Linnéuniversitetet
Kalmar Växjö

Självständigt arbete

En jämförande studie av luftkvalitet ombord fartyget M/S Aurora af Helsingborg före och efter konvertering från dieselelektrisk drift till batteridrift

Författare: Alva Heimdahl & Emil Lilja
Handledare: Cecilia Österman
Program: Sjöingenjörsprogrammet
Ämne: Självständigt arbete
Nivå: 15hp
Kusrkod:1SJ51I

Linneuniversitetet

Kalmar Sjöfartshögskola

Utbildningsprogram:	Sjöingenjörsprogrammet
Arbetets omfattning:	Självständigt arbete, 15hp
Titel:	En jämförande studie av luftkvalitet ombord fartyget M/S Aurora af Helsingborg före och efter konvertering från dieselelektrisk drift till batteridrift
Författare:	Alva Heimdahl & Emil Lilja
Handledare:	Cecilia Österman

Sammanfattning

Syftet med arbetet har varit att undersöka hur arbetsmiljön och innemiljön med avseende på luftkvalitet har förändrats ombord fartyget M/S Aurora af Helsingborg efter konvertering från dieselelektrisk- till batteridrift. Resultatet har sedan jämförts med Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden, WHOs riktlinjer och tidigare mätning på Aurora som utfördes 2014, innan konverteringen till batteridrift. Då bestod framdrivningen av fyra Wärtsilä-Vasa 6R32E dieselmotorer som körde på miljödiesel.

Under sju dagar i mars 2019, från nionde till sextonde, har mätdata samlats in på fartyget Aurora genom olika passiva provtagare för: Polycykliska aromatiska kolväten (PAH), lättflyktiga organiska ämnen (TVOC), temperatur, relativ luftfuktighet, partiklar, SO_2 och NO_2.

Resultaten av mätvärdena visade att det är bra Luftkvalitet ombord på fartyget och att innemiljön blivit bättre sedan konverteringen. Alla uppmätta halter låg långt under de hygieniska gränsvärdena som Arbetsmiljöverket tagit fram. Nivåerna låg även under riktlinjerna bortsett från TVOC i separatorrummet där halterna är betydligt högre än riktvärdet. Arbetsuppgifterna ombord Aurora har förändrats till det bättre sedan konverteringen med bland annat mindre hantering av oljeprodukter.

Nyckelord

Luftkvalitet, exponering, arbetsmiljö, innemiljö, bensen, polycykliska aromatiska kolväten, kvävedioxid, dieselavgaser.

Linneaus University

Kalmar Maritime Academy

Degree Course:	Marine Engineering
Level:	Diploma Thesis, 15 ECTS
Title:	A comparison study for indoor air quality onboard the vessel M/S Aurora af Helsingborg before and after conversion from diesel-electric operation to battery operation
Authors:	Alva Heimdahl & Emil Lilja
Supervisor:	Cecilia Österman

Abstract

The purpose of this study is to examine how the work environment and indoor air quality has changed onboard M/S Aurora af Helsingborg after the conversion from diesel electric to battery. The results have been compared to Swedish Work Environment Authority (Arbetsmiljöverket) hygienic exposure limits, World Health Organizations (WHO) guidelines and previous measurements from 2014 done on Aurora before the conversion to battery drive. At that time Aurora was propelled by four Wärtsilä-Vasa 6R32E diesel engines running on environmental diesel.

During seven days in March from 9th to 16th 2019, data was collected on the vessel Aurora by different types of passive samplers: Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), benzo(a)pyrene, total volatile organic substances (TVOC), benzene, temperature, relative humidity, particulate matter (PM), SO_2, NO_2.

The result from the data collected showed that the indoor air quality onboard and the inside environment has improved after the conversion. All measured data were much lower than the hygienic limit values that Swedish Work Environment Authority has set. The values of the data were also lower than recommendations except from TVOC in purifier room. The duties on board Aurora has changed for the better since the conversion, including less management of oil products.

Keyword

Air quality, exposure, work environment, indoor environment, benzene, polycyclic aromatic hydrocarbons, nitrogen dioxide, diesel exhaust.

Förord

Vi vill framförallt tacka vår handledare Cecilia Österman för stöttning och hjälp under arbetets gång. Vi vill även tacka Sarka Langer och IVL Svenska Miljöinstitutet, för att vi fått chansen att göra det här arbetet. Ett stort tack vill vi också säga till besättningen på Aurora och rederiet för att vi fått komma ombord och ta mätningar.

Förkortningar och definitioner

AML	Arbetsmiljölagen
B(a)P	Benso(a)Pyren – Ett PAH med starkt samband till canceruppkomst
Brygga	Platsen där kapten navigerar fartyget
Byssa	Ett annat ord för kök ombord på ett fartyg
CO	Kolmonoxid – Giftig gas som försämrar syretransporten i kroppen
CO_2	Koldioxid – Kvävande gas som tränger undan syrgas
ECA	Emission Control Area – Ett specialområde till sjöss med strängre utsläppsregler
IARC	International Agency for Research on Cancer – med syfte att bekämpa cancer
IMO	International Maritime Organisation – FN-organ som ansvarar för bland annat minskning av luft- och sjöföroreningar från fartyg
KGV	Korttidsgränsvärde – Ett riktvärde som Arbetsmiljöverket tagit fram för exponering av luftföroreningar under 15 minuter
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap med syfte att hantera och förebygga olyckor
NGV	Nivågränsvärde – Hygieniskt gränsvärde framtaget av Arbetsmiljöverket för exponering under en arbetsdag (åtta timmar)
NOx	Kväveoxider – Giftig och irriterande gas
PAH	Polycykliska Aromatiska Kolväten – En grupp av flera ämnen som vi idag vet har störst cancerogen påverkan på människokroppen
PM	Partikelmassa – Luftburna partiklar som framförallt påverka andningsorganen
Separatorrum	Utrymme i maskinavdelningen där separatorerna är placerade
SMHI	Sveriges Metrologiska och Hydrologiska Institut – Myndighet som tillgodoser prognoser för bland annat vind och temperatur
SO_2	Svaveldioxid – Giftig och irriterande gas, ofta synonym med astmapåverkan
TC	Teknisk Chef – Personen som är ansvarig för den tekniska utrustningen ombord
TSFS	Transportstyrelsens författningssamling
TVOC	Total Volatile Organic Compund (Lättflyktiga Organiska Föroreningar) – En grupp ämne som bland annat påverkar koncentrationsförmågan, allergiska reaktioner och cancerutveckling
UBA	Umweltbundesamt – En miljömyndighet i Tyskland som kämpar för ren luft och vatten fri från föroreningar
WHO	World Health Organisation – Världshälsoorganisation med syfte att människor ska leva med bästa möjliga hälsa

Figur- och Tabellförteckning

Figur 1. Bensenmolekylens uppbyggnad. 6
Figur 2. Benso(a)Pyrens uppbyggnad, fem aromatiska ringar. 7
Figur 3. Spislock **Figur 4.** Tenax-rör **Figur 5.** PUF **Figur 6.** Puck för NOx 14
Figur 7.Visar uppmätta halter av bensen och hur de förhåller sig till WHOs rekommenderade riktvärde för innemiljö. 16
Figur 8. Visar uppmätta halter av TVOC och hur de förhåller sig till UBAs rekommenderade riktvärde för innemiljö. 17
Figur 9. Visar uppmätta halter av kvävemonoxid och hur de förhåller sig till Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde. 18
Figur 10. Visar uppmätta halter av kvävedioxid och hur de förhåller sig till WHOs årsmedelvärde. 19
Figur 11. Visar uppmätta halter av kväveoxider. 20
Figur 12. Visar uppmätta halter av polycykliska aromatiska kolväten. Det finns inga nivågränsvärden för summa 32 PAH. Observera att koncentrationen är i ng/m^3. 21
Figur 13. Visar uppmätta halter av benso(a)pyren och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde. Observera att koncentrationen är i ng/m^3. 22
Figur 14. Visar uppmätta halter av naftalen och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde. Observera att koncentrationen är i ng/m^3. 23
Figur 15. Visar uppmätta halter av PM10 och hur de förhåller sig till WHOs riktvärden. 24
Figur 16. Visar uppmätta halter av PM2.5 och hur de förhåller sig till WHOs riktvärden. 25
Figur 17. Visar uppmätta värden av nanopartiklar. Det saknas idag gränsvärden och riktvärden för nanopartiklar. 26
Figur 18. Visar uppmätta halter av koldioxid och hur de förhåller sig till folkhälsomyndighetens gränsvärde för dålig ventilation. 27
Figur 19. Visar uppmätta halter av svaveldioxid och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde. 28
Figur 20. Visar uppmätta värden av temperaturen och hur de förhåller sig till folkhälsomyndighetens rekommenderade värde för god innemiljö. 29
Figur 21. Visar uppmätta halter av den relativa luftfuktigheten och hur de förhåller sig inom området som socialstyrelsen klassat som god innemiljö. 30
Figur 22. Visar värden från SMHI på utetemperaturen som var under mätveckan. 31
Figur 23. Visar värden från SMHI på relativa luftfuktigheten som var under mätveckan. 31

Tabell 1. Sammanställning av Arbetsmiljöverkets gränsvärden och WHOs och UBAs rekommenderade riktvärden. 10

Innehåll

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 M/S Aurora af Helsingborg 2

2 Syfte och mål 4
2.1 Frågeställningar 4

3 Etiska ställningstaganden 4

4 Hälsoskadliga ämnen i luft och dess hälsoeffekter 5
4.1 TVOC- Total Volatile Organic Compounds (Lättflyktiga Organiska Ämnen) 5
4.1.1 Bensen 6
4.2 Övriga gaser 6
4.2.1 NOx 6
4.2.2 Polycykliska aromatiska kolväten 7
4.2.3 Svaveldioxid 7
4.2.4 Koldioxid 7
4.3 Partiklar 8
4.4 Hygieniska gränsvärden 9

5 Inneklimat, temperatur och relativ luftfuktighet 11

6 Arbetsuppgifter för maskinpersonal 12

7 Metoder för datainsamling och analys 13
7.1 Fallstudie som metod 13
7.2 Mätmetoder 13
7.3 Mätpunkter och mätperioder 15

8 Resultat 16
8.1 Bensen 16
8.2 TVOC 17
8.3 Kvävemonoxid 18
8.4 Kvävedioxid 19
8.5 Kväveoxider, NOx 20
8.6 Polycykliska aromatiska kolväten, summa 32 PAH 21
8.7 Benso(a)Pyren 22
8.8 Naftalen 23
8.9 Partiklar 24
8.9.1 PM10 24
8.9.2 PM2.5 25
8.9.3 Nanopartiklar 26
8.10 Koldioxid 27
8.11 Svaveldioxid 28
8.12 Temperatur 29

8.13 Relativ luftfuktighet 30
8.14 Utdrag från SMHI 31

9 Diskussion 32
9.1 Resultatdiskussion 32
9.2 Metoddiskussion 37

10 Slutsatser 38

11 Förslag till vidare studier 38

Referenser 39

Bilagor I
Mätplatser I
Sammanställning av mätresultaten från Aurora II

1 Inledning

Fartygspersonal tillbringar mycket tid ombord på sitt fartyg och ställs inför olika arbetsuppgifter och utmaningar. Efter arbetsdagens slut finns det oftast ingen möjlighet att gå hem och lämna fartyget utan personalen är kvar ombord vilket gör det oerhört viktigt att besättningen trivs, inte bara med kollegorna och arbetsuppgifterna utan även med arbetsmiljön. Att vara ombord på ett fartyg kan innebära risker för hälsan, tunga lyft är en del av vardagen, arbeten med kemikalier och oljor likaså och inte minst exponering av luftföroreningar via inandningsluften. De här luftföroreningarna kan sjömän vara extra utsatta för just på grund av långa arbetsdagar och bristen på möjlighet att lämna fartyget efter arbetsdagens slut, men också på grund av arbetsmiljön som råder på fartyg. Ombord på fartyg exponeras besättningen mer eller mindre för förorenad luft både i maskinrummet och på lastdäck men också i övriga fartyget. Luftkvalitetn påverkas negativt av bland annat smörjoljor, kemikalier, partiklar och avgaser från bränslet. Några av de hälsoskadligaste ämnena som finns i bränslet och/eller bildas vid förbränningen är enligt Naturvårdsverket (2017) koldioxid (CO_2), kolmonoxid (CO), svaveldioxid (SO_2), kväveoxid (NO), kvävedioxid (NO_2), bensen och polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Att luften och innemiljön ombord är av bra kvalité är viktigt för både besättningens hälsa men också för arbetsprestationer eftersom luftföroreningar påverkar hälsan och koncentrationsförmågan. Därför borde Luftkvalitetn ombord vara av intresse för arbetsgivaren precis som för sjömannen.

På grund av arbetsuppgifter som förekommer ombord kommer besättningen att exponeras för föroreningar från luften, men även vid arbeten med exponeringskällorna. Till exempel vid hantering av smörjoljor, kemikalier och bränslen kommer exponeringen att vara extra hög. Det är därför relevant att även studera hur fartygets framdrivning påverkar frekvensen som vissa arbeten behöver utföras ombord.

