

Eksposering for benzen blant laboranter, mekanikere og prosessoperatører i norsk offshore petroleumsindustri i perioden 2002-2018.

Nadia Ousman



Masteroppgave

Masterprogram i helsevitenskap

Forskningsgruppe for arbeids- og miljømedisin

Institutt for Global helse og samfunnsmedisin

Det medisinske fakultet

UNIVERSITETET I BERGEN

Vår - 2019

Eksponering for benzen blant laboranter, mekanikere og prosessoperatører i norsk offshore petroleumsindustri.

Sammenlikning av tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.

© Nadia Ousman

2019

Eksponering for benzen blant laboranter, mekanikere og prosessoperatører i norsk offshore petroleumsindustri i perioden 2002-2018.

Nadia Ousman

<https://bora.uib.no/>

Sammendrag

MÅLSETTING: Beskrive benzeneksponering blant laboranter, mekanikere og prosessoperatører innen norsk offshore petroleumsindustri i perioden 2002-2018, og sammenlikne denne eksponeringen med den norske yrkeshygieniske grenseverdien for benzen. Vi ønsket også å undersøke om benzeneksponeringen har blitt redusert etter 2007 sammenliknet med 2003 og 2019, hvorav siste innsamling var kun fra Equinor. En database med beskrivende variabler var basert på målingene fra Equinor. På bakgrunn av økt fokus på eksponering for benzen og dets helseeffekter rundt 2007, ble benzeneksponeringen til de tre utvalgte yrkesgruppene sammenliknet før og etter dette året. Deskriptiv statistikk, ANOVA, post-hoc Bonferroni-test og uavhengig t-test ble utført for å beskrive eksponeringen. Resultatene ble \log_e -transformert før statistiske analyser på grunn av skjevfordelte data.

RESULTATER: Ved personlige langtidsmålinger (≥ 60 min) i perioden 2002-2018 var det ingen statistisk forskjell mellom gjennomsnittlig benzeneksponering for laboranter (AM = 0,02 ppm; GM = 0,008 ppm), mekanikere (0,07 ppm; 0,006 ppm) og prosessoperatører (0,07 ppm; 0,006 ppm). Ved statistisk testing i tråd med anbefalingene i Norsk Standard, var eksponeringen i samsvar med grenseverdien (0,6 ppm) for alle tre yrkesgruppene. Mekanikere hadde en signifikant høyere eksponering i perioden 2008-2018 sammenliknet med perioden 2002-2007, mens det ikke var noen forskjell mellom de to tidsperiodene for de andre yrkesgruppene. Arbeidsoppgavene som medførte høyest benzeneksponering var arbeid på flotasjonsanlegg (AM = 0,89; GM = 0,54 ppm), lossing/mottak av pigg (0,69 ppm; 0,35 ppm), manuell rengjøring av utstyr forurenset med råolje (0,49 ppm; 0,03 ppm) og overhaling av diverse utstyr (0,51 ppm; 0,08 ppm).

KONKLUSJON: Til tross for at eksponeringen for de tre utvalgte yrkesgruppene var lavere enn dagens yrkeshygieniske grenseverdi, bør det arbeides for å redusere eksponeringen mest mulig siden benzen er et sikkert karsinogen samt at grenseverdien trolig vil bli redusert. En ytterligere reduksjon i benzeneksponering kan oppnås ved å fokusere på arbeidsoppgaver der eksponeringen er høy.

NØKKELOD: Benzen, Kjemisk eksponering, Petroleumsindustri.

OBJECTIVES: Describe benzene exposure among laboratory technicians, mechanics and process operators in the Norwegian offshore petroleum industry during the period 2002-2018, and compare this exposure with the Norwegian occupational exposure limit (OEL) for benzene. We also wanted to investigate whether the benzene exposure has been reduced after 2007. Another objective was to describe the benzene exposure for the work tasks assumed to have highest exposure levels.

METHOD: Exposure measurements performed on installations in the Norwegian offshore industry were collected in three rounds between 2003 and 2019, in which the last round included measurements Equinor only. A database of descriptive variables was developed based on these exposure measurements from Equinor. Based on increased focus on exposure to benzene and its health effects around 2007, the benzene exposure for the three selected occupational groups was compared before and after this year. Descriptive statistics, ANOVA, post-hoc Bonferroni test and independent t-test were performed to describe the exposure. The results were log-transformed before statistical analysis due to skewed data.

RESULTS: For personal long-term measurements (≥ 60 min) in the period 2002-2018, there was no statistical difference between the average benzene exposure for laboratory technicians (AM=0.02 ppm; GM=0.008 ppm), mechanics (0.07 ppm; 0.006 ppm) and process operators (0.07 ppm; 0.006 ppm). In statistical testing in line with the recommendations in the Norwegian Standard, the exposure was in compliance with the OEL (0.6 ppm) for all three occupational groups. Mechanics had a significantly higher exposure in the period 2008-2018 compared with the period 2002-2007, while there was no difference between the two time periods for the other occupational groups. The tasks that resulted in the highest benzene exposure were work on flotation plants (AM=0.89; GM=0.54 ppm), reception of pipeline cleaning equipment (0.69 ppm; 0.35 ppm), manual cleaning of equipment contaminated with crude oil (0.49 ppm; 0.03 ppm) and maintenance of various equipment (0.51 ppm; 0.08 ppm).

CONCLUSION: Despite the fact that exposure for the three selected occupational groups was lower than today's occupational exposure limit, efforts should be made to further reduce exposure as benzene is a known carcinogen and the limit value is likely to be reduced. A further reduction in benzene exposure can be achieved by focusing on work tasks where the exposure is high.

KEYWORD: Benzene, Chemical exposure, Petroleum industry.

Forord

Sommeren 2016 jobbet jeg som frivillig bioingeniør-assistent ved Campus universitetssykehus i Lome (Vest Afrika). utfordringer med biologisk og kjemisk eksponering på denne arbeidsplassen vekket min interesse for yrkeshygiene. Det var med stor begeistring jeg begynte på denne mastergraden høsten 2017.

Arbeidet med denne masteroppgaven markerer slutten på de to mest lærerike årene i min skolegang, og min tid som student ved Universitetet i Bergen. Gjennom disse årene har jeg tilegnet meg kunnskap og erfaringer jeg gleder meg til å ta med meg videre i arbeidslivet.

En uendelig stor takk til mine veiledere, Magne Bråtveit (Professor, UiB), Bjørg Eli Hollund (Yrkeshygieniker, HUS), Jorunn Kirkeleit (Yrkeshygieniker, HUS) og Hilde Ridderseth (PhD stipendiat, UiB) for deres tålmodighet og god veiledning under denne prosessen.

Takk til yrkeshygienikere på Equinor for lærerike prosjektmøter, og takk til alle i forskningsgruppe for Arbeids- og miljømedisin.

Til slutt vil jeg si en stor takk til min familie i Norge (spesielt Elias og Nader for motivasjon), og i Togo (spesielt Jonathan for moral støtte).

