I_{API}(\text{ämne}) = 10 \left[1 - \frac{C_{\max} - C_{\text{obs}}}{C_{\max} - C_{\min}} \cdot \frac{C_{\text{dmc}} - C_{\text{obs}}}{C_{\text{dmc}}} \right] \quad (1)$$

Uppmätta halter/värden (C_{obs} ; observerat värde) för varje enskild luftförorening (Tabell 12:1) som ingår i beräkning av indexet, från alla mätplatser på alla fartyg, rangordnades från minimum (C_{\min} ; lägsta värdet för ett ämne) till maximum (C_{\max} ; högsta värdet för ämne). Alla mätdata är presenterade i Bilagor 7, 8 och 10. Avgränsningsvärden från

Tabell 12:1 (C^{dmc}) representerar standarder, riktvärden och förslag på föroreningshalter som har samband med hälsoeffekter.

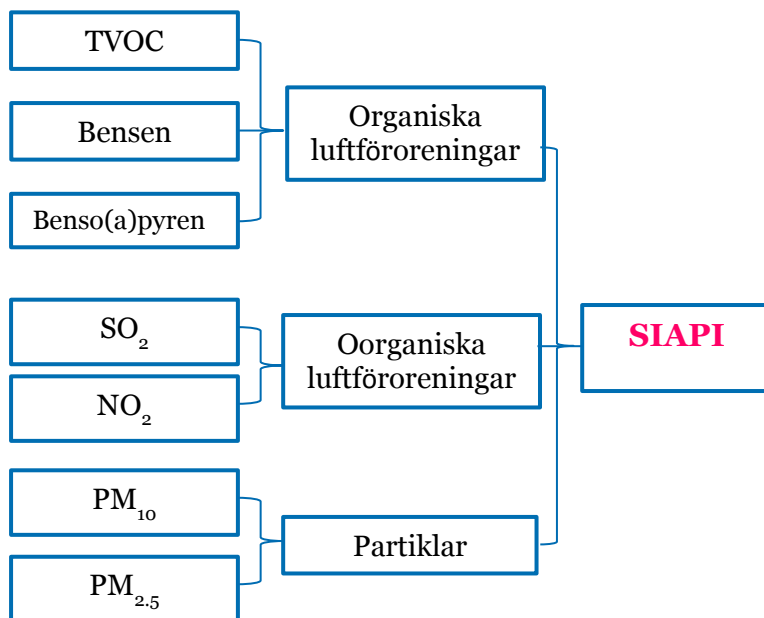
Indexet består av tre delar:

- lokaliseringsterm [$C^{max} - C^{obs}$]
- normaliseringsterm [$C^{max} - C^{min}$]
- viktningsterm [$(C^{dmc} - C^{obs})/C^{dmc}$]

Lokaliseringstermen bestämmer den uppmätta koncentrationens ”avstånd” från den maximala koncentrationen; detta avstånd normaliseras över hela området av uppmätta halter genom normaliseringstermen och slutligen viktas med viktningstermen. Vikten av en förorening bestäms alltså av dess hälsoeffekter genom att använda hälsobaserade riktvärden.

Indexet räknades för varje mätpunkt genom att först medelvärdera delindexen för TVOC, bensen och benso(a)pyren till ”organiska luftföroreningarna”; medelvärdet av delindexen för SO_2 och NO_2 blev ”oorganiska luftföroreningarna”; och medelvärdet av PM_{10} och $PM_{2.5}$ blev ”partiklar”. Det slutliga indexet FIAPI är ett medelvärde över organiska luftföroreningar, oorganiska luftföroreningar och partiklar.

Figur 12:1 visar den träliknande strukturen som användes för framtagning av FIAPI, luftföroreningsindex för fartyg.



Figur 12:1. Trästruktur för beräkning av FIAPI.

Beräkningssätt för fartygen skiljer från hur kontors-IAPI är framtagna. Där har man definierat C^{\max} som 95-percentilvärde och C^{\min} som 5-percentilvärde. Alla värden över det nya maximum ersattes med 95-percentilvärdet och alla värden under det nya minimum ersattes med 5-percentilvärdet i lokaliseringstermen; vilket innebar att distributionen blev 10% smalare. I viktningstermen ersattes alla C^{obs} som var större med C^{dmc} med avgränsningsvärdet; då blev distributionen plattare. Vi har bestämt att behålla alla värden och att relatera dem till riktvärden utan begränsningar.

SI-API värden i Figur 22 i rapporten är medelvärden av alla mätpunkter för varje fartyg. Indexen i Figur 23 är beräknade som medelvärden för maskinutrymmen maskinrum och separatorrum samt för inommiljöerna brygga, hytt, maskinkontrollrum och mäss.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel: 010 788 65 00 Fax: 010 788 65 90
www.ivl.se