1.1 Bakgrund

Myndigheter globalt har länge varit intresserade av utsläpp från fartyg, det har varit viktigt att sträva efter bättre avgasutsläpp och det har varit känt under flera år att utsläppen många gånger är hälsoskadliga. Den första januari 2015 trädde nya bestämmelser från IMO (International Maritime Organisation) i kraft där innehållet av svavel i marina bränslen begränsas från 1,0 viktprocent till 0,1 viktprocent. Områden som kraven gäller kallas SECA-områden (Sulfur Emission Control Area) och innefattar Östersjön, Nordsjön och

Engelska kanalen. Kraven för resterande vatten är inte lika hårda, dagens regler tillåter ett svavelinnehåll på högst 3,5 viktprocent men första januari 2020 skärps kraven till max 0,5 viktprocent globalt. För att klara av utsläppskraven utan att gå över på lågsvavligt bränsle finns möjligheten att använda sig av avgasreningsutrustning, t.ex. skrubbers och därigenom få ner svavelhalterna i avgaserna till godkänd nivå. I Karibien och Nordamerika finns områden som reglerar utsläpp när det gäller kväveoxider och svavel, så kallade ECA-områden (IMO 2011). 2021 blir även Östersjön ett ECA-område. Luftkvalitetn inne i fartyget har dock inte lagts lika stor vikt vid, och det har inte gjorts lika många studier på hur mycket och vilka, luftföroreningar en sjöman exponeras för ombord. Enligt arbetsmiljölagen (AML 2003:365) ska arbetsmiljön på fartyg vara tillfredsställande, vilket inkluderar att sjömän inte ska behöva riskera att bli sjuka av toxiska luftföroreningar. Transportstyrelsen skriver att miljön i maskinutrymmen ska vara utformade så att personalen varken riskerar att andas in ångor från avluftningsanordningar eller från förbränningsavgaser (TSFS 2009:119). Tidigare undersökningar som gjorts med avseende på Luftkvalitetn ombord fartyg har visat på att nivåerna av bensen, PAH, Benso(a)Pyren, SO_2 och NOx är inom de hygieniska gränsvärden som Arbetsmiljöverket tagit fram. Studierna har gjorts på fartyg som använt tjockolja eller dieselolja som bränsle (Langer S. m.fl. 2018). Kaerlev L. m.fl. (2005) har studerat canceruppkomsten hos danska sjömän. Deras resultat visar på att det är en ökad cancerrisk att arbeta ombord på fartyg, framförallt vad gäller lungcancer och blodcancer. De menar också att det framförallt är bensen och polycykliska aromatiska kolväten som ger upphov till cancer.

1.2 M/S Aurora af Helsingborg

M/S Aurora är en bilfärja som trafikerar linjen Helsingborg - Helsingör. Aurora levererades av Tangen Verft A/S Kragerö i Norge 1992. Fartyget är 111 meter långt, 28,2 meter bred och har en lastkapacitet på 1250 passagerare och 528 lastmeter. Framdrivningen består av 640 litium-jonbatterier på totalt 4,16 MWh vid ren batteridrift. Batterierna ombord är huserade i fyra stora containrar på översta däck. Ytterligare två däckshus är placerade bredvid, där bland annat styrutrustningen, omvandlare och transformatorer finns. Vid hybriddrift hjälper fyra Wärtsilä Vasa 6R32E motorer till. Med hybriddrift menas att dieselmaskinerna går för att producera el till att ladda batterierna när de inte haft möjlighet att laddas fullt vid hamnanlöp. När batterierna kräver service och underhåll framförs fartyget av dieselgeneratorerna som körs på miljödiesel <0,045% svavel.

Sträckan mellan hamnarna är ungefär fyra kilometer och vid varje hamnanlöp laddas batterierna automatiskt via en ABB industrirobot från stadsnätet med 10 000 volt. I Helsingborg är laddtiden nio minuter och i Helsingör sex minuter. Laddningen vid kaj är automatisk, vid hamnen står industriroboten som använder sig av 3D-laserteknik och trådlös kommunikation med fartyget. Robotarmen hittar kabeln från fartyget via 3D-laserteknik, dra den till sig och kopplar in sig till laddningsstationen och slutligen till stadsnätet. Automatiken är till för att optimera och effektivisera laddningen för att få den längsta laddningstiden.

I augusti 2014 gjorde personal från IVL och Linnéuniversitetet en undersökning av inneLuftkvalitetn på fartyget Aurora af Helsingborg (Langer S m.fl. 2015). Parametrarna som mättes var bland annat: temperatur, relativ luftfuktighet, halter av svaveldioxid, kvävemonoxid och kvävedioxid, kolmonoxid och koldioxid, bensen, polycykliska aromatiska kolväten och benso(a)pyren. 2014 var Aurora dieselelektriskt och framfördes av fyra Wärtsilä-Vasa 6R32E dieselmotorer som körde på miljödiesel. Fartyget hade även avgasrening (för kväveoxider) i form av katalysatorer. Resultatet och bedömningen visade att värdena och därmed innemiljön ombord Aurora var mycket bra. Under 2018 konverterade Aurora till batteridrift och framförs vid normaldrift av 640 litium-jonbatterier.

Enligt rederiet ForSea märks redan stora miljöfördelar, under kvartal 1 2019 har utsläppen av CO_2 minskat med 30 % (4700 ton) och skadliga partiklar halverats. NOx-utsläppen har minskat med två ton och SO_x-utsläppen med ett ton, likaså har energiförbrukningen minskat med 30 %, jämfört med kvartal 1 2018 (Sjöfartstidningen 2019).

2 Syfte och mål

Syftet med projektet är att undersöka hur fartygspersonalens exponering av luftföroreningar förändrats på Aurora af Helsingborg efter skiftet till batteridrift, likaså hur arbetsuppgifterna har förändrats. Resultatet jämförs med de tidigare värdena från Aurora 2014 samt med Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden och Världshälsoorganisationen (WHO) rekommenderade riktvärden för innemiljöer.

Resultatet är en del av ett större forskningsprojekt där det även jämförs mot andra fartyg med olika bränslen.

Arbetets mål är att få en större inblick på hur innemiljön och arbetsmiljön, med hänsyn till luftkvalitet, har förändrats på M/S Aurora af Helsingborg sedan hon konverterade från dieselelektrisk- till batteridrift. Analysen ska kunna användas som ett hjälpmedel för rederier vid förbättring av miljön ombord och därmed bidra till att minska arbetsskador. Slutligen göra personer som arbetar ombord medvetna om eventuella risker som de kan utsättas för från luftföroreningar.

2.1 Frågeställningar

- Hur skiljer sig besättningens exponering av luftföroreningar i olika utrymmen på Aurora från dieselelektrisk drift (2014) och batteridrift (2019)?
- Hur förhåller sig de uppmätta halterna av luftföroreningar jämfört med hygieniska gränsvärden för svenska arbetsplatser och de hälsobaserade riktlinjer som rekommenderas av Världshälsoorganisationens (WHO, World Health Organisation)?
- Hur har arbetsuppgifterna förändrats efter konverteringen?

3 Etiska ställningstaganden

ForSea har gett författarna, och personal från IVL Svenska Miljöinstitutet och Linnéuniversitetet, tillstånd att genomföra mätningar på ett av deras fartyg och använda fartygets namn i rapporten. Under arbetets gång har författarna reflekterat över de etiska aspekterna med studien och efter bortfall av personlig mätutrustning har beslut tagits att rederiets godkännande att skriva ut fartygsnamn är tillräckligt.

4 Hälsoskadliga ämnen i luft och dess hälsoeffekter

Vi utsätts dagligen för luftföroreningar oavsett vart vi befinner oss i den moderna världen, men kemisk uppsättning och mängd kommer variera beroende på platsen och miljön vi vistas i. Många gånger märks det inte att luften är förorenad, likaså upplever man till en början sällan några hälsoeffekter. Det finns tusentals olika toxiska luftföroreningar men ombord är det som tidigare nämnts framförallt ett par som sticker ut varav TVOC, bensen, kväveoxider, PAH, benso(a)pyren, svaveloxider, koldioxid och partiklar är några.

International Agency for Research on Cancer (IARC) har studerat hur olika ämnen, bland annat bensen och PAH, påverkar canceruppkomst hos människan. Deras studier visar att PAH är starkt cancerframkallande, framförallt vad gäller hudcancer och cancer i lungorna (Robert Baan m.fl. 2009). Likaså visar studierna att bensen är cancerogent och att det finns ett samband mellan en gravid kvinnas bensenexponering och blodcancer hos barnet. Förutom den ökade risken för cancer kan bensen även orsaka huvudvärk och trötthet, likaså försämrad producering av röda och vita blodkroppar (WHO 2010). Avgaser från dieselolja är sedan 2012 klassat som cancerframkallande av International Agency for Research on Cancer (IARC 2012). Tidigare vetenskapliga studier har också visat samband mellan exponering av PAH och bensen, från förbränningsavgaser, och lungcancer (Saarni H m.fl. 2002).

Undersökningar som gjorts på kväveoxider och dess hälsopåverkan visar att det framförallt är andningsorganen som påverkas och skadas. Boningari och Smirniotis (2016) studie *Impact of nitrogen oxides on the environment and human health* stödjer tidigare resultat av NOx.

4.1 TVOC- Total Volatile Organic Compounds (Lättflyktiga Organiska Ämnen)

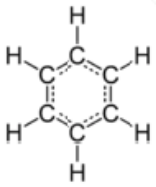
VOC är ett samlingsnamn för föroreningar med kokpunkter mellan 50°C och 260°C (Berglund och Johansson 1996). VOC bildas bland annat vid ofullständig förbränning och kommer från avdunstning av lösningsmedel och bränsle. Total Volatile Compounds (TVOC) används för att visa att det är den totala mängden av lättflyktiga organiska ämnen. Gemensamt för de flesta av dessa ämnen är att de många gånger ger upphov till intrycket av dålig luft, Berglund och Johansson (1996) beskriver ämnena som luktande irritanter.

Huvudvärk, upplevt trötthet och svårigheter att koncentrera sig är gemensamma effekter, ett fåtal VOC-ämnen har dock visat sig öka risken för cancer, varav bensen är ett exempel.

4.1.1 Bensen

Ett exempel på ett lättflyktigt organiskt ämne är bensen som många gånger ingår i kolvätesammansättningen av bränsle. Figur 1 visar uppbyggnaden av en bensenmolekyl med sex stycken kolatomer och sex väteatomer.

Ombord exponeras besättningen av bensen via avgaserna och avdunstning av bränslet. Bensen tas lätt upp av människor antingen via luften som andas in eller via hudkontakt. Bensen kan irritera ögonens och luftvägarnas slemhinnor, ge upphov till trötthet och i värsta fall ha en negativ inverkan på hjärtat (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2018). Efter långtidsexponering av för höga halter bensen ökar risken för leukemi avsevärt (Robert Baan m.fl. 2009).



Figur 1. Bensenmolekylens uppbyggnad.

4.2 Övriga gaser

Vid förbränning av fossila bränslen bildas ett antal hälsovådliga gaser, så som kväveoxider, polycykliska aromatiska kolväten, koldioxid och svaveloxider.

4.2.1 NOx

All typ av exponering för kväveoxider kan vara hälsoskadlig, beroende på koncentration, exponeringstid och exponeringssätt skiljer sig symptomen åt. Vissa symptom märks först efter en tid, medan andra uppkommer direkt. Inandning av kväveoxider kan orsaka förgiftning och vid hudexponering kan frätskador uppstå. Lungor och luftvägar påverkas bland annat genom vidgning av blodkärlen i lungorna, vilket kan utsätta astmatiker för kraftigare astmaanfall. Likaså kan kraftiga bröstsmärtor och akut andnöd vara symptom av kväveoxider (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2019).

4.2.2 Polycykliska aromatiska kolväten

Ofullständig förbränning av organiska material bildar polycykliska aromatiska kolväten som består av många ämnen med 2-6 aromatiska ringar. PAH förekommer också i marina bränslen. Polycykliska aromatiska kolväten är de ämnen vi idag vet har störst cancerogen påverkan på människan (Boström CE m.fl. 2002). Det är framförallt 32 stycken PAH-ämnen som brukar mätas och analyseras i grupp, i dessa 32 ingår Benso(a)Pyren (B(a)P) som är en stark indikatör för PAH. B(a)P är ett tungt PAH som består av fem aromatiska ringar (Figur 2) som bildas vid förbränningen och påverkar hälsan negativt. Det är framförallt exponering av B(a)P som har ett så starkt samband med canceruppkomst. Boström m.fl. (2002) beskriver riktlinjerna för B(a)P enligt Världshälsoorganisationen, de menar att en livstidsexponering av benso(a)pyren på 0,1ng/ m^3 resulterar i ett extra cancerfall på 100 000 personer. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (2018) beskriver benso(a)pyren, utöver cancerogent, som ett ämne som kan orsaka allvarlig förgiftning vid exponering, påverka fertiliteten, likaså vara skadligt för foster i magen.

Figur 2. Benso(a)Pyrens uppbyggnad, fem aromatiska ringar.

4.2.3 Svaveldioxid

När bränslen som innehåller svavel förbränns kommer det bildas svaveloxider som släpps ut med avgaserna. Exponering av svaveloxider kan vara hälsovådligt, vid inandning kan luftvägarna skadas allvarligt och i värsta fall resultera i andnöd (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap 2018). Hälsoeffekterna som kan uppkomma efter exponering av svaveldioxid liknar i många fall effekterna från kvävedioxid. Svaveldioxid kan vara en utlösande faktor till astmaanfall, likaså en bidragande orsak till utveckling av astma (Nordberg G och Lundström N. G 2009). Svaveldioxider bildar också sekundära partiklar vilka kan vara hälsovådliga för oss.

4.2.4 Koldioxid

Koldioxid finns naturligt i atmosfären och bildas framförallt på två sätt: Via cellandning och via förbränning. När människan andas in luft reagerar syrgasen med glukos, och bildar bland annat koldioxid som restprodukt. Vid förbränning av en kolförening kommer bland annat koldioxid skapas som en restprodukt (SPIRA 2018).