Innholdsfortegnelse

1	INTRODUKSJON	9
1.1	1. BAKGRUNN	9
1.1.1	<i>Offshore installasjoner; Boring og produksjon/prosess.....</i>	<i>10</i>
1.2	RÅOLIENS SAMMENSETNING.....	13
1.2.1	<i>Kjemisk eksponering.....</i>	<i>14</i>
1.3	BENZEN.....	14
1.3.1	<i>Helseeffekter knyttet til benzeneksponering</i>	<i>15</i>
1.3.2	<i>Kreftklassifisering av benzen</i>	<i>15</i>
1.3.3	<i>Benzeneksponering i ulike deler av petroleumsindustrien.....</i>	<i>15</i>
1.3.4	<i>Benzeneksponering blant ulike yrkesgrupper på produksjonsinstallasjoner</i>	<i>16</i>
1.3.5	<i>Benzeneksponering ved utførelse av diverse arbeidsoppgaver.....</i>	<i>17</i>
1.4	REGELVERK OG YRKESHYGIENISKE GRENSEVERDIER	23
1.5	METODER FOR KARTLEGGING AV BENZENEKSPONERING.....	24
1.5.1	<i>Aktiv prøvetaking.....</i>	<i>25</i>
1.5.2	<i>Passiv prøvetaking.....</i>	<i>26</i>
1.5.3	<i>Analysemetoder.....</i>	<i>27</i>
1.6	RASJONALE FOR DENNE MASTER-STUDIEN	27
2	HENSIKT OG PROBLEMSTILLING	29
2.1.1	<i>Forskningsspørsmål.....</i>	<i>29</i>
3	METODE	30
3.1	DATAINNSAMLINGSPERIODE I	30
3.2	DATAINNSAMLINGSPERIODE II	30
3.3	DATAINNSAMLINGSPERIODE III	31
3.3.1	<i>Inklusjon- og eksklusjonskriterier.....</i>	<i>32</i>
3.3.2	<i>Kategorisering av variabler.....</i>	<i>32</i>
3.3.3	<i>Kategorisering av yrkesgrupper.....</i>	<i>33</i>
3.3.4	<i>Kategorisering av arbeidsoppgaver.....</i>	<i>33</i>
3.3.5	<i>Kategorisering av kort- og langtidseksponering.....</i>	<i>33</i>
3.3.6	<i>Beskrivelse av arbeidsoppgaver.....</i>	<i>35</i>
3.4	DATAANALYSE	39
3.4.1	<i>Analyse av målinger under LOD for benzen.....</i>	<i>40</i>
3.5	ETISKE HENSYN I STUDIEN.....	40
4	RESULTATER	42
4.1	DATAMATERIALET.....	42
4.2	EKSPONERINGSNIVÅER FOR BENZEN BLANT UTVALGTE YRKESGRUPPER.....	44
4.2.1	<i>Langtidsmålinger (>60 min).....</i>	<i>44</i>
4.2.2	<i>Eksponeringsnivåer for benzen ved lang prøvetakingstid, fordelt på tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.....</i>	<i>45</i>
4.2.3	<i>Korttidsmålinger (≤60 min).....</i>	<i>46</i>
4.2.4	<i>Sammenlikning av eksponeringsnivåer for benzen ved kort prøvetakingstid fordelt på tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.....</i>	<i>47</i>
4.3	BENZENEKSPONERING KNYTTET TIL KORTTIDSOPPGAVER	48
4.4	SAMMENLIKNING MED NORSK YRKESHYGIENISK GRENSEVERDI	49

5	DISKUSJON	51
5.1	LANGTIDSMÅLINGER	51
5.2	BENZENEKSPONERING SAMMENLIKNET MED NORSK YRKESHYGIENISK GRENSEVERDI	53
5.3	BENZENEKSPONERING KNYTTET TIL SPESIFIKKE ARBEIDSOPPGAVER (PRØVETAKINGSTID ≤ 60 MIN).....	53
5.4	STYRKER OG SVAKHETER	58
6	KONKLUSJON.....	60
	KILDER OG LITTERATUR.....	61

Forkortelser

ATD – Termisk desorpsjonsrør

AML – Akutt Myelogen Leukemi

NIOSH – National Institute of Occupational Safety and Health

RAC – Committee of Risk Assessment

ECHA – European Chemical Agency

IARC – International Agency for Research on Cancer

MEG – Monoetylglykol

TEG – Tri etylenglykol

ppm – parts per million

1 Introduksjon

1.1 1. Bakgrunn

Oljeindustrien i Norge

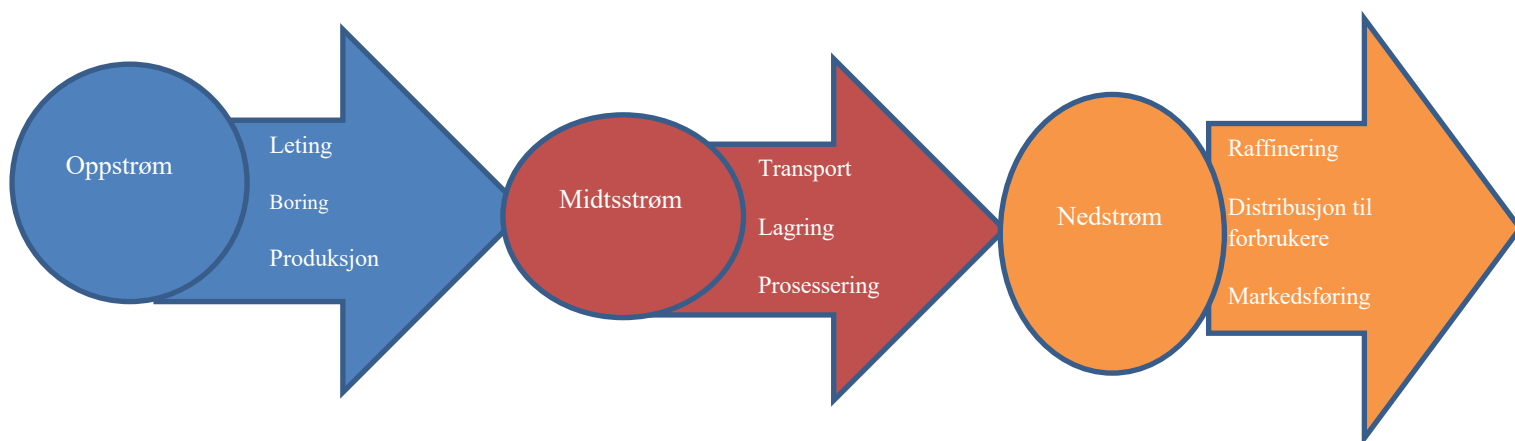
Olje og gass har i mange hundre år blitt brukt som energikilde, først og fremst til forbrenning og senere i større skala i transportbransjen. Etter 2. verdenskrig har naturgass industrien vokst mye, blant annet grunnet byggingen av lange rør som kan transportere gassen over lange distanser (1). I løpet av 50 år som oljenasjon, har petroleumsindustrien stått for en stor andel av Norges verdiskapning. Ifølge statistisk sentralbyrå (SSB, 2017) var 185.300 mennesker direkte og indirekte sysselsatte i denne næringen i 2016 (2). Olje- og gassindustrien deles inn i opp-, og nedstrømsaktiviteter.

Oppstrømsaktivitetene omfatter letingen og utvinningen av råolje, naturgass og naturgasskondensat. Denne delen tilhører det som er kjent som leting- og produksjonssektoren, og i Norge er denne begrenset til den norske kontinentalsokkelen. Sektoren betegnes derfor som Norges offshore petroleumsindustri. Oljeindustrien på den norske kontinentalsokkelen er spredt på områder fra nord-, til sør-vest, på havområder i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet. Ifølge tall fra 2019 (3), er de samlede norske havområdene nesten seks ganger større enn Fastlands-Norge, Svalbard og Jan Mayen til sammen. Om lag halvparten av dette område t består av sedimenterte bergarter man antar kan inneholde petroleum (4). Den geologiske sammensetningen i havbunnen, sammen med varigheten feltet drives vil kunne avgjøre sammensetningen av produksjonsstrømmen. Det er også en variasjon fra felt til felt i sammensetningen av hydrokarboner og kvalitet. Viskositeten til råoljen, altså i hvilken grad den er tung- eller lettflytende avhenger av hydrokarbon-sammensetningen, andre stoffer som svovel og voks, og variasjon fra felt til felt.

I noen tilfeller betegnes prosesseringen, transporten og lagringen av olje og gass som midstrømsaktiviteter som vist i figur 1. I andre tilfeller er disse aktivitetene en del av oppstrømsindustrien.

Nedstrømsaktivitetene omfatter raffinering av olje og gass, petrokjemisk industri, forsyning og distribusjon (5). Raffineriene mottar store mengder med råolje via rør og tankbåter, som omdannes til andre produkter ved bruk av petrokjemiske prosesser. Eksempler

på petroleumsprodukter som raffineres og produseres i raffinerier og petrokjemiske fabrikker inkluderer bensin, diesel, asfalt, plast, syntetisk gummi, og flybensin. Distribusjonen av petroleumsproduktene omfatter all bevegelse av petroleumsprodukter fra raffinerier til detaljhandel og til slutt brukerne. Denne delen av industrien omfatter lasting av petroleumsprodukter i store mengder fra raffineriene ved transportmetoder som store rørledninger, skip, og lastebiler slik at de kommer frem til forbrukeren, for eksempel bensinstasjoner.



Figur 1: Inndeling av aktivitetene i petroleumsindustrien.

1.1.1 Offshore installasjoner; Boring og produksjon/prosess

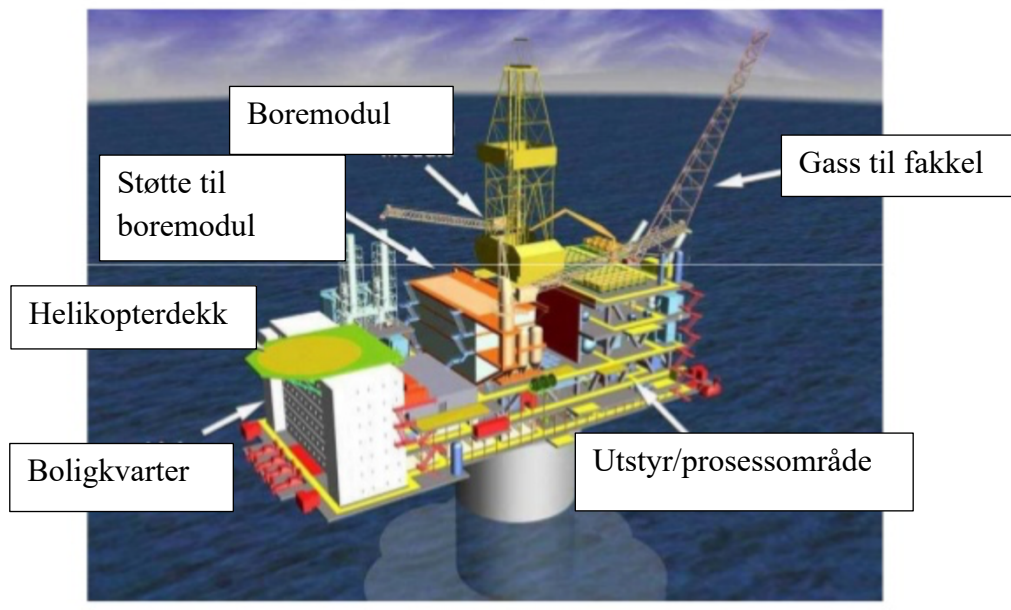
Det finnes ulike typer installasjoner i oppstrømsindustrien avhengig av hvor og hva de skal brukes til. Herfra kan den produserte gassen føres direkte i gasseksportør til land, eller oljen kan lastes over i tankbåter for transport onshore for raffinering (6).

Boreplattformer kan enten være nedsenkbare med ben som hviler på havbunnen, eller flytende oppjekkbar som kan flyttes fra sted til sted. Disse er forsynt med tårn for boring etter petroleum på havbunnen (figur 2).

Produksjonsplattformer, også kjent som arbeidsplattformer brukes til utvinningen av petroleum til havs. Gravitasjonsplattformer som hviler på havbunnen på grunn av egen tyngde, og Stelljacket plattformer som er store fagverkkonstruksjoner i stål er eksempler på

produksjonsplattformer (9). Det er i prosessanlegget på produksjonsplattformene at oljen, gassen og vannet behandles og skilles i ulike faser.

Produksjonsskip, som er flytende installasjoner, kan ligge på ulike gass- og oljefelt. Disse går også under den engelske forkortelsen FPSO (flotating, production, storage and offloading) (6). Olje og gassprosesseringen skjer ombord på skipet, og oljen lagres i lagertanker.



Figur 2: Illustrasjon av typiske enheter på en produksjonsplattform offshore (7).

Offshore installasjoner kan variere både i størrelse og struktur. Hovedsakelig består disse av boreutstyr i boreenhetene, områder for drift og vedlikehold av brønner og prosessutstyr i prosessområdet hvor produksjonen foregår. Det er i tillegg dekk for helikopterlanding og boenheter. I boremodulen foregår selve boringen av brønner ned til reservoarene (8).

Oppstrømsprosesser

Målet med produksjonsprosessene knyttet til oppstrømsaktivitetene er behandling av væske som produseres i flere stadier. Man skiller mellom behandling av gass, vann, kondensat og oljeprosessering. Dette er kjent som prosessering av råstoff. Følgende komponenter er viktige i oppstrømsindustrien:

- Brønnmanifold.

Denne sørger for fordeling av væske og gass til prosesssystemet. Her skjer tilsetningen av kjemikalier med ulike egenskaper, for eksempel kjemikalier som hindrer avsetning av *scale* (kalsiumkarbonat fra formasjonsvann som følger med olje og gass fra reservoaret) (9) i prosessanlegget. Dette er viktig for å hindre reduksjon av diameteren i rørene, og dermed nedsatt produksjon. Herfra kan det gå flere hovedlinjer som enten fører fram til en testseparator eller andre steder i prosessanlegget.

- Separatorer.

For å unngå skade på utstyret som brukes i prosess og for å få levert et rent produkt, er det nødvendig at oljeproduksjon som leveres til land inneholder minimalt med både vann-, og gass. Transporten av olje og gass skjer på ulike måter, og det derfor viktig at disse separeres i egne separatorer (trinn A på figur 3), og behandles før transport til mottakere. Separatorer langs produksjonslinjen deles inn i to-, og tre-trinseparatorer, og disse kan brukes til ulike formål (9). Olje, gass og vann skilles fra hverandre i tre-trinns separatorer, mens olje og gass skilles fra hverandre i tofaseseparatorer.

- Varmevekslere

Disse brukes til å regulere varmen i prosessen, enten man trenger å få varmet opp eller kjølt ned oljen. Disse gir muligheten for overføring av varme mellom to gass- eller væskestrømmer med ulike temperatur. Et eksempel på rørvarmevekslere er vist i trinn E på figur 3.

- Gasstørking og Gasskompresjon

Gasstørking er for å redusere innholdet av vann som følger med gassen fra separatorene. Dette hindrer blant annet korrosjon i eksportørledningene som følge av vann som legger seg i dumper. Absorpsjon av gass i glykol, er den mest vanlige tørkemethoden for gass. Det skjer også kompresjon av gasser for å få samme trykk på gassen som kommer fra et trinn til et annet i separasjonsprosessen, dette er sammen med gasstørking (illustrert på trinn D på figur 3).

- Vannbehandling.

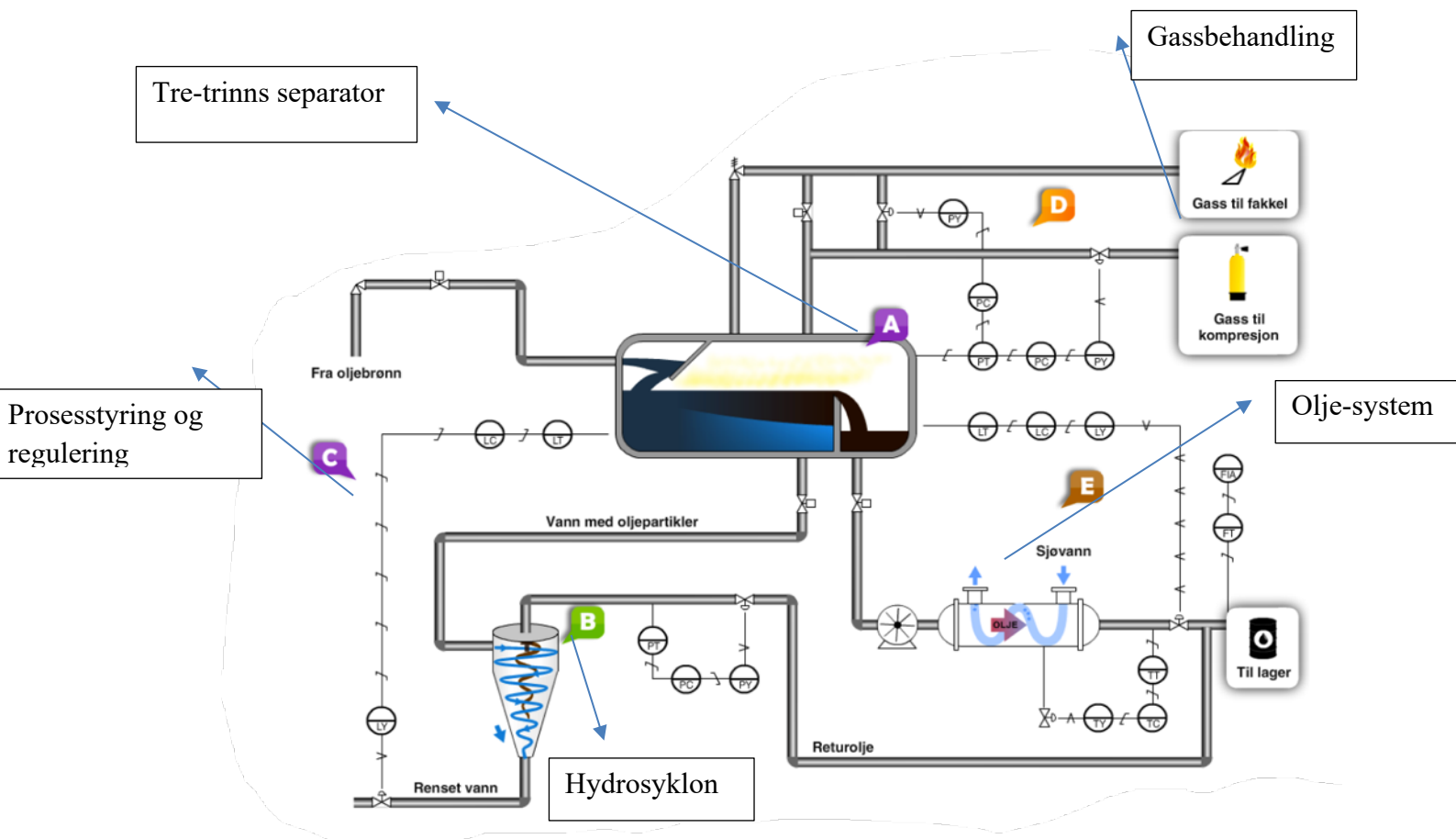
Vann som følger produksjonsstrømmen og som skilles ut i prosesseringen er rik på hydrokarboner. Dette vannet omtales som «produsert vann». Et renseanlegg brukes til vannrensing før vannet injiseres i brønn eller det slippes til sjø. I renseanlegget behandles injeksjonsvann med kjemikalier etter at oksygen og partikler er fjernet (9). Det er egne krav for innhold av ulike stoffer som tungmetaller og hydrokarboner i injeksjonsvannet, og det tas derfor jevnlig prøver for å sørge for at det produserte vannet møter utslippskravene. Egne