Cellandning:

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ + Kemisk energi

Glukos + Syrgas → Koldioxid + Vatten + Kemisk energi

Förbränning:

Kolförening + Syrgas → Koldioxid + Vatten + Värmeenergi

Koldioxid är ofarligt i rätt mängd men när inandningsluften består av för hög halt koldioxid minskas syremängden vilket kan leda till syrebrist och kvävning (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap 2019). Vid för hög förbränning finns risken att halten överskrider de acceptabla nivåerna. De första symtomen vid för hög exponering är ofta huvudvärk och trötthet som övergår till andningssvårheter och medvetandepåverkan i takt med att koncentrationen ökar.

4.3 Partiklar

Partiklar delas in i undergrupper, till exempel PM 2.5, PM10 och nanopartiklar, beroende på storleken (Wu m.fl. 2018). Det finns en rad olika faktorer som påverkar hur farlig partikeln är, bland annat var partikeln kommer ifrån, ifall något ytterligare ämne fäst vid partikeln, likaså storleken. PM10 definierar Arbetsmiljöverket ungefär som inhalerbart damm medan PM2.5 definieras som respirabelt damm (Arbetsmiljöverket 2014). Större partiklar sjunker snabbare till marken och riskerar därför inte att göra skada under lika långt tidsintervall som mindre partiklar eftersom de håller sig svävande längre tid. De partiklar som svävar i luften utgör en stor risk för människor att andas in. Av de partiklar som andas in kommer de större partiklarna att fastna i slemhinnorna medan de mindre riskerar att nå blodkärlen och i värsta fall täppa igen artärerna i kroppen. De hälsoskadliga riskerna av just nanopartiklar har diskuterats mer och mer på senare år men det är fortfarande oklart hur pass hälsovådliga och vanliga de faktiskt är och därför finns det idag inte heller några tydliga gränsvärden eller riktvärden. Det som är känt är att typen av nanomaterial och exponeringsvägen påverkar riskerna och att det framförallt är lungorna som påverkas på olika sätt. Många av de olika partiklarna vi andas in är hälsoskadliga och flera är cancerogena. Irritation och bidragande orsak till allergier och astma är ytterligare hälsoeffekter. Wu m.fl. (2018) skriver att orsaken till att partiklar finns i ett fartyg är framför allt på grund av insugsluften till maskinrummet. För att minska att partiklar från bland annat avgaserna sugs in i maskinrummet placeras ofta en filterduk framför intaget och begränsar därmed mängden partiklar.

4.4 Hygieniska gränsvärden

Arbetsmiljön ombord på svenskflaggade fartyg regleras av Transportstyrelsen (TSFS 2009:119) som sätter ett urval av Arbetsmiljöverkets föreskrifter ikraft. Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden finns till som underlag för att bestämma hur länge det är tillåtet att arbeta i en viss atmosfär, där typ av ämne och koncentration bestämmer arbetstiden. Gränsvärdena gäller för arbetsplatser iland men Transportstyrelsen har ratificerat Arbetsmiljöverkets föreskrifter om hygieniska gränsvärden. Att ha i åtanke är att nivåerna är framtagna för personer som är på sin arbetsplats i 8 timmar, de som arbetar ombord utsetts därför under betydligt längre tid.

Definitioner enligt Arbetsmiljöverket (AFS 2018:1):
Luftförorening - *Ämne eller blandning av ämnen i luft som över en viss halt kan medföra ohälsa.*
Hygieniskt gränsvärde - *Gräns för genomsnittshalt av en luftförorening i inandningsluften beräknat som ett tidsvägt medelvärde.*
Nivågränsvärde (NGV) - *Hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag, normalt 8 timmar. Nivågränsvärden är bindande och får inte överskridas.*
Korttidsgränsvärde (KGV) - *Hygieniskt gränsvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter.*

Arbetsmiljöverkets förkortningar på ämnens egenskaper, Klass (AFS 2018:1):
C - Cancerframkallande
H - Ämnet tas lätt upp av huden
R- Ämnet är reproduktionsstörande

Även World Health Organization har riktlinjer för hur länge, och i vilken koncentration vi kan vistas i miljöer beroende på typ av luftförorening (WHO 2005). Riktlinjerna finns till för att hjälpa oss och ge oss kunskap om ifall vi bör ta till åtgärder när vi vistas i vissa miljöer. WHOs riktlinjer behövs inte följas utan finns endast till för en hjälp, ett riktvärde.

Tabell 1. Sammanställning av Arbetsmiljöverkets gränsvärden och WHOs och UBAs rekommenderade riktvärden.

Parameter	Riktvärde innemiljö	Gränsvärde arbetsmiljö	Medelvärdesperiod	Klass	Referens
Temperatur	20-24°C	-	Momentana halter	-	SOFS 2005:15 FoHMFS 2014:17
Relativ luftfuktighet	30-70%	-	Momentana halter	-	SOFS 2005:15
Koldioxid	1000 ppm	 10 000 ppm 5 000 ppm	Momentana halter KGV NGV	-	FoHMFS 2014:18 AFS 2018:1
Kvävemonoxid		- 2 500 µg/m^3	KGV NGV	-	AFS 2018:1
Kvävedioxid	40 µg/m^3	- 1 900 µg/m^3 960 µg/m^3	1 år KGV NGV	-	WHO 2010 AFS 2018:1
Svaveldioxid	20 µg/m^3	 2 700 µg/m^3 1 300 µg/m^3	24 timmar KGV NGV	-	WHO 2005 AFS 2018:1
Bensen		9 000 µg/m^3 1 500 µg/m^3	KGV NGV	H, C	AFS 2018:1
Benso(a)Pyren	0,12 ng/m^3	 20 µg/m^3 2 µg/m^3	Hela livet KGV NGV	H, C, R	WHO 2010 AFS 2018:1
Naftalen	10 µg/m^3	 80000 µg/m^3 50000 µg/m^3	1 år KGV NGV	-	WHO 2010 AFS 2018:1
TVOC	300 µg/m^3	-	-	-	UBA
$PM_{2,5}$	10 µg/m^3 25 µg/m^3	-	1 år 24 timmar	-	WHO 2005
PM_{10}	20 µg/m^3 50 µg/m^3	-	1 år 24 timmar	-	WHO 2005

5 Inneklimat, temperatur och relativ luftfuktighet

Förutom luftföroreningar påverkar även temperaturen och den relativa luftfuktigheten innemiljön. Relativa fuktigheten beskrivs som *"mängden vattenånga i luften vid en viss temperatur i förhållande till den maximala mängden vattenånga vid samma temperatur"* (SMHI 2019). Framförallt är det upplevelsen av god innemiljö som påverkas av dessa parametrar. En temperatur mellan 20–24 grader Celsius och en relativ luftfuktighet mellan 30–70% upplevs av de flesta som en bra miljö men det är väldigt individuellt hur personer upplever luften. För hög eller för låg temperatur kan upplevas obehagligt och resultera i koncentrationssvårigheter, likaså utsätta kroppen för termisk belastning (Sjöfartens Arbetsmiljönämnd 2019). Irriterade och torra ögon, läppar och hud är symptom som kan uppkomma vid för låg relativ luftfuktighet (SMHI 2019).

6 Arbetsuppgifter för maskinpersonal

Arbetet för maskinpersonal ombord är ofta väldigt varierande, där alltifrån pappersarbete och vakt i kontrollrummet till oljiga arbeten med exempelvis oljefilter förekommer. Maskin bemannas av olika befattningar med varierande ansvar och arbetsuppgifter men där alla har gemensamt att största delen av arbetsdagen tillbringas längst ner i fartyget där maskinerna och deras kringsystem finns. Tekniska chefen (TC) är den befattning som har huvudansvar för maskineriet och all teknisk utrustning ombord. Typiska arbetsuppgifter för TC kan vara att gå vakt under drift, det vill säga vara tillgänglig från maskinutrymmena och redo ifall det skulle hända något med någon av maskinerna eller dess kringutrustning som kan påverka driften. Administrativa uppgifter som att beställa reservdelar och utrustning kan också vara TCs ansvar, likaså ansvara över maskindagboken och oljedagboken. Det är också han eller hon som gör bunkerbeställningar, det vill säga beräknar hur mycket bränsle som kommer behövas för kommande resor och gör beställning på detta. Tekniska chefen är också brandansvarig ombord. En annan befattning är fartygsingenjör, han eller hon är arbetsledare för maskinpersonalen. Fartygsingenjören har hand om drift och underhåll av maskin och dess kringutrustning. Underhålla och reparera pumpar, serva separatorer och annan teknisk utrustning kan vara typiska arbetsuppgifter, likaså beställning av reservdelar. Han eller hon sköter också ofta optimering av maskinerna och gör olika indikeringar för att se att allt fungerar på bästa sätt, till exempel indikering av maskinernas vevaxel. Vid indikeringar som denna exponeras arbetaren för vevhusets atmosfär och kommer mer eller mindre i kontakt med maskinens smörjolja.

En annan befattning i maskin är motorman vars uppgifter är att se till att allt fungerar som det ska genom att gå rundor i maskin och på övriga fartyget. Service, reparationer och underhåll är andra typiska arbetsuppgifter. Motormännens arbetsuppgifter gör att de ibland måste vistas och exponeras mer för vissa luftföroreningar i olika utsträckning. Till exempel vid byte och rengöring av filter, rengöring och service av separatorer och vid bunkervakt (ser till att inget, som inte ska hända, händer när fartyget bunkras=tankas).

7 Metoder för datainsamling och analys

Under sju dagar i mars, 9–16 mars 2019, har mätningar tagits på fartyget M/S Aurora af Helsingborg som trafikerar Helsingborg- Helsingör. Mätningarna som gjorts har inkluderat temperatur och relativ luftfuktighet, kväveoxider, totala lättflyktiga organiska ämnen, bensen, polycykliska aromatiska ämnen, benso(a)pyren och partiklar. Formaldehyd, som är en av dem vanligaste luftföroreningar togs det inga mätvärden på eftersom mätningen 2014 fick värden av ämnet som var så låga att de knappt var mätbara.

På fartyget gjordes följande mätningar och undersökningar:

1. Provtagning med 10 stycken stationära passiva provtagare.
2. Wöhler datalogger för temperatur, relativ luftfuktighet och CO_2
3. Mini-WRAS aerosolspektrometer och optisk partikelräknare.
4. Undersökning av hur arbetsmiljön har förändrats sedan skiftet till batteridrift.

Öppningstiden för provtagarna, provtagar-ID och mätplats noterades i protokollet i samband med mätningen.

7.1 Fallstudie som metod

För att kunna besvara frågeställningarna har en fallstudie gjorts. Det vill säga en studie där fokuseringen har legat på ett smalt utrymme, en undersökning på ett avgränsat område (Patel m.fl. 2015). Information har samlats in av olika karaktär, tekniska mätningar, intervjuer och enkäter, för att få en så bred och korrekt information som möjligt. Studien har varit kvantitativt inriktad, det vill säga datainsamling i form av mätningar och statistiska analysmetoder.

För att uppnå bästa och mest troenliga resultat vid en fallstudie är det viktigt att ha reliabiliteten och validiteten i åtanke. Reliabilitet och validitet är begrepp som beskriver hur bra datainsamlingen har varit, dvs. hur resultatet förhåller sig till verkligheten. På varje stationär mätstation har det därför placerats ut dubbel uppsättning av mätutrustning och resultaten har sedan granskats kritiskt för att uppnå en god reliabilitet och validitet.

7.2 Mätmetoder

Luftföroreningarna NOx, SO_2, TVOC och PAH mäts med passiva diffusionsprovtagare, där gasmolekylerna passivt diffunderar in i mätutrustningen där de samlas upp under

mätningstiden. För att enkelt kunna ta mätvärden från olika ämnen på samma plats fästs de olika provtagarna på ett så kallat ”spislock” (se Figur 1)

- Provtagarna för TVOC kallas Tenaxrör, där en tenaxadsorbent är placerad i ett rostfritt stålrör (se Figur 2).
- Provtagarna för PAH kallas PUF- polyurethane foam, där polyuretanskum är placerat i ett stålnät (se Figur 3). När mätningen påbörjas tas skyddsfolien av så att skummet kan exponeras för luften, sedan placeras röret i spislocket.
- Provtagarna för SO_2 och NOx är två olika plastpuckar (se Figur 4), puckarna monterades med stålnätet utåt i spislocket.

Figur 3. Spislock

Figur 4. Tenax-rör

Figur 5. PUF

Figur 6. Puck för NO_2

Relativ luftfuktighet, temperatur och CO_2 loggades kontinuerligt med Whöler datalogger. Instrumentet placerades ut i anslutning till nio av de stationära provtagarna och anslöts till ett eluttag. Av säkerhetsskäl placerades ingen Whöler i battericontainer 1.

Partiklarna mättes med en mini-wras (Grimm Mini-WRAS 1371) som placerades ut under 30 minuter på bildäck, i kontrollrummet (60 min), separatorrummet, maskinrum 2, maskinrum 4, brygga Helsingborg och brygga Helsingör. Instrumentet mäter och övervakar damm och nanopartiklar i realtid.

Resultaten för PAH analyseras sedan av experten på Lunds Universitet på avdelningen för arbets- och miljömedicin. Provtagarna läggs i ett organiskt lösningsmedel för att extraheras för att sedan analyseras med gaskromatograf. Resultaten för NOx, SO_2 och TVOC analyseras på IVL Svenska Miljöinstitutets laboratorium. Våtkemiska metoder används för att analysera NOx och gaskromatografi/masspektrometri för analysering av TVOC.