laboratorier på installasjonene brukes blant annet til analysering av disse prøvene.

Hydrosykloner (som illustrert på trinn B på figur 3) er i dag en av de vanligste metodene for vannbehandling.

- Prosesstyring.

Kontroll av trykk, temperatur og væsknivå er deler av prosesstyringen som ofte skjer automatisk. Denne styringen er for å sørge for at diverse parametere holdes innenfor satte verdier, illustrert på trinn C på figur 3. For eksempel vil en reguleringsventil presse mer olje ut gjennom et vannutløp, dersom trykket av olje som kommer fra hydrosyklonen er for stort og øke mengde vann som kommer tilbake sammen med oljen hvis trykket er for lavt.



Figur 3: Oversikt over oppstrømsprosesser i et prosessanlegg (9).

1.2 Råoljens sammensetning

Råolje er et fossilt brennstoff som er blitt lagret under havoverflaten i mange millioner år, under påvirkning av tid, varme og trykk. Sammen med naturgass er råoljen produkter av nedbryting av organisk materiale i sedimentære bergarter (10). Naturlig forekommer råolje som en flytende hydrokarbonblanding som finnes i reservoarer i berggrunnen. Opp fra reservoarene kommer brønnstrømmen bestående av ulike gass, olje og vannblandinger. Oljens sammensetning varierer, avhengig av type råolje, og den geologiske formasjonen i området hvor den er produsert. Metaller som kvikksølv forekommer naturlig som en del av de ulike petroleumstrømmer. Andre forbindelser som er bestanddeler av råolje er svovelholdige forbindelser (eks. H_2S), nitrogenholdige pyridiner, og oksygenholdige naftener (10). Tilsetningsstoffer som biocider og mono- og trietylenglykol (MEG/TEG) kan også forekomme i råoljen.

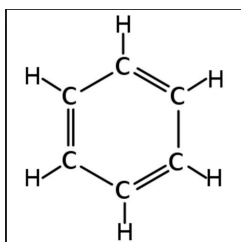
Råolje inneholder også en rekke hydrokarbonforbindelser, bl.a. det vannløselige hydrokarbonet benzen (C_6H_6) som sammen med toluen, etylbenzen og xylen inngår i samlebetegnelsen BTEX. BTEX hydrokarbonene er av de mest flyktige og toksiske komponentene i råoljen, og kan lett tas opp i kroppen via luftveiene (11) og huden. Blant disse fire hydrokarbonene, knyttes flest alvorlige helseeffekter til benzen. Benzen blir derfor mest omtalt i de neste avsnittene i dette kapitlet.

1.2.1 Kjemisk eksponering

Opptak av kjemiske forbindelser i menneskekroppen skjer hovedsakelig på tre måter. Enten ved innånding, ved direkte hudkontakt, og i mindre grad ved svelging. Opptak av benzen ved yrkesmessig eksponering skjer hovedsakelig ved innånding, men noe hudopptak kan forekomme (12, 13).

1.3 Benzen

Benzen har en molekylvekt på 78,11 g/mol, et damptrykk på 94,5 mm/Hg ved 25 °C samt et kokepunkt på 80,1°C (14). Det er det enkleste ringformede aromatiske hydrokarbonet, en heksagon uten funksjonelle grupper og tre dobbelt-bindinger (figur 4).



Figur 4: Strukturen til en benzen-ring (14).

1.3.1 Helseeffekter knyttet til benzeneksponering

Generelt kan eksponering for flyktige hydrokarboner som benzen gi både akutte og kroniske effekter i nervesystemet. Blant rapporterte helseeffekter knyttet til benzen eksponering er fare akutt for hud- og øyeirritasjon (14). Langvarig eksponering knyttes også til kroniske effekter som organ-, og genskader, skadelig effekt på blod (15, 16), samt risiko for blod- og lymfekreft.

1.3.2 Kreftklassifisering av benzen

Benzen er en etablert risikofaktor for leukemi, og International Agency for Research on Cancer (IARC 1987, 2000 og 2018) har klassifisert benzen som et gruppe 1-karsinogen, dvs. som sikkert kreftfremkallende for mennesker (16). Denne risikoen knyttes til langvarig benzeneksponering (17). Økt risiko for leukemi har eksempelvis vært rapportert i Australsk petroleumsindustri (18), og i to store, men overlappende kohorter av norske benzeneksponerte petroleumsarbeidere offshore (19, 20).

1.3.3 Benzeneksponering i ulike deler av petroleumsindustrien

Benzen forekommer naturlig i væskefase i råoljen og vil være tilstede i ulike konsentrasjoner langs hele produksjonslinjen. Benzeninnholdet vil kunne variere avhengig av type produksjonsanlegg, type petroleumsstrøm og i ulike deler av produksjonsstrømmen. Ifølge Norsk Olje og gass (2014) ligger benzenkonsentrasjonen i naturgass kondensat på >1% og mellom 0,1-1% i råolje og glykol systemer (21). Studier av benzeneksponering i oppstrøm petroleumsindustri publisert etter år 2000, er presentert i tabell 2.

1.3.4 Benzeneksponering blant ulike yrkesgrupper på produksjonsinstallasjoner

Benzeneksponeringen blant offshore petroleumsarbeidere varierer med arbeidsoppgaver. Disse oppgavene utføres av ulike yrkesgrupper, og dermed vil eksponeringen også variere basert på hvilken yrkesgruppe man tilhører. Prosessoperatører, laboranter, og mekanikere (22) er blant yrkesgruppene man antar kan ha hatt og/eller fortsatt har en relativ høy benzeneksponering sammenlignet med andre yrkesgrupper i petroleumsindustrien. Den kjemiske eksponeringen til disse yrkesgruppene har også tidligere blitt studert i norsk petroleumsindustri (23).

Prosessteknikere

Prosessteknikere er ansvarlige for overvåkingen av alle steg i oppstrømprosessen. Dette gjelder alt fra når oljen og gassen kommer til plattformen, prosesseringen, og når produktene sendes enten via rør eller med skip til land hvor de raffineres. Prosessteknikere har også ansvaret for overvåking og regulering av produksjonsprosessene fra egne kontrollrom (24). De er i tillegg ansvarlige for den generelle oppfølgingen av prosessområdet, ved at de tar olje og gassprøver, og ved at de overvåker eventuelle lekkasjer og søl.