7.3 Mätpunkter och mätperioder

Stationära mätningar utfördes på följande valda utrymmen ombord Aurora: Dieselgeneratorrum 2 (generatorn med startprio 4, sist), dieselgeneratorrum 4 (generatorn med startprio 1), separatorrum ovanför smörjoljeseparatorn i drift, maskinkontrollrum, hängbildäck, battericontainer 1, byssan, östra bryggan (manöverplatsen Helsingborg), västra bryggan (manöverplatsen Helsingör). En station placerades också ute på däck 6 som en referenspunkt.

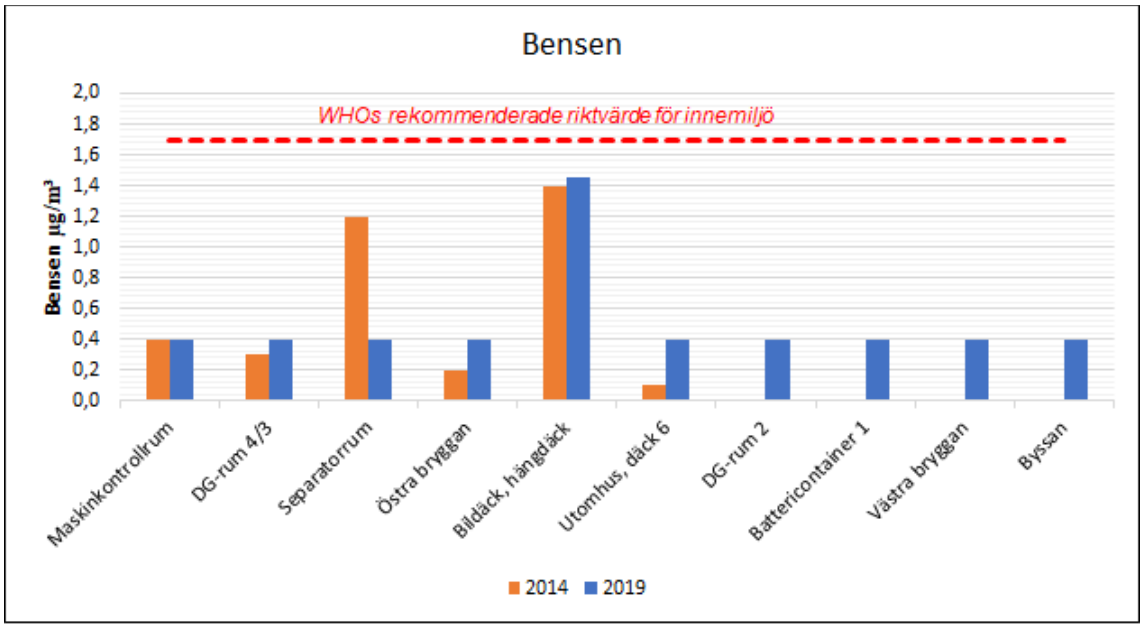
8 Resultat

Resultaten från mätningarna visar, som framgår av figurerna nedan, att värdena skiljer sig åt beroende på placering på fartyget. Resultatet visar också att det blivit lägre nivåer av de flesta ämnen sedan konverteringen till batteridrift. Lägg märke till att DG-rum 2, Battericontainer 1, Västra bryggan och Byssan inte ingick i mätningen 2014 och därför inte har några jämförelsevärden. DG-rum 4 (från mätningen 2019) jämförs med DG-rum 3 (från mätningen 2014) eftersom generator 4 var den som låg som första att starta. Det innebär att det är generator 4 som startas och laddar batterierna när batterikraften inte är tillräcklig.

I Figurerna nedan visas mätplats på x-axeln och koncentration på y-axeln.

8.1 Bensen

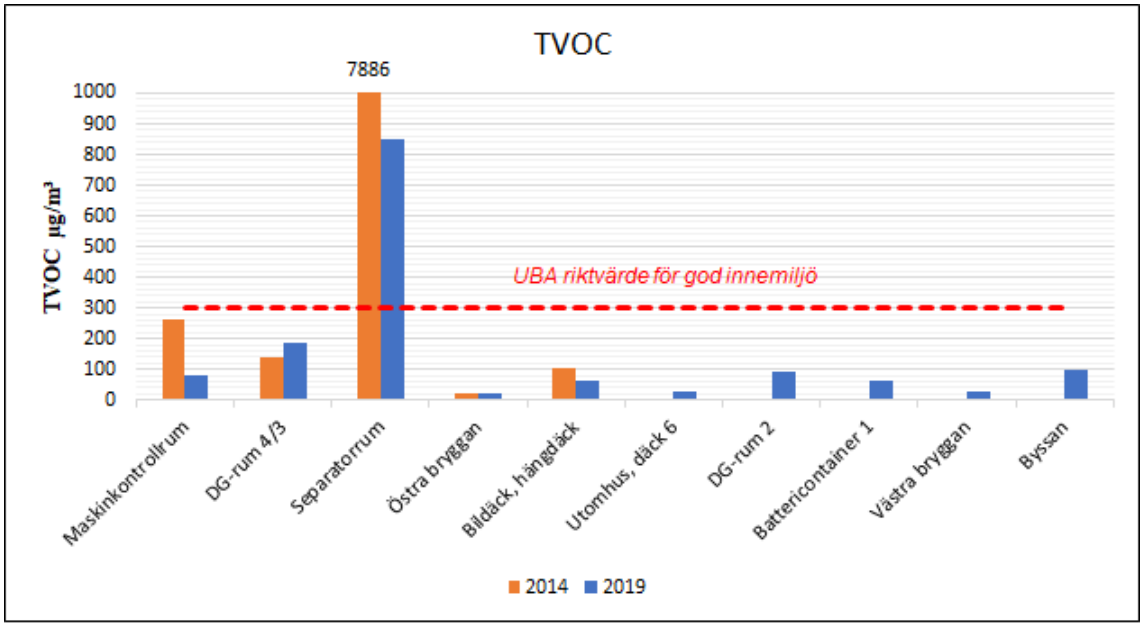
Koncentrationen av bensen har förändrats en del i vissa utrymmen. Störst förändring, minskning, är i separatorrummet. Precis som det framgår av Figur 7 nedan ligger alla värden med marginal under gränsen för WHOs rekommenderade riktvärde.



Figur 7. Visar uppmätta halter av bensen och hur de förhåller sig till WHOs rekommenderade riktvärde för innemiljö.

8.2 TVOC

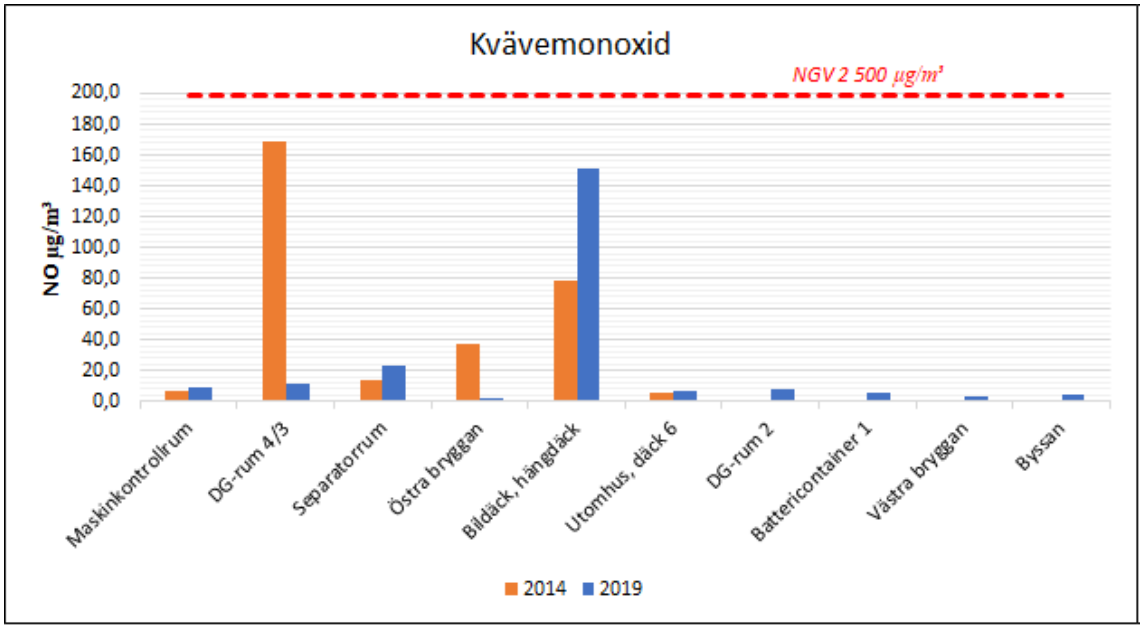
Medianvärdet för TVOC har nästan halverats sedan dieselelektrisk drift, från 121 µg/m^3 till 72 µg/m^3. Som framgår av Figur 6 överskrider koncentrationen i separatorrummet UBAs riktvärde med stor marginal, det framgår även att halten dock har minskat till nästan en tiondel mot vad det var innan konverteringen, från 7886 µg/m^3 till 848 µg/m^3.



Figur 8. Visar uppmätta halter av TVOC och hur de förhåller sig till UBAs rekommenderade riktvärde för innemiljö.

8.3 Kvävemonoxid

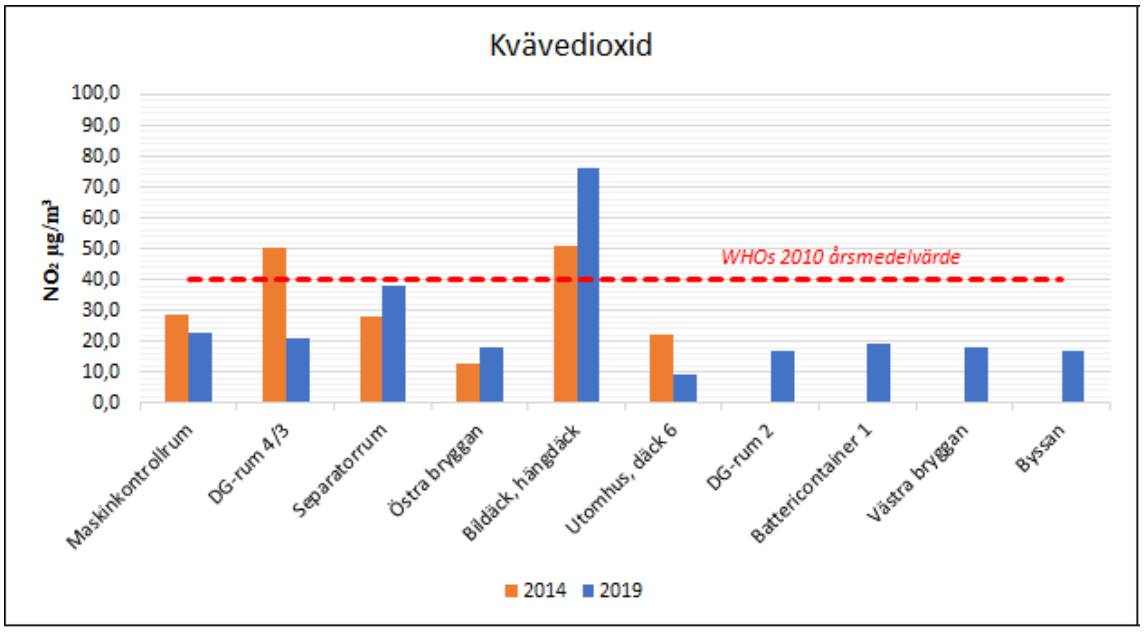
Även medianhalten av kvävemonoxid har minskat sedan konverteringen, från 25,8 µg/m^3 till 7,0 µg/m^3. Den största minskningen är i dieselgeneratorrummen där nivån minskat från 169 µg/m^3 till 11,5 µg/m^3. Alla värden ligger med god marginal under Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde, lägg märke till att NVG 2500 µg/m^3 ligger utanför skalan (Figur 9).



Figur 9. Visar uppmätta halter av kvävemonoxid och hur de förhåller sig till Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde.

8.4 Kvävedioxid

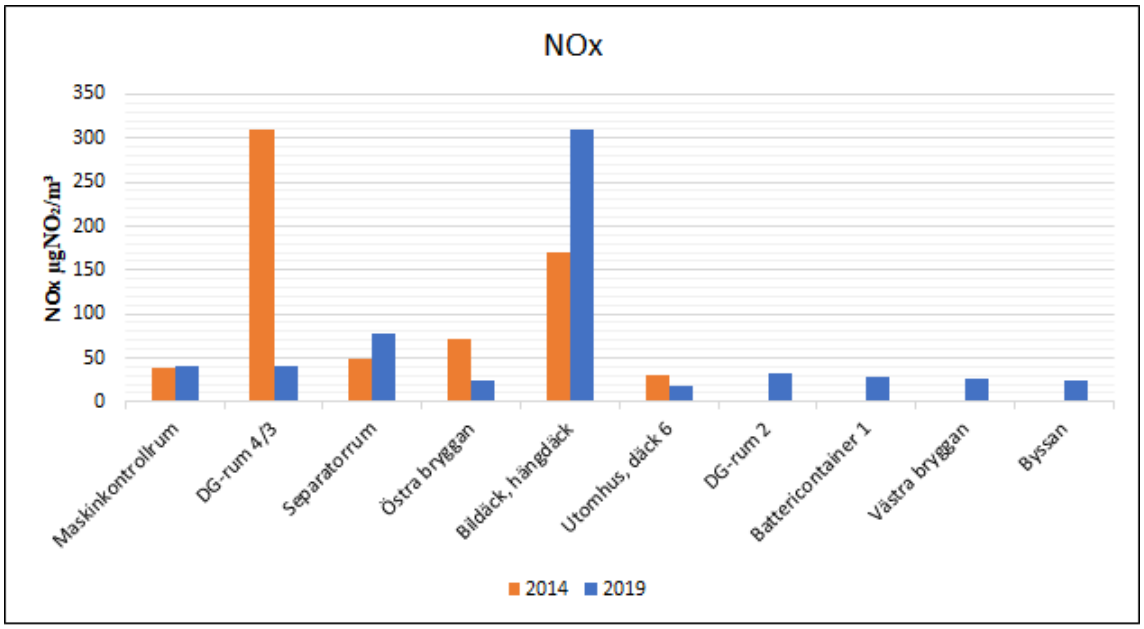
Medianvärdet för kvävedioxid 2014 var 28,3 µg/m^3 (dieselelektriskt) jämfört med 18,7 µg/m^3 som var medianvärdet 2019 (batteridrift). Som framgår av Figur 10 ligger alla värden under riktvärdet förutom halten på bildäck. Arbetsmiljöverkets riktvärde på 960 µg/m^3 underskrids dock med god marginal i alla utrymmen.