Laboranter

Laboranter er ansvarlige for å kartlegge og analysere petroleumsprøver fra prosessstrømmene. Analysene går ut på å fastsette komposisjonen, tettheten og duggpunktet til de ulike petroleumsproduktene. I tillegg kontrolleres andre produksjonskjemikalier som glykol, mengden olje i vann og kjølevann. Laboranter vil i noen tilfeller også være ansvarlige å analysere prøver som brukes til oppfølging av vann og luftutslipp.

Mekanikere

Ulike typer mekanikere jobber i de forskjellige delene langs produksjonslinjen. Blant disse er industrimekanikere, som er ansvarlige for vedlikeholdet av mekanisk maskineri og utstyr. Motormekanikere er ansvarlige for vedlikehold og reparasjon av diverse utstyr som for eksempel kjøretstyr og aggregater. Dette i tillegg til pneumatiske, hydrauliske og elektriske systemer på både stasjonære og mobile forbrenningsmotorer og på kjøretstyr (24). Andre

yrkesgrupper som utfører liknende arbeidsoppgaver er maskinister, hydrauliske teknikere og turbinoperatører.

1.3.5 Benzeneksponering ved utførelse av diverse arbeidsoppgaver

Arbeidsoppgaver, og type utstyr brukt til utførelsen av disse, er blant de faktorene som påvirker benzeneksponeringen. Ifølge Norsk Olje og Gass, kan arbeidsoppgavene gitt i tabell 1 være kilde til høye benzeneksponeringer. Noen av disse arbeidsoppgavene er beskrevet i mer detalj under (21).

Tabell 1: Liste av oppgaver som anses til å være kilde til høy benzeneksponering (21).

Prøvetaking av olje, kondensat og produsert vann
Pigg- sending og mottak
Åpning av hydrokarbonførende systemer
Entring av tank
Mekanisk arbeid: enten på hydrokarbonutstyr eller systemer for produsert vann og glykol
Steaming/ avlufting av tanker, separatorer, piping osv.
Til-, og fra kobling av slanger
Inspeksjon av strømningslinjene, som demontering av ventiler, choker, og åpninger
Bytte og rengjøring av filtre
Vedlikehold og testing av måle-, og reguleringsutstyr
Trykkavalsting av avløp
Nivåmåling
Analysering og laboratoriearbeid

Prøvetaking

På installasjonene tas det prøver av både gass, olje og produsert vann, i ulike stadier av prosessen. Utførelsen av denne arbeidsoppgaven varierer fra en til flere ganger per skift, og kan utføres av blant annet laboratorie- og prosessteknikere. Prøvetaking av produsert vann er blant annet for å kartlegge innholdet av tungmetaller og hydrokarboner, slik at kravene for tillatt mengde utslipp oppfylles. Denne oppgaven vil i noen tilfeller også kreve at operatørene åpner deler av systemet, og dermed vil kunne bli eksponert for benzen. Bråtveit et al. (2007) konkluderte i sin studie at benzeneksponering ved prøvetaking av råolje var lavere

sammenliknet med flere andre korttidsoppgaver (figur 5) (25). Arbeidet utføres enten manuelt ved at prøvematerialet først fylles i en bøtte så i en flaske, eller at en målesylinder fylles automatisk. Ved manuell prøvetaking kan temperaturen være ganske høy (> 45 °C), noe som kan påvirke eksponeringsnivået av benzen.

Pigg sending og mottak

Pigging er prosessen der rørledningene renses, vedlikeholdes og inspiseres uten at produksjonsstrømmen stoppes. Potensiell eksponering for benzen og andre hydrokarboner er særlig knyttet til mottak av pigg. Ved mottak/uttak av pigg følger det med en blanding av råolje, vann og voks. Dersom pigg-fellen ikke fungerer optimalt, vil noe av råoljen bli med ved mottak av piggen, og kunne være en eksponeringskilde for prosessoperatørene som utfører denne arbeidsoppgaven. Blant arbeidsoppgavene på figur 5, er arbeid relatert pigging forbundet med relativ høy eksponering for benzen.

Vedlikeholdsarbeid

Mye av vedlikeholdsarbeidet på utstyret utføres av mekanikere, og i noen tilfeller prosessoperatører. Generelt vil vedlikeholdsarbeid som krever åpning eller entring av hydrokarbonførende systemer være potensielle kilder til benzeneksponering

Varigheten av vedlikeholdsarbeidet er også avgjørende for den totale benzeneksponeringen.

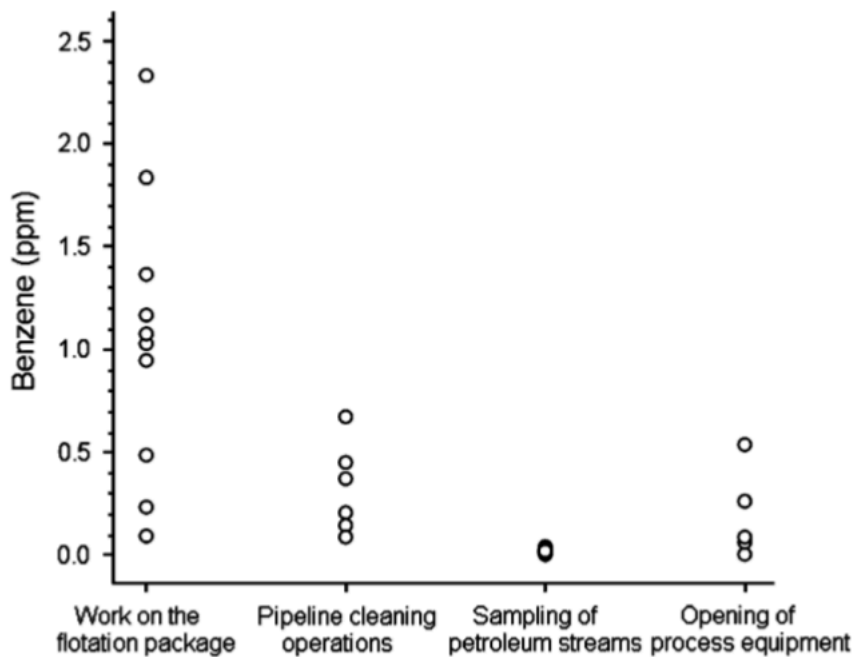
Åpning av hydrokarbonførende systemer

Åpning av hydrokarbonførende systemer, også kjent som «splitting» er en arbeidsoppgave som knyttes til potensielle for kortvarig, men høy benzeneksponering. Generelt skal så mye som mulig av arbeidet i prosessområdene foregå i lukkede systemer, men når disse åpnes kan eksponeringen bli ganske mye høyere enn vanlig på grunn av mulighet for direkte kontakt med de ulike petroleumsstrømmene. Med en gjennomsnittlig benzeneksponering på over 0,5 ppm (figur 5), kan arbeid i forbindelse med splitting være kilde til relativ høy benzeneksponering også midlet over arbeidsskift.

Vannbehandling og arbeid i flotasjonsanlegg

Ved vannbehandling i flotasjonsanlegg skilles hydrokarboner ut av det produserte vannet ved at olje skimmes av. Selv om varigheten av arbeid i flotasjonsanlegg kan være kort, kan benzeneksponering være betydelig. Hydrosykloner er også en del av vannbehandlingssystem, men dette er et lukket system, og åpnes kun for vedlikehold. Benzeneksponeringen knyttet til hydrosykloner er derfor forventet å være lavere.

Bråtveit et al (2007), fant i sin studie at korttidsarbeid (< 15 min) relatert til flotasjonsanlegg utgjorde en eksponering på ca. 35% av den norske grenseverdien for kortidseksponering (26) (figur 5), og at prosessoperatøren som hadde flotasjonsanlegget som sitt ansvarsområde på aktuelt arbeidsskift hadde en fullskifteksponering på rundt den yrkeshygieniske grenseverdien.



Figur 5: Benzeneksponering ved ulike arbeidsoppgaver (Bråtveit et.al 2007) (25).

Denne master-studien viste at personlige målinger av benzen som ikke er knyttet til spesifikke arbeidsoppgaver (langtidsmålinger) har vist en median under 0,1 ppm i norsk petroleums industri (22).

Av fire studier presentert i tabell 4, er tre publisert med data fra norsk petroleumsindustri etter 2006. Noen av studiene har fokus på blant annet de utvalgte yrkesgruppene det er

konsentrerer om i denne master-studien. Prosessoperatørens langtidseksponering er rundt 0,04 ppm (23, 25), mens laborantene og mekanikernes eksponering varierer mer i de ulike studiene. I studiene er de utvalgte yrkesgruppens benzennivåene lave sammenliknet med grenseverdi, men betydelig høyere eksponering forbundet med rengjøring (27).