Figur 10. Visar uppmätta halter av kvävedioxid och hur de förhåller sig till WHOs årsmedelvärde.

8.5 Kväveoxider, NOx

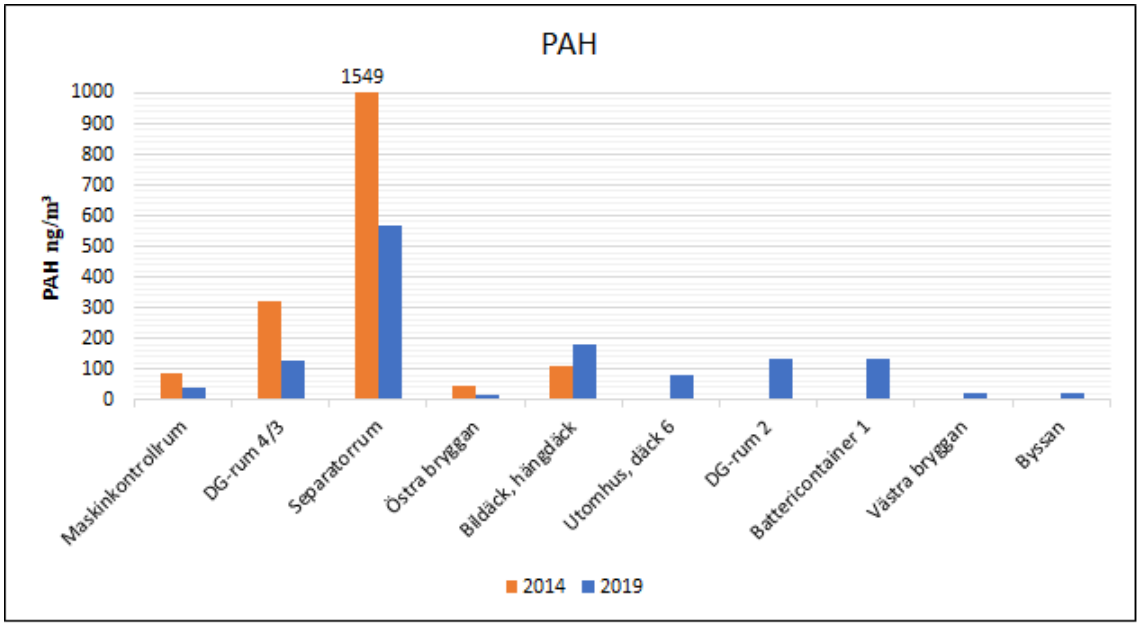
Även medianhalten av kväveoxider har minskat, från 60 µg/m^3 till 31 µg/m^3. Den största skillnaden är i maskinrum 4/3 där en minskning från 310 µg/m^3 till 41 µg/m^3 har skett (Figur 11).



Figur 11. Visar uppmätta halter av kväveoxider.

8.6 Polycykliska aromatiska kolväten, summa 32 PAH

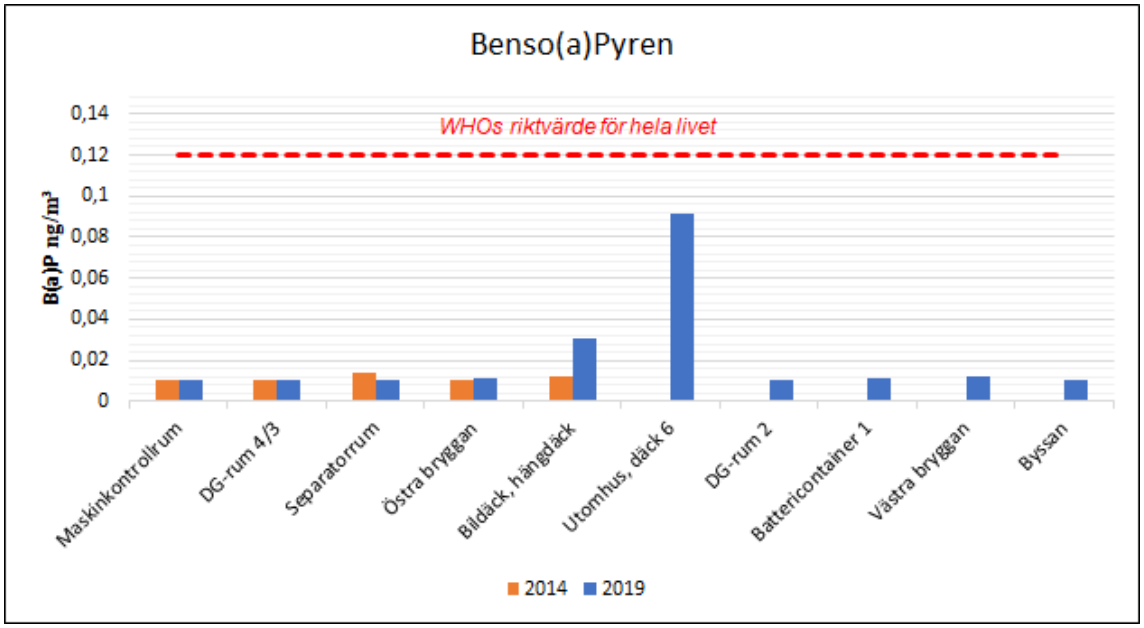
Som framgår av Figur 12 har halterna minskat sedan konverteringen. Lägg märke till att nivån i separatorrummet från 2014 ligger utanför skalan på 1549 ng/m^3.



Figur 12. Visar uppmätta halter av polycykliska aromatiska kolväten. Det finns inga nivågränsvärden för summa 32 PAH. Observera att koncentrationen är i ng/m^3.

8.7 Benso(a)Pyren

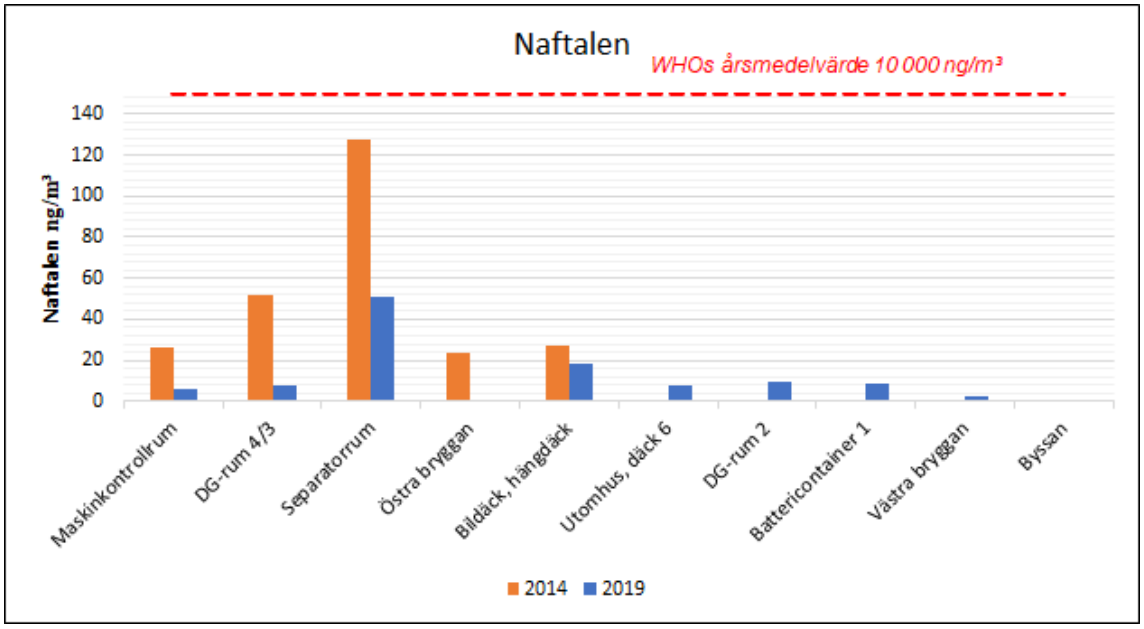
Halterna av benso(a)pyren är relativt konstanta mätningarna emellan. Som framgår av Figur 13 är det framförallt nivån utomhus som sticker ut men alla halter är långt under WHOs riktvärde.



Figur 13. Visar uppmätta halter av benso(a)pyren och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde. Observera att koncentrationen är i ng/m^3.

8.8 Naftalen

Halterna av naftalen har minskat i samtliga mätområden. Mätvärdena ligger under WHOs årsriktvärde på 10 000 ng/m^3 som visas i Figur 14. Största skillnaden är i separatorrummet där halten minskat från 127 ng/m^3 till 51 ng/m^3. Observera att WHOs årsmedelvärde ligger utanför skalan.



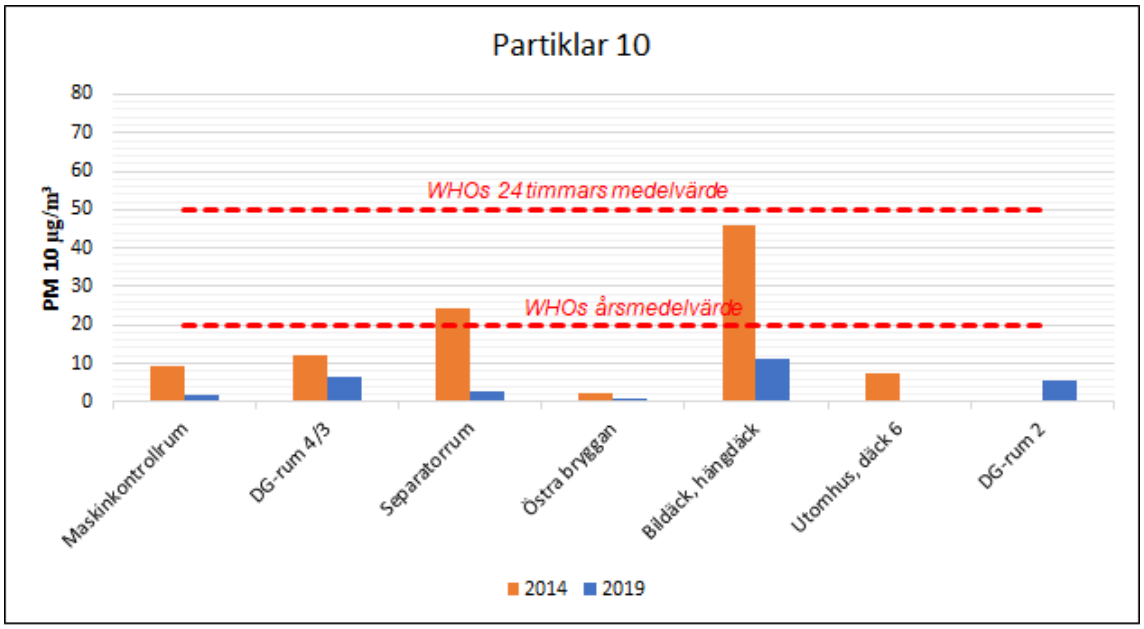
Figur 14. Visar uppmätta halter av naftalen och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde. Observera att koncentrationen är i ng/m^3.

8.9 Partiklar

Det har skett en stor minskning av alla uppmätta partiklar sedan konverteringen, framförallt vad gäller nanopartiklar.

8.9.1 PM10

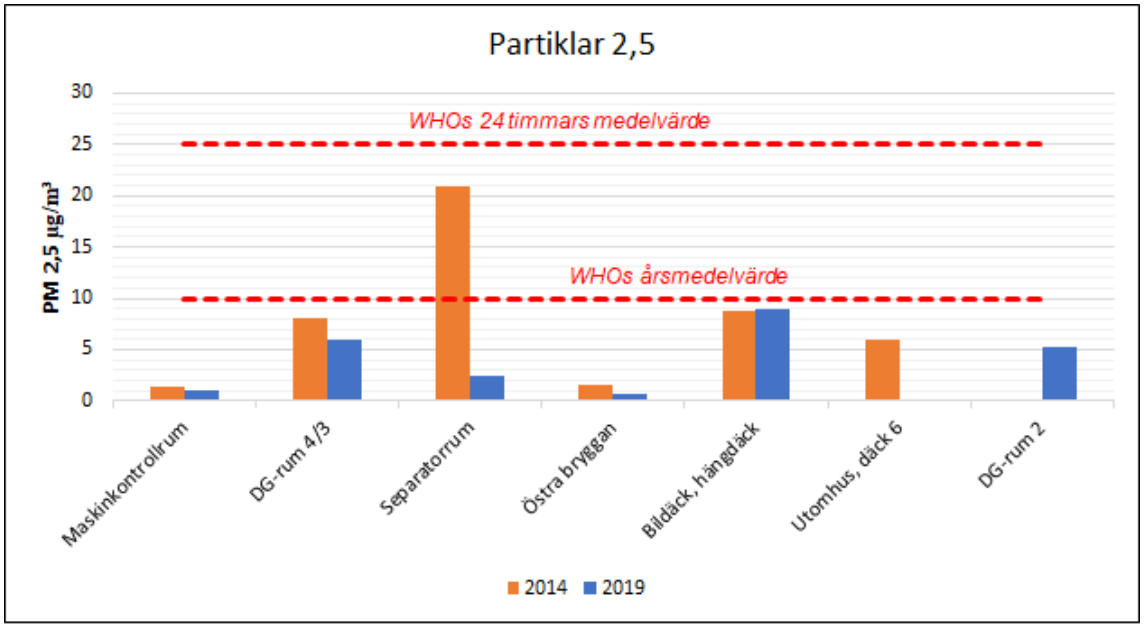
Efter skiftet från dieselelektrisk drift till batteridrift har medianhalten minskat med två tredjedelar, från 10,8 µg/m^3 till 4,0. Den största procentuella skillnaden är i separatorrummet där koncentrationen gått från 24,1 µg/m^3 till 2,5 µg/m^3, och därmed med marginal hamnat under WHOs årsmedelvärde. Som framgår av Figur 10 ligger nu alla uppmätta värden under WHOs riktvärden.