Fullskiftmålinger fra en utenlandske studie av Verma et. al viste en spredning mellom 0,003 og 0,37 ppm i Canada (28).

Tabell 2: Oversikt over epidemiologiske og eksponeringsstudier publisert etter år 2000 om benzeneksponering i petroleumsindustrien.

Første forfatter	Setting/yrkesbeskrivelse	Prøvetakingstid		n	[benzen] ppm	Spredning [benzen] ppm
		Korttid	Fullskift			
Bråtveit et al. 2007 (25)	Prosesstekniske oppgaver		x	35	AM: (SD), 0,042 (0,132) GM: 0,005	<0,001-0,69
	Flotasjonsarbeid		x	6	AM: (SD), 0,221 (0,227) GM: 0,114	0,030-0,688
	Prøvetaking		x	11	AM: (SD), 0,005 (0,005) GM: 0,003	<0,001-0,014
	Diverse oppgaver		x	18	AM: (SD), 0,005 (0,01) GM: 0,003	0,001-0,023
Steinsvåg et al. 2007 (23)	Dekksarbeidere		x	29	AM: (SD) 0,17 (0,51) GM: (GSD) 0,010 (14)	<LOD-2,6
	Prosessoperatører		x	204	AM: (SD), 0,036 (0,097) GM: (GSD), 0,008 (5,3)	<LOD-0,97
	Laborant		x	40	AM: (SD), 0,0120,019) GM: (GSD), 0,006 (3,7)	<LOD-0,11
	Mekanikere		x	78	AM: (SD), 0,006 (0,011) GM: (GSD) 0,002 (4,5)	<LOD-0,08
	Elektrikere		x	6	AM: (SD) 0,015 (0,017) GM: (GSD) 0,007 (5,7)	<LOD-0,05
	Prosess og boring (12 installasjoner)		x	367	AM: (SD) 0,037 (0,099) GM: (GSD) 0,007 (5,7)	<LOD-2,6

Kirkeleit et al. 2006 (29)	Produksjonsskip			139	AM: (SD) 0,43 (1,37) GM: (GSD) 0,02 (12,42)	<0,001-16,75
	Prosessoperatører		x	30	AM: 0,39 GM: (GSD) 0,01 (9,68)	<0,001-7,3 [<0,003-23,32]
	Dekksarbeidere		x	47	AM: 0,89 GM: (GSD) 0,02 (19,11)	<0,001-16,75 [<0,003-53,5]
	Mekanikere		x	31	AM: 0,07 GM: (GSD) 0,007 (12,04)	<0,001-0,51
	Kontraktører		x	31	AM: 0,11 GM: (GSD) 0,05 (4,90)	<0,001-0,42
Verma et al 2000 (28)	Konvensjonell olje/gass		x	198	AM: 0,068 GM: 0,012	0,001-2,593
	Konvensjonell gass			838	GM: 0,003	0,002-19,2
	Rørledninger			8	AM: 0,130 GM: 0,116	0,053-0,513
	Tungolje prosessering			236	AM: 0,373 GM: 0,166	<0,001-0,533

1.4 Regelverk og yrkeshygieniske grenseverdier

Eksponering for kjemiske og fysiske faktorer i arbeidsmiljøet reguleres blant annet ved hjelp av yrkeshygieniske grenseverdier for deres eksponering. Grenseverdiene for kjemiske stoffer er per definisjon *satt for bruk ved vurdering av arbeidsmiljøstandarden på arbeidsplasser der luften er forurensset av kjemiske stoffer* (30). Grunnlaget for grenseverdiene fastsettes utarbeides av Arbeidstilsynet i samarbeid med Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI) og partene i arbeidslivet.

De yrkeshygieniske grenseverdiene fra Arbeidstilsynet er satt ut fra tekniske, medisinske og økonomiske vurderinger. Selv om grenseverdiene overholdes, er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ubehag ikke kan oppstå. Grenseverdien for benzen har vært i mange år og er fortsatt på 1 ppm (parts per million). Den anbefalte grensen på 1 ppm er gjennomsnittet for en arbeidsdag på 8 timer, men norske offshorearbeidere har som regel 12 timers arbeidsdager i sin turnus. Petroleumstilsynet har derfor anbefalt en sikkerhetsfaktor på 0,6 for å korrigere standarden for en 12 timers arbeidsdag (31). Eksponeringsgrensen for petroleumsindustrien er derfor 0,6 ppm.

I Norsk Standard NS-EN 689:2018 anbefales det ved testing av samsvar med grenseverdi at man skal sammenligne grenseverdien med 70% øvre konfidensintervall for 95 persentilen av måledata (32). Dette betyr at grenseverdien overholdes dersom man ved 70% sannsynlighet kan anta at < 5% av måleverdiene overskrider grenseverdien.

Generelt pålegges alle norske virksomheter å risikovurdere arbeidsmiljøet når det gjelder kjemikalieeksponering, spesielt for kreftfremkallende kjemikalier som benzen. Ifølge Forskrift om utførelse av arbeid (33), (Kapittel 3) skal det:

- Innføres tiltak for reduksjon av helserisiko knyttet til bruken av farlige kjemikalier til et forsvarlig nivå, dersom bruken ikke kan fjernes. Det skal utarbeides skriftlig arbeidsinstruks i de tilfellene det er særlig fare for liv og helse. Blant tiltakene som vurderes, skal bruken av personlig verneutstyr være siste utvei.
- For å redusere arbeidstakers eksponering for farlige kjemikalier, skal disse enten elimineres helt, eller erstattes med mindre farlige kjemikalier eller prosesser.
- Ved overskridelse av grenseverdier for relevante kjemikalier skal tiltak iverksettes ved utførelse av arbeid som medfører risiko for eksponering for disse.

- Kreftfremkallende- og eller arvestoffskadelige stoffer skal enten substitueres eller brukes i lukkede systemer. En skal sørge for at eksponeringen er på et forsvarlig nivå eller så lav som mulig, dersom bruk av lukkede systemer ikke er teknisk mulig.

Regelverket legger også føringer for hvordan, og når eksponeringsmålinger blir tatt. De aller fleste eksponeringsmålingene tas for å fremskaffe dokumentasjon for risikovurdering. Dette vil si at målingene brukes for å se hvordan eksponeringsnivået ligger i forhold til gjeldende grenseverdier.

I januar 2017 ble det lagt frem et forslag om endring av direktiv 2004/37/EC om vern av arbeidstakere mot risiko for å være utsatt for kreftfremkallende eller arvestoffskadelig stoffer i arbeidet. Direktivet fastsetter blant annet bindende grenseverdier for kreftfremkallende- og arveskadelige stoffer som benzen, som skal sikre en felles øvre grense på forurensningsnivå i arbeidsatmosfæren i EU/EØS-landene (34).

Høsten 2017 ble en reduksjon i grenseverdien for benzen foreslått av komiteen for risikovurdering (RAC) i det europeiske kjemikaliebyrået (ECHA). Deres forslag var å redusere grenseverdien 20 ganger i forhold til det som i dag er fastsatt av arbeidstilsynet (35), altså en reduksjon av grenseverdien fra 1 ppm til 0,05ppm. For arbeidere i oppstrømsindustrien vil dette tilsvare en reduksjon på 12 ganger i forhold til den som i dag benyttes.

1.5 Metoder for kartlegging av benzeneksponering

Eksponeringsmålinger knyttet til benzen utføres som regel som personbårne. Slike personlige målinger utføres ved å feste en prøvetaker på kragen til arbeidstakeren slik at eksponeringen i løpet av en viss arbeidsoppgave, eller midlet over et skift registreres av prøvetakeren/instrumentet. Stasjonære målinger kan gjennomføres for å vurdere effekt av tiltak, da plasseres prøvetakeren stasjonært i arbeidsområdet. Det er bare personlige målinger som skal sammenliknes opp mot yrkeshygieniske grenseverdier.

Prøvetakingsstrategien kan variere (36), den kan enten være:

- Fullskiftmålinger tatt over en hel arbeidsdag, generelt midlet over 8 timer (12 timer i petroleumsindustrien). Disse gir et bilde av den gjennomsnittlige eksponeringen for hele arbeidsdagen.
- Korttidsmålinger, gjerne kun i forbindelse med utførelsen av spesifikke arbeidsoppgaver - såkalt «task-based».

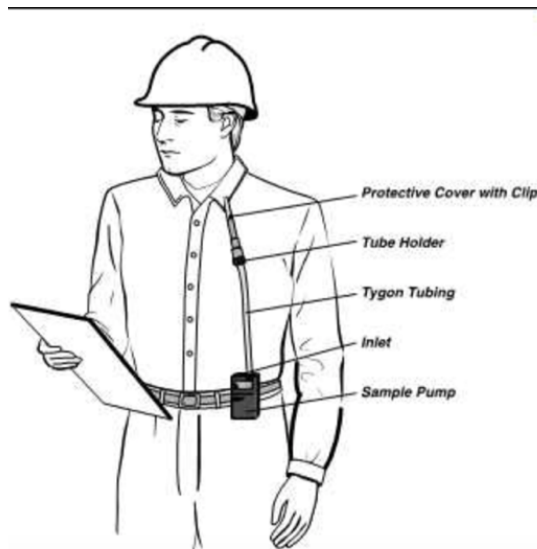
Måleutstyr for benzen

Avhengig av tid og antatt eksponeringsnivå er følgende prøvetakingsmetoder mest brukt:

1.5.1 Aktiv prøvetaking

Prøvetaking av hydrokarboner generelt, og benzen spesielt, kan gjøres ved at en batteridrevet pumpe (figur 6) aktivt trekker luft gjennom en prøvetaker ved en bestemt hastighet (flow) i ml/min.

Kull er et av det mest brukte oppsamlingsmediene i prøvetakeren ved kartlegging av benzen, og er det anbefalte mediet for prøveinnsamling av organiske hydrokarboner, spesielt for alifatiske, aromatiske og halogenerte hydrokarboner. NIOSH 1501-metoden anbefaler 150 mg kokoskull (37), men større rør er tilgjengelige og vil brukes i visse tilfeller. Alle kommersielt tilgjengelige prøverør er delt inn i en for- og bakre del. Frontdelen inneholder to tredjedeler av prøvemediet etterfulgt av en uretanskumplugg. Bakseksjonen inneholder den resterende tredjedelen. Frontdelen brukes til å samle oppløsningsmidler/hydrokarboner mens den bakre delen er ment å bestemme gjennombrudd av løsningsmiddel/hydrokarboner (når fronten er mettet).



Figur 6: Eksempel på aktiv prøvetaking med pumpe (38).

Termisk desorpsjonsrør (ATD) kan også brukes til aktiv prøvetaking med en prøvepumpe.

ATD er et svært følsomt alternativ til konvensjonelle prøveinnsamlingsmetoder for flyktige og semi-flyktige forbindelser. Ved bruk av merket Tenax er maksimum 1 times prøvetaking anbefalt for å unngå at adsorpsjonsmaterialet overbelastes.

1.5.2 Passiv prøvetaking

Passive prøvetakere krever ingen pumpe for å få luftstrøm gjennom oppsamlingsmediet i løpet av prøvetakingsperioden. Det er derimot viktig at arbeidstakerne er i bevegelse i løpet av prøvetakingstiden for å få en adekvat mengde med luft forbi filteret i løpet av denne perioden. Passive prøvetakingsinstrumenter egner seg generelt best til prøvetakingsperioder over 240min. Dosimeteret plasseres i arbeidstakernes pustesone i starten av skiftet, og tas av igjen enten på slutten av skiftet eller etter noen timer.

Passive dosimetre av typen 3M 3500 med kulladsorbent (figur 7), badge – type (ofte omtalt som medaljonger) har vært mest brukt til passiv prøvetaking i norsk petroleumsindustri. Ved bruk av denne typen prøvetakere, er det et krav at luftstrømmen forbi dosimeteroverflaten har en minimumshastighet på 5-10 cm/s. Dette prøvetakingsutstyret er derfor ikke egnet til stasjonær prøvetaking i områder der luftbevegelsen anses å være liten. Disse dosimetrene er best egnet til personlig prøvetaking der kroppens naturlige bevegelse bidrar til tilstrekkelig

luftbevegelse gjennom filteret. Dosimetrene plassert nærmest mulig arbeidstakerens pustesone (figur 7), gjerne på kragen på kjeledressen.



Figur 7: Passiv prøvetaking med dosimeter i pustesone.

Termisk desorpsjonsrør (ATD-rør) kan også brukes til passiv prøvetaking dersom det er et diffusjonsdeksel på røret.

1.5.3 Analysemetoder

Etter prøvetaking er det vanlig at kullfilteret fra dosimeteret/kullrøret først desorberes i karbondisulfid (CS_2), og deretter analyseres kvalitativ og kvantitativt ved hjelp av gasskromatografi. Den mest brukte analysemetoden er gasskromatografi (37), enten koblet til et massespektrometer (MS) eller en flammeioniserings detektor (FID). Analysemetode og prøvetakingstider har betydning for deteksjonsgrensen til benzen.

1.6 Rasjonale for denne master-studien

Tidligere internasjonale studier av benzeneksponering i petroleumsindustrien har vært basert på eksponering over hele arbeidsdager (23, 25, 27, 28, 39). En stor andel av internasjonale studier har også vært fokusert på kartlegging av benzeneksponering i nedstrømsdelen av petroleumsindustrien (16, 40-42), gjerne oljeraffinerier. Selv om noen av aktivitetene er de

samme offshore, vil eksponeringen likevel variere basert på arbeidsoppgaver og tekniske forhold på installasjonene, samt hvilken fraksjon av petroleumsstrømmen som håndteres. Det er relativt få publiserte studier utført på benzeneksponering i oppstrøms petroleumsindustri, både nasjonalt og internasjonalt.

I denne master-studien vil hovedfokus være på yrkesgrupper og arbeidsoppgaver som er kjent for å ha potensiale for å gi relativ høy eksponering. Resultatene kan gi økt fokus på arbeidsoppgaver som bidrar mest til topp-eksponering i norsk petroleumsindustri, og gjennom det bidra til å kunne identifisere tiltak som kan redusere eksponeringen.

Denne master-studien vil også bidra med ny informasjon om benzeneksponeringsbildet til yrkesgruppene med høyest potensiale for eksponering for benzen i løpet av de siste årene.

I prosjektet «Kjemisk arbeidsmiljø i olje- og gassindustrien» (Kjemikalieprosjektet 2007-2011), ble det konkludert med at benzen var et av kjemikaliene hvor det var manglende kunnskap og dokumentasjon på eksponering (43). Petroleumsindustrien har hatt fokus på benzeneksponering og eksponeringsreducerende tiltak etter at kjemikalieprosjektet kom med sine konklusjoner. I denne master-studien vil det derfor også undersøkes om benzeneksponeringen er redusert etter at industrien har hatt økt fokus på dette.

Som følge av nyere dokumentasjon på at benzen kan ha helseeffekter ved lavere nivå enn tidligere antatt, vil trolig grenseverdien for benzen i arbeidsatmosfære bli redusert. Det nye forslaget til grenseverdi for benzen fra komiteen for risikovurdering (RAC) i det europeiske kjemikaliebyrået (ECHA) er satt til 1/20-del av gjeldende norske og europeiske grenseverdi. Det er dermed viktig for den norske offshoreindustrien å kunne forholde seg til de strengere kravene til benzen-eksponering som kan bli gjeldende i fremtiden.

2 Hensikt og problemstilling

Hensikten med denne master-studien om benzeneksponering i norsk oppstrømsindustri er følgende:

1. Beskrive benzeneksponeringen (etter 2002) for tre yrkesgrupper (laboranter, mekanikere, og prosessoperatører) og sammenlikne eksponeringen opp mot gjeldende norske yrkeshygieniske grenseverdier.
2. Beskrive benzeneksponering for arbeidsoppgavene med høyest eksponeringsnivå.
3. Å undersøke om eksponeringen for benzen for de valgte yrkesgruppene har blitt redusert fra perioden 2002-2007 til 2008-2018

2.1.1 Forskningsspørsmål

Hvordan er endringen i benzeneksponering for laboranter, prosessoperatører og mekanikere fra tidsperiodene 2002-2007 til perioden 2008-2018?

Null hypotese (H₀): det er ingen forskjell i benzeneksponering for de utvalgte yrkesgruppene mellom de to tidsperiodene.

Alternativ hypotese (H₁): det er en reduksjon i benzeneksponering for de utvalgte yrkesgruppene mellom de to tidsperiodene.