Figur 15. Visar uppmätta halter av PM10 och hur de förhåller sig till WHOs riktvärden.

8.9.2 PM2.5

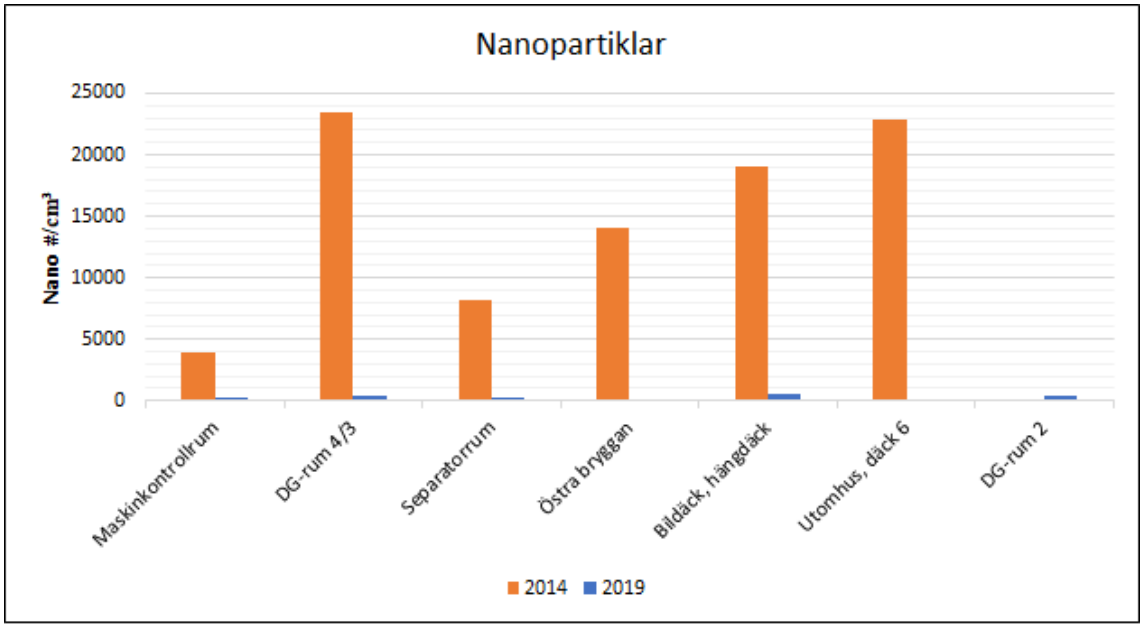
Medianhalten av PM2.5 har halverats sedan konverteringen från 7 µg/m^3 till 3,8 µg/m^3. Den största skillnaden mättes upp i separatorrummet där minskningen är 18,6 µg/m^3 (21–2.4 µg/m^3). Alla uppmätta värden 2019 ligger under WHOs riktvärden (Figur 13).



Figur 16. Visar uppmätta halter av PM2.5 och hur de förhåller sig till WHOs riktvärden.

8.9.3 Nanopartiklar

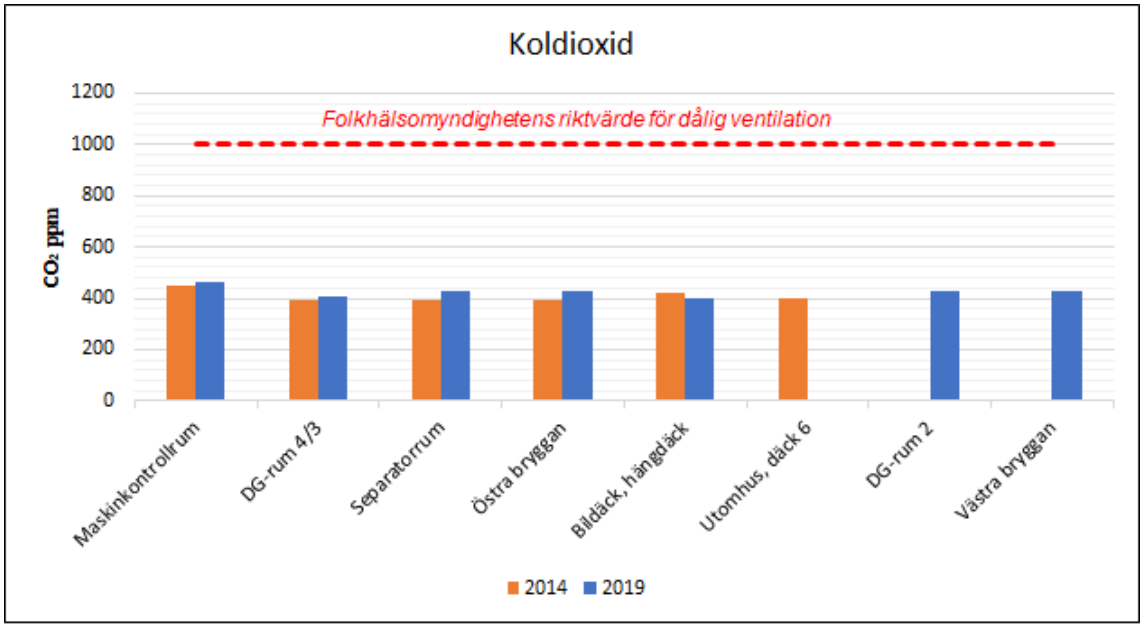
Som framgår av Figuren nedan har de uppmätta halterna av nanopartiklar minskat kraftigt sedan övergången till batteridrift. Den tidigare högsta halten i generatorrummet har minskat med över 90 % från 23444 partiklar/cm^3 till 367.



Figur 17. Visar uppmätta värden av nanopartiklar. Det saknas idag gränsvärden och riktvärden för nanopartiklar.

8.10 Koldioxid

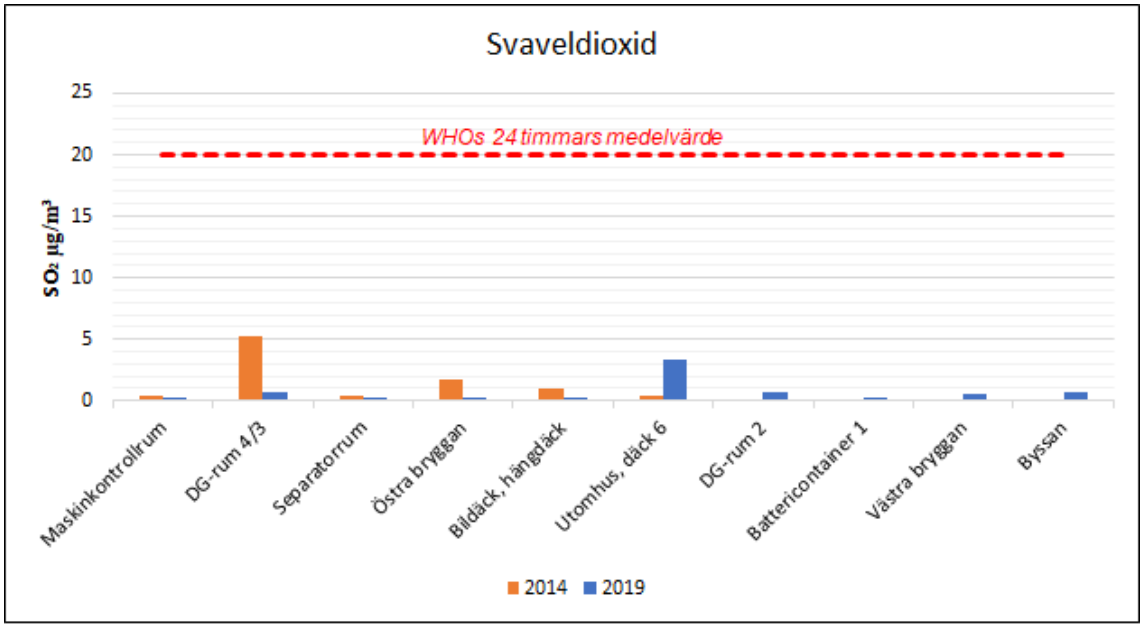
Halterna av koldioxid har stigit något men ligger långt under folkhälsomyndighetens gränsvärde för dålig ventilation (1000 µg/m^3). Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde på 5000 µg/m^3 underskrids med stor marginal (Figur 15).



Figur 18. Visar uppmätta halter av koldioxid och hur de förhåller sig till folkhälsomyndighetens gränsvärde för dålig ventilation.

8.11 Svaveldioxid

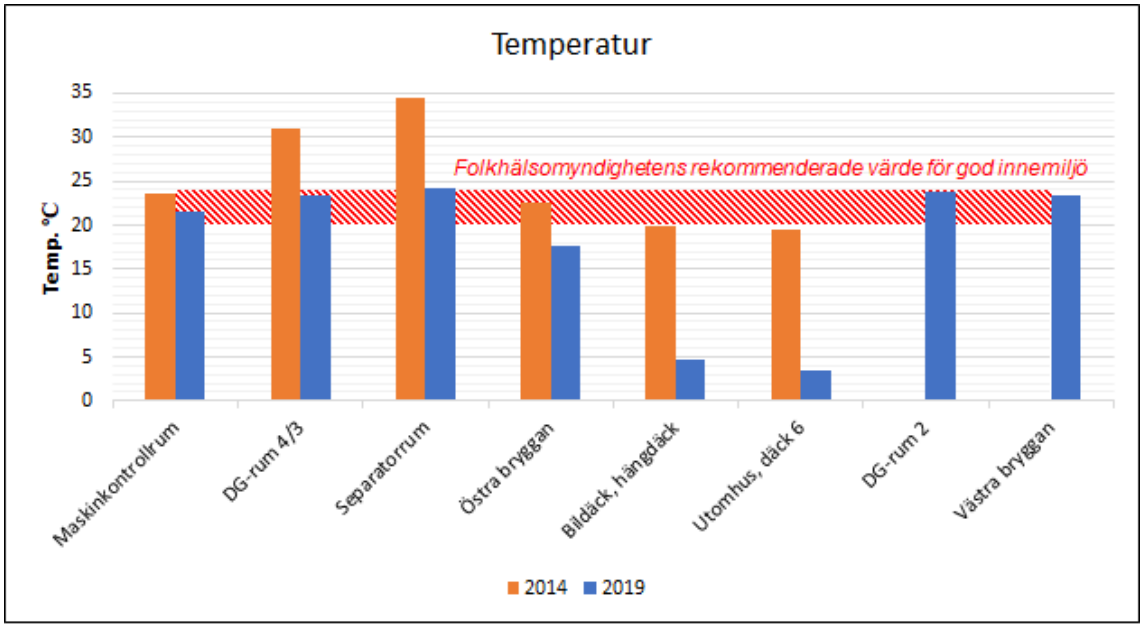
Som framgår av Figur 19 har alla uppmätta nivåer minskat sedan 2014 förutom på däck 6. Den största minskningen är i dieselgeneratorrummen där halterna minskat från 5,3 µg/m^3 till 0,7 µg/m^3. I alla utrymmen är koncentrationen långt under WHOs riktvärde. Arbetsmiljöverkets nivågränsvärde på 1300 µg/m^3 överskrider alla uppmätta halter med god marginal.



Figur 19. Visar uppmätta halter av svaveldioxid och hur de förhåller sig till WHOs riktvärde.

8.12 Temperatur

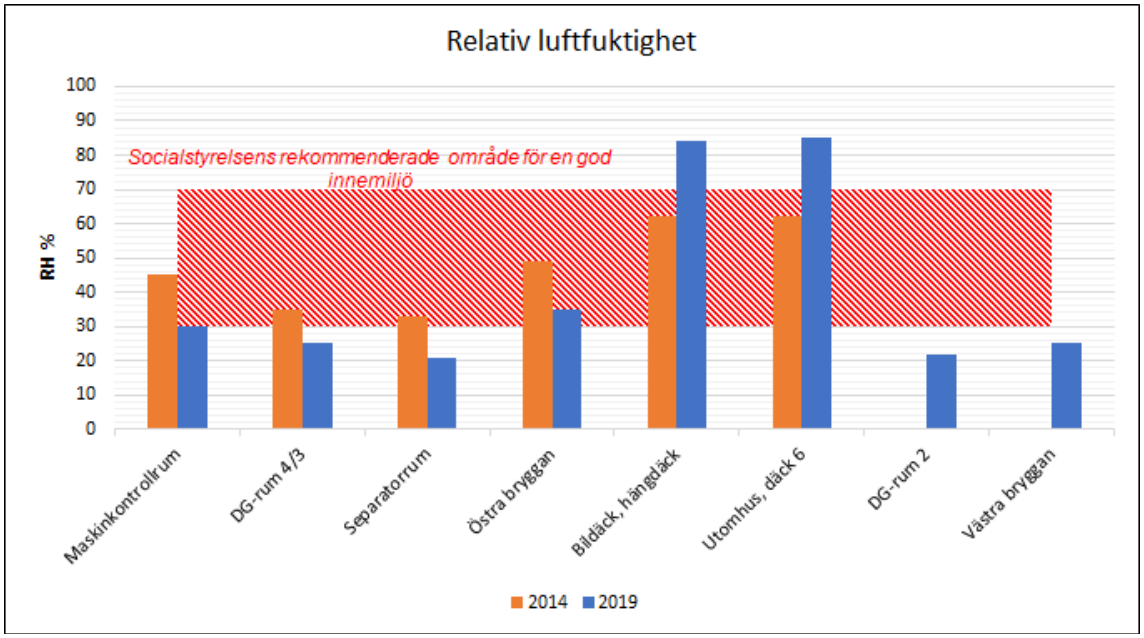
Temperaturen ombord Aurora ligger inom riktvärdet för god innemiljö och som framgår av Figur 20 har temperaturen minskat till en behaglig nivå i separatorrummet och dieselgeneratorrum 4 sedan konverteringen.



Figur 20. Visar uppmätta värden av temperaturen och hur de förhåller sig till folkhälsomyndighetens rekommenderade värde för god innemiljö.

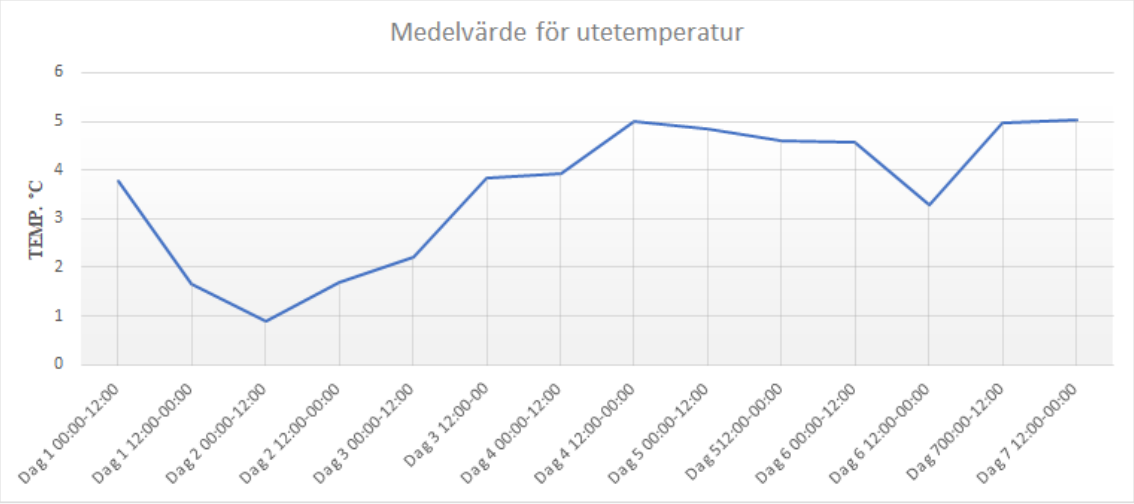
8.13 Relativ luftfuktighet

Som framgår av Figuren nedan ligger alla halter i maskinutrymmena strax under den undre gränsen som socialstyrelsen tagit fram som riktlinje.

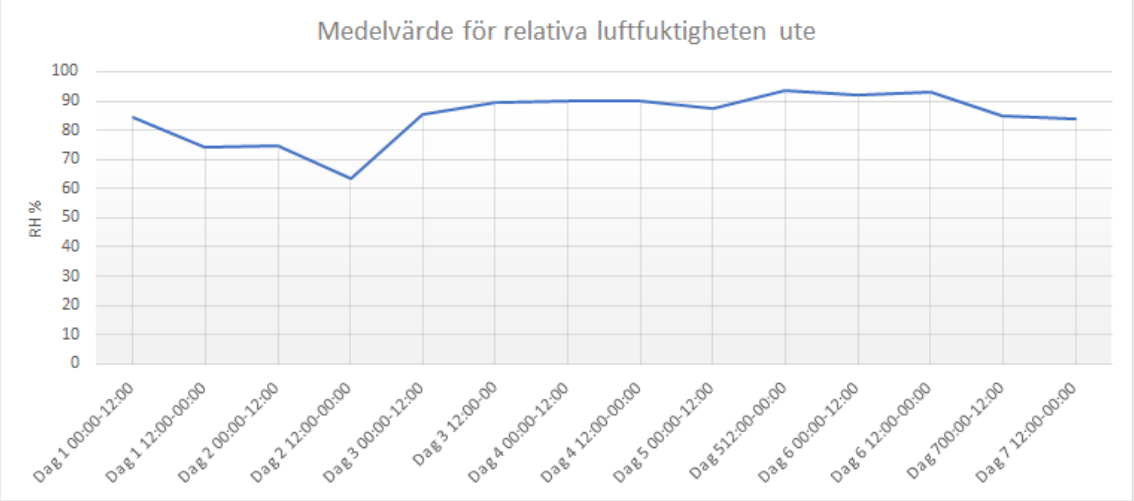


Figur 21. Visar uppmätta halter av den relativa luftfuktigheten och hur de förhåller sig inom området som socialstyrelsen klassat som god innemiljö.

8.14 Utdrag från SMHI



Figur 22. Visar värden från SMHI på utetemperaturen som var under mätveckan.



Figur 23. Visar värden från SMHI på relativa luftfuktigheten som var under mätveckan.

9 Diskussion

Nedan diskuteras resultat- och metoddiskussion.

9.1 Resultatdiskussion

Syftet med studien var att mäta och jämföra hur Luftkvalitetn förändrats på Aurora sedan konverteringen till batteridrift och även jämföra nivåerna med Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden, likaså WHOs rekommenderade riktvärden för innemiljöer.

Resultatet från mätningarna visar att nivåerna av alla ämnen har minskat sedan konverteringen 2018 med några få undantag. Med marginal understiger koncentrationerna Arbetsmiljöverkets gränsvärden och riktvärden och WHOs riktlinjer med undantag från TVOC i separatorrummet. Jämförelsen mellan 2014 och 2019 har både gjorts som medianvärden på fartyget och som individuella värden från respektive utrymme. Alla medianvärden har minskat bortsett från koldioxid och bensen som har ökat något, men det mest intressanta är att jämföra de individuella utrymmena. Det är framförallt i maskinutrymmena de största skillnaderna visar sig, vilket var förväntat. Att dieselgeneratorerna är placerade i maskinrummet är den stora anledningen men aspekter som att övriga utrymmen på fartyget påverkas mer av omkringluften spelar också in.

Flera positiva hälsofördelar kan uppstå till följd av minskningen av de olika luftföroreningarna. De första positiva symtomen på detta kan vara piggare, effektivare och gladare besättning, likaså minskad påverkan på astmatiker. Färre lungproblem, mindre cancer- och hjärtpåverkan kan vara långtidsförbättringar.

Mediantemperaturen ombord skiljer sig knappt mellan mätgångerna vilket var förväntat, däremot har temperaturen i maskinrummen och separatorrummet minskat med cirka 10 grader. Ett förväntat resultat var att temperaturen skulle sjunka i maskinrummen och separatorrummet parallellt med att maskinerna körs mer sällan, men att temperaturen håller sig konstant i övriga fartyget tack vare ventilation. 23 grader är en rimlig, bra och godtagbar temperatur även om det alltid kommer finnas personer som fryser eller är för varma.

Den relativa luftfuktigheten har minskat sedan konverteringen från komfortabla 47 procent till 25 procent. Den aktuella luftfuktigheten på 25 % ligger utanför komfortzoonen och kan därför upplevas torr och orsaka näsblod. Det är framförallt i maskinutrymmena den stora

skillnaden är men troligen har det inte med ombyggnaden att göra utan snarare årstiden. Första mätningen gjordes i augusti när det var varmt ute medan mätningen 2019 gjordes i mars månad. När kall utomhusluft tas in på fartyget behöver luften värmas och när luften värms fälls samtidigt fukt ut vilket gör luften torrare. Troligen så återfuktas luften mer i övriga fartyget, där fler personer och passagerare vistas, än den görs till maskinrummet. En annan anledning till ändrad luftfuktighet skulle kunna härledas till ombygget av uppvärmningen ombord. Innan konverteringen kördes dieselgeneratorerna konstant och då skapades en hel del restvärme. Denna restvärme användes sedan för uppvärmning via värmeväxlare men idag används värmepumpar eftersom de är mer energieffektiva och det inte finns samma restvärme att tillgå utan bara restvärmen från batterikylningen.

TVOC har minskat i samtliga områden med undantag från dieselgeneratorrum 4. Koncentrationen av TVOC i maskinrummen påverkas av hur mycket stödkörning som behövs från maskinerna. I DG-rum 2, där generatorn som inte hade några drifttimmar finns, syns en minskning från 140 $\mu g/m^3$ till 91 $\mu g/m^3$ jämfört med dieselgeneratorrum 3 från mätningen 2014. Jämförs DG-rum 4, där generatorn som är i första standby finns, med mätningen från 2014 så är det en ökning av TVOC. Det kan bero på att maskinen startade och stoppade mer under mätningsveckan och att det vid start och stopp bildas och släpps ut mer TVOC. I separatorrummet syns största skillnaden där det minskat från 7886 $\mu g/m^3$ till 848 $\mu g/m^3$ vilket är cirka nio gånger mindre än var det var innan. En orsak till detta kan vara att separatorn får rundseparera en längre tid vilket leder till renare bränsle och smörjolja. Arbeten som gjordes eller inte gjordes under veckan kan också påverka resultatet. Den stora skillnaden i koncentration av TVOC mellan mätningarna kan utöver konverteringen därför också bero på att arbeten utfördes på en eller flera separatorer, vilket skulle kunna öka halterna och exponeringen avsevärt. Och att det inte utfördes några arbeten med separatorerna under mätningarna 2019. Att koncentrationen TVOC i separatorrummet är en niondel jämfört med innan konverteringen är väldigt positivt för exponerings- och hälsorisken. Med minskade halter minskar även risken för bland annat huvudvärk, yrsel och trötthet orsakade av TVOC. Dock överskrider halten i separatorrummet UBAs riktvärde för god innemiljö vilket är viktigt att ha kunskap om för att kunna göra aktiva val och inte vistas mer än nödvändigt i utrymmet.

Halterna av bensen har minskat till en tredjedel i separatorrummet, men vid alla andra utrymmen ombord visar resultaten på en knapp ökning. Ökningen är så pass liten att det inte behöver ha något med konverteringen att göra utan värdena kan vara tillfälliga.

Minskningen i separatorutrymmet är däremot tydligare och det beror troligen på renare oljor, eftersom separatorerna rundseparerar mer. Det är en markant topp på bildäck som troligen beror på fordonen som körde av fartyg. När bilarna och lastbilarna startar sina motorer kommer bensen att släppas ut vid förbränningen. Koncentrationen beror därför mycket på antal och typ av fordon som transporteras, likaså vindriktning och vindstyrka.

Resultaten visar att koncentrationen av partiklar har blivit mycket lägre vilket är väldigt positivt för besättningens hälsa. Det är en stor skillnad sedan konverteringen till batteridrift vad gäller alla typer av partiklar men det är framförallt nanopartiklarna, de mest hälsoskadliga, som minskat kraftigast. Eftersom partiklar bildas vid förbränning är det inte överraskande att halterna är mycket lägre vid batteridrift, och att nanopartiklarna procentuellt minskats mest är troligen på grund av att det framförallt är små partiklar som bildas vid förbränning av diesel. De hälsoskadliga riskerna av just nanopartiklar har diskuterats mer på senare år men det är fortfarande oklart hur pass hälsovådliga och vanliga de faktiskt är och därför finns det idag inte heller några tydliga gränsvärden eller riktvärden. Därför är det extra glädjande att se att halterna av nanopartiklar minskat med mer än 90 procent. Vad gäller de större partiklarna är det framförallt bildäck som sticker ut från de båda mätningarna, vilket lär bero på fordonen som transporteras på färjan. Det är svårt att jämföra hur luftmiljön förändrats på bildäck sedan övergången till batteridrift eftersom antal och typ av lastbilar och personbilar som transporteras har stor inverkan på luften. Likaså spelar vädret en stor roll, hur mycket det blåser och vindriktningen.

Resultaten visar att koldioxidnivåerna har ökat något i de flesta utrymmen ombord sedan konverteringen. Att koncentrationen blivit högre i inomhusluften behöver och är troligen inte kopplat till batteridriften. Avgasläckor i maskinrummet kan vara orsaken till den marginella ökningen. Med tanke på att koldioxidutsläppen minskat med 30 % första kvartalet 2019 jämfört med året innan märks det tydligt att det även är andra orsaker än bränslet som påverkar inomhusluften ombord, till exempel avgasläckor. Andra fartygs avgaser men även landtrafik kan också påverka resultatet. Aurora ligger till kaj cirka tio-femton minuter vid varje hamnanlöp och under denna tid kommer en del av insugsluften till fartyget vara från land. Ytterligare en orsak som kan påverka mätningen är vindstyrka och vindriktning.

Att svaveldioxiden minskat i alla utrymmen, och framförallt i dieselgeneratorrummen, var väntat. Mängden svavel i bränslet och hur mycket bränsle som förbränns kommer vara

ganska proportionellt mot svavelhalten som släpps ut. När generatorerna körs mindre i takt med batteridriften kommer bränsleåtgången minska samtidigt som svavelhalten minskar. Likaså är kväveoxidernas minskning inte heller förvånande då de precis som svaveloxider är ett mått på hur mycket bränsle som förbränns. Det är framförallt i maskinrummen som de största skillnaderna är. Kvävedioxid, som är en markör för diesel, har minskat från 50,4 $\mu g/m^3$ till 21 $\mu g/m^3$.