3 Metode

Dataproduksjon/datainnsamling

Denne master-studien er basert på datamateriale samlet inn av Universitetet i Bergen (UiB) i tre uavhengige tidsperioder. Den første innsamlingsperioden var i forbindelse med et prosjekt for Oljeindustriens landsforening (OLF), nå Norsk olje og gass, i 2003. Den andre innsamlingsperioden var også i forbindelse med et prosjekt for OLF, i 2009. Den tredje datainnsamlingen som nylig er utført gjennom et forskningsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd. De tre datainnsamlingsperiodene beskrives nærmere i de neste avsnittene, og i figur 8.

3.1 Datainnsamlingsperiode I

Eksponeeringsdokumentasjonen ble fremskaffet gjennom PhD-prosjektet «Eksponeering for kreftfremkallende faktorer i norsk offshoreindustri 1970-2005» som ble gjennomført av Kjersti Steinsvåg ved Arbeids- og miljømedisin, UiB i perioden 2003-2005 (24). I dette prosjektet ble tilgjengelige målerapporter om kjemiske forbindelser (frem til 2004) samlet inn ved å besøke kontraktør- og leverandørselskaper fra oljebransjen. Totalt åtte oljeselskaper (operatørselskaper), fem boreselskaper, og tre brønnservicebedrifter, tre vedlikeholdskontraktører, én forpleiningsbedrift og én kjemikalieleverandør deltok. Boremannskap, prosessteknikere, bedriftsleger, HMS-ledere og yrkeshygienikere var yrkesgruppene som ble intervjuet angående arbeidsprosesser og eksponeering offshore. Under intervjurundene ble prosjektgruppen gitt tilgang til blant annet yrkeshygieniske målerapporter, HMS-datablad og risikovurderingsrapporter.

3.2 Datainnsamlingsperiode II

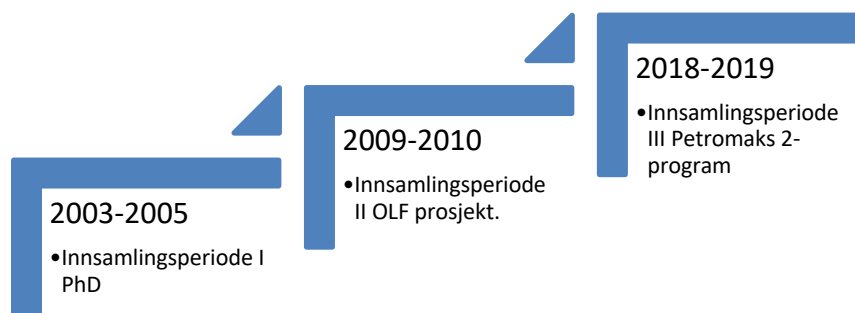
Den andre datainnsamlingen ble gjennomført fra 2009-2010. Tilgjengelige eksponeeringsmålinger frem til 2006 ble inkludert i den opprinnelige databasen fra den første innsamlingsperioden (22). Et informasjonsbrev om prosjektet ble formulert av gruppen der det ble bedt om tilgang til yrkeshygienisk eksponeeringsdokumentasjon. Prosjektgruppen mottok yrkeshygieniske målerapporter fra både kontraktører og ulike leverandørselskaper, enten skriftlig via e-post eller på minnepinner.

3.3 Datainnsamlingsperiode III

Våren 2018 startet den tredje innsamlingsperioden som en del av et større forskningsprosjekt kalt «Utvikling av jobbeksporeringsmatriser for benzeneksponeering», finansiert av Norges forskningsråd (NFR) under Petromaks 2 programmet.

I dette forskningsprosjektet som Arbeids- og miljømedisin, UiB gjennomfører er målsettingen å utvikle modeller for å estimere nivået av benzen-eksponering for både helskift (12 timer), og for spesifikke arbeidsoppgaver relatert til prøvetaking, vedlikehold og rengjøring under forskjellige forhold. Beregningsverktøyet vil identifisere de viktigste faktorene som bidrar til benzen-eksponeringen, og vil dermed kunne brukes til å vurdere tiltak for å redusere eksponeringen.

I perioden April 2018 til Februar 2019 ble det hentet inn data kun fra Equinor ASA (tidligere Statoil). Prosjektgruppen hadde et felles introduksjonsmøte i april 2018 hos Equinor. På dette møtet ble det enighet om å opprette et felles fildelingssystem på deres intranett (Microsoft Share Point) for deling av yrkeshygieneiske målerapporter. Rapportene var lagt i mapper delt inn per årstall fra og med 2007 til 2018. Det var gjort mange målinger i forbindelse med kjemikalieprosjektet i oljebransjen i 2007, og dette var grunnen til at år 2007 ble satt som et skille mellom de to årsperiodene. Rapportene fra mappene bestod hovedsakelig av målerapporter, generelt satt opp etter Imrad metode. Dette innebærer at de inneholdt et sammendrag, en bakgrunn for målingene, prøvetaking-, og analysemetode, resultater, konklusjon og forslag til tiltak. Denne informasjonen ble gjennomgått systematisk, før resultatene ble ført inn i en SPSS-database opprettet i datainnsamlingsperiode II. Denne beskrives i tabell 5



Figur 8: Oppsummering av de tre innsamlingsperiodene for databasen brukt som grunnlag i denne studien.

Dataene ble utover høsten 2018 kvalitetssikret av yrkeshygienikerne i Equinor som hadde utført selve prøvetakingen på anleggene, for å sørge for at de registrerte oppgavene samsvarte med yrkesgruppe. I tillegg sørget de for at det som var registrert av kontekstuell informasjon rundt enkeltprøver i målerapportene ble inkludert i databasen. Det ble også lagt til eksponeringsmålinger utført på et produksjonsskip i perioden 2004 og 2005.

3.3.1 Inklusjon- og eksklusjonskriterier

Følgende inklusjonskriterier ble satt for målinger inkludert i selve databasen:

- Kun målinger fra Equinor og fra produksjonsskipet.
- Personlige luftmålinger.
- Målinger fra installasjoner på norsk sokkel.
- Kun målinger gjort offshore.
- Målerapporter med oppfylt minimumskrav for kontekstuell informasjon.
- Målinger med oppgitt LOD for analyse metode.

Det ble stilt noen minimumskrav til kontekstuell informasjon til målerapportene som overleveres fra Equinor til UiB. Minimumskravene for hver enkelt måling er følgende:

- Type måling, enten stasjonær eller personlig.
- Prøvetakingstid
- Yrkesgruppe
- Arbeidsoppgave

Disse minimumskravene ble satt for å få nok informasjon knyttet til enkeltmålingene, slik at benzeneksponeringen kan kartlegges best mulig. For å få utfyllende kontekstuell informasjon om eksponeringsmålingene ble de utførende yrkeshygienikerne, eventuelt de som skrev rapportene, kontaktet.

3.3.2 Kategorisering av variabler

Variablene inkludert i databasen er ment til å gi nok informasjon for beskrivelsen av benzeneksponeringen. Noen av variablene var ganske brede i definisjonen, og måtte

kategoriseres inn i et mindre antall grupper, inkludert yrker, arbeidsoppgaver eksponeringskilde, områder på de ulike installasjonene, og utstyr benyttet under utførelse av spesifikke arbeidsoppgaver med kjent potensiale for eksponering for benzen. Kategorisering av noen variabler er beskrevet i mer detalj under.

3.3.3 Kategorisering av yrkesgrupper

Laboranter, mekanikere og prosessoperatører er yrkesgruppene i fokus i denne masterstudien. Laboranter og mekanikere er yrkesgrupper med uendret tittel i målerapportene i løpet av alle innsamlingsperiodene. Prosessoperatører har derimot blitt omtalt forskjellig i de ulike rapportene. I første omgang har disse blitt «kodet» slik det har stått i målerapportene. I samarbeid med Equinor sine yrkeshygienikere har de ulike titlene brukt om prosessoperatørene blitt slått sammen, slik det beskrives i tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over ulike yrkestitler lagt inn som «prosessoperatør» i databasen.

Tittel i rapportene	Tittel i den endelige databasen
Prosesstekniker	Prosessoperatør
Operatør	
Prosessoperatør	
Driftsoperatør	
Produksjonstekniker	

3.3.4 Kategorisering av arbeidsoppgaver

Arbeidsoppgavene som er utført av ulike