Polycykliska aromatiska kolväten, som är de luftföroreningar vi idag vet har störst cancerogen påverkan på människan, är det glädjande väldigt låga halter av i hela fartyget. Det syns en minskning av både summa 32 PAH, benso(a)pyren och naftalen men det är så små koncentrationer vi talar om och därför kan vi inte dra några specifika slutsatser angående minskningen av hälsopåverkan.

Det kan vara intressant att jämföra resultaten från dieselgeneratorrum 2 och dieselgeneratorrum 4 från mätningen 2019 eftersom generatorn i rum 2 inte gick under mätningarna medan generator 4 var först till start. De flesta halter är konstanta maskinrummen emellan bortsett från TVOC och NOx som är betydligt lägre i generatorrum 2. Denna skillnad beror sannolikt på att TVOC och NOx skapas vid förbränning men förväntningarna var att även SO_2 skulle vara betydligt lägre. En anledning till detta skulle kunna vara den låga koncentrationen SO_2. Att skillnaden inte blir lika tydlig eftersom det är så låga nivåer det handlar om jämförelsevis mot NOx och TVOC. Ventilationen till maskinrum 2 kan också påverka resultatet, likaså insugsluften till maskinrum 4. Generator 4 behöver insugsluft och denna luft kommer utifrån och kommer därför mer eller mindre vara kontaminerad med bland annat andra fartygs avgaser.

Sedan konverteringen till batteridrift på Aurora har arbetsuppgifterna blivit mer omväxlande. Det är fortfarande en del skruvande med maskiner och teknisk utrustning men nu ingår det även arbeten med laddningsroboten och optimering och utveckling av batteridriften. Efter ombyggnaden krävs också ett högspänningscertifikat för att få arbeta ombord med batteridriften.

Vissa arbeten i ett maskinrum är förknippade med högre exponeringsrisk av luftföroreningar. Det är bland annat arbeten med och vid huvudmaskinerna, filterbyten och oljebyten (direktkontakt med oljor), vaskning och arbeten vid och med separatorerna. Dieselgeneratorerna kräver fortfarande serviceunderhåll och reparationer men med längre

tidsintervall eftersom maskinerna inte har lika många gångtimmar sedan övergången till batteridrift. Filter- och oljebyten reduceras också vid minskade gångtimmar. Generatorernas brännolja och smörjolja behöver separeras från smuts och vatten för att fungera optimalt, detta görs i diesel- och smörjoljeseparatorer. Precis som alla maskiner behöver separatorerna underhållas och service behöver utföras på dem, där bland annat lagerbyten och rengöring av delar ingår. Renligheten på oljan som separeras, likaså drifttimmarna påverkar serviceintervallet på separatorerna. Ju färre drifttimmar dieselgeneratorerna har desto längre blir serviceintervallen och desto renare kommer separatordelarna vara vid rengöring, vilket gynnar arbetaren på flera sätt. Renare delar gör att arbetet går snabbare och därmed minskas exponeringstiden, likaså blir exponeringsintervallet längre. Arbetsmiljön har förbättrats på många sätt i separatorrummet i och med konverteringen. En skillnad är minskning av nanopartiklar och TVOC vilket resulterar i minskad risk för inandning av luftföroreningar. Temperaturen har också sjunkit med nästan tio grader till behagliga 24,3 grader, vilket för med sig några hälsofördelar som bland annat minskad termisk belastning av kroppen vid arbete.

En annan arbetsuppgift som kan ha hög exponeringsrisk av luftföroreningar är bunkring. Eftersom dieselgeneratorerna inte körs lika mycket efter konverteringen minskas bränsle- och smörjoljeförbrukningen vilket resulterar i färre bunkringstimmar och mindre exponeringsrisk.

9.2 Metoddiskussion

Det var från början tänkt att personburen mätutrustning skulle delas ut till besättning både i maskin, på däck/brygga och till intendenturpersonal. Eftersom mätningarna placerades ut sent på kvällen och de flesta i Auroras besättning lämnar båten och går hem efter arbetspassets slut kom vi överens om att det blir bättre att endast placera ut stationära mätstationer. Vi ansåg att det skulle vara för mycket begärt att låta besättningen demontera och innesluta den personliga utrustningen under tiden de inte var på båten, för att sedan ta fram den igen och exponera mätutrustningen för luften. Istället valde vi att placera ut dubbla mätinstrument vid varje stationär mätstation och på så sätt kunna jämföra resultaten från de båda instrumenten vid varje station och säkerställa trovärdigt och mer korrekt resultat. Mätningar togs under en vecka vilket nödvändigtvis inte är lång tid men eftersom Aurora går sina fasta turer varje dag kommer förutsättningarna vad gäller antal turer och hamnanlöp vara representativt. Däremot hinner inte alla möjliga väderalternativ utspela sig under en vecka och därför hade möjligtvis resultatet blivit mer korrekt om mätperioden var något längre.

10 Slutsatser

Innemiljön på Aurora är mycket bra och har förbättrats sedan konverteringen vilket är positivt, speciellt med tanke på att huvudsyftet varit att förbättra utemiljön.

- Nivåerna av luftföroreningarna SO_2, NOx, TVOC, PAH, B(a)P, Naftalen, PM10, PM2,5 och nanopartiklar har minskat på Aurora sedan konverteringen till batteridrift.
- Nivåerna ligger långt under de olika gränsvärden som tagits fram bortsett från TVOC i separatorrummet.
- Arbetsuppgifterna har förändrats sedan konverteringen, olika mycket beroende på befattning och avdelning.
- Luftkvalitetn skiljer sig en del mellan utrymmena ombord, där maskinutrymmena är mest påverkade.

11 Förslag till vidare studier

De båda mätningarna som gjorts på Aurora har gjorts på olika tider på året med olika väderförhållanden. Det hade varit intressant att göra en liknande mätning efter konverteringen men då under samma tid på året som första mätningen gjordes. Likaså komma ombord tidigare på dygnet för att få chansen att introducera den personburna mätutrustningen för besättningen och därmed få mätdata för varje besättningsrepresentant från de olika avdelningarna.

Ett annat förslag till vidare studier är att göra fler mätningar där nanopartiklar ligger i fokus för att kunna studera partiklarna mer och identifiera föroreningskällorna. Detta för att kunna avgöra hur farliga partiklarna är och åtgärder för att minska exponeringsrisken. Det behövs också mer forskning för att få tillräckligt underlag att kunna fastställa hälsoriskerna.

Referenser

AFS. (2018:01). *Hygieniska gränsvärden Arbetsmiljöverkets författningssamling*. Stockholm: Arbetsmiljöverket.

AFS. (2014:14). *Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar.*

Stockholm: Arbetsmiljöverket.

AML. (2013:365). *Arbetsmiljöns beskaffenhet*. Stockholm: Arbetsmiljöverket.

Berglund, B. och Johansson, I. (1996). *Health effecth of volatile organic compounds in indoor air*.

Björndahl, G. och Castenfors, J. (2018) *Spira 2*. 3 uppl. Liber.

Boningari, T. och Smirniotis, P.G. (2016). *Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NOxabatement*. Curr. Opin. Chem. Eng. 13, 133–141. https://doi.org/10.1016/j.coche.2016.09.004

FoHMFS. (2014:17). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om temperatur inomhus*. Stockholm:Folkhälsomyndigheten.

FoHMFS. (2014:18). *Folkhälsomyndighetens allmänna råd om ventilation*. Stockholm:Folkhälsomyndigheten.

Folkhälsomyndigheten. (2013). *Luftkvalitet.* URL https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/luftkvalitet/ (hämtad 10/4-18).

Guha, N., Cogliano, V., Galichet, L., El Ghissassi, F., Grosse, Y., Baan, R., Straif, K., Secretan, B., Benbrahim-Tallaa, L., Freeman, C. och Bouvard, V. (2009). *A review of human carcinogens—Part F: Chemical agents and related occupations*. Lancet Oncol. 10, 1143–1144. https://doi.org/10.1016/s1470-2045(09)70358-4

IARC. (2012). *Diesel engines exhaust carcinogenic*. Journal of the National Cancer Institute. https://doi.org/10.1093/jnci/djs034

International Maritime Organization. (2011). MARPOL : articles, protocols, annexes, unified interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 protocols., 5th ed. IMO, London.

Jernström, B., Boström, C.-E., Hanberg, A., Kyrklund, T., Törnqvist, M., Gerde, P., Johansson, C., Rannug, A., Victorin, K. och Westerholm, R. (2018). *Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air*. Environ. Health Perspect. 110, 451–488. https://doi.org/10.1289/ehp.110-1241197

Kaerlev, L., Hansen, J., Hansen, H.L. och Nielsen, P.S. (2005). *Cancer incidence among Danish seafarers: A population based cohort study*. Occup. Environ. Med. 62, 761–765. https://doi.org/10.1136/oem.2005.020818

Langer, S. och Strandberg, B. (2018). *Riskbedömning av svenska sjömäns yrkesmässiga exponering för toxiska luftföroreningar Mätningar och enkätundersökning*. Stockholm: IVL Svenska miljöinstitutet.

Myndighet för samhällsskydd och beredskap. (2019). *Koldioxid*. URL https://rib.msb.se/Portal/template/pages/Kemi/Substance.aspx?id=522&q=koldioxid&p=1 (Hämtad 24/3-19).

Myndighet för samhällsskydd och beredskap. (2019). *Kväedioxid*. URL https://rib.msb.se/portal/template/pages/kemi/Substance.aspx?id=457&q=kvävedioxid&p=1 (Hämtad 25/1-19).

Naturvårdsverket. (2018). *Luftföroreningar och dess effekter*. URL https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Luftfororeningar/ (Hämtad 4/10-18).

Nordberg, G. och Lundström, N.-G. (2009). *Hälsoeffekter av svaveldioxid: en litteraturstudie med betoning på de senaste årens publikationer* 1–9.

Patel, R. och Davidson, B. (2015) Forskningsmetodikens grunder. *Att planera, genomföra och rapportera en undersökning*. Lund: Studentlittratur.

Saarni, H., Pentti, J. och Pukkala, E. (2002). *Cancer at sea: A case-control study among male Finnish seafarers*. Occup. Environ. Med. 59, 613–619. https://doi.org/10.1136/oem.59.9.613

SAN. (2019). *Sjöfartens arbetsmiljöhandbok*. Göteborg: Sjöfartens arbetsmiljönämd.

Sjöfartstidningen. (2019). *Stora miljövinster vid sundet*. URL https://www.sjofartstidningen.se/stora-miljovinster-vid-sundet/ (Hämtad 22/4-19).

SMHI. (2019). *Luftfuktighet*. URL https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/luftfuktighet-1.3910 (Hämtad 27/3-19).

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

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

UBA. Umweltbundesamt – Federal environment agency of Germany. *Health and environmental hygiene guide values for indoor air quality*. URL http://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kom missionen-arbeitsgruppen/ad-hoc-arbeitsgruppe-innenraumrichtwerte (Hämtad 4/10-18)

WHO. (2010). *Exposure to benzene: A major health concern*. World Heal. Organ. 17, 183–184.

WHO. (2005). Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.

Wu, D., Li, Q., Ding, X., Sun, J., Li, D., Fu, H., Teich, M., Ye, X. och Chen, J. (2018).

Primary Particulate Matter Emitted from Heavy Fuel and Diesel Oil Combustion in a Typical Container Ship: Characteristics and Toxicity. Environ. Sci. Technol. 52, 12943–12951. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04471

Wu, P. och Bucknall, R. (2016). *Marine propulsion using battery power* 1–10.

Bilagor

Mätplatser

Mätplats	Ämne	Mätutrustning	Tid
Maskinkontrollrum	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	60 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Dieselgeneratorrum 2	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Dieselgeneratorrum 4	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Separratorrum	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini_WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Hängbildäck	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7dagar
Battericontainer 1	NOx, SO_2 VOC PAH	Plastpuckar Tenaxrör PUF	7 dagar 7 dagar 7 dagar
Byssan	NOx, SO_2 VOC PAH	Plastpuckar Tenaxrör PUF	7 dagar 7 dagar 7 dagar
Brygga Helsingborg	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Brygga Helsingör	PM CO_2, Temperatur, RF NOx, SO_2 VOC PAH	Mini-WRAS Whöler Plastpuckar Tenaxrör PUF	30 min 7 dagar 7 dagar 7 dagar 7 dagar
Däck 6	NOx, SO_2 VOC PAH	Plastpuckar Tenaxrör PUF	7 dagar 7 dagar 7 dagar

Sammanställning av mätresultaten från Aurora

Alla resultat är i medianer förutom för Summa 32 PAH, Naftalen och B(a)P, där resultatet är i separatorrummet.

Kategori	Enhet	Aurora 2014	Aurora 2019
Temperatur	°C	23,1	23,3
RH	%	47	25
CO_2	Ppm	395	428
SO_2	µg/m^3	0,70	0,47
NO_2	µg/m^3	28,3	18,7
NO	µg/m^3	25,8	7,0
NOx	µg/m^3	60	31
TVOC	µg/m^3	121	72
Bensen	µg/m^3	0,35	0,40
Summa 32 PAH	ng/m^3	1 549	592
Naftalen	ng/m^3	128	51
B(a)P	ng/m^3	0,014	0,01
PM10	µg/m^3	10,8	4,0
PM2.5	µg/m^3	7,0	3,8
Nanopartiklar	µg/m^3	16 567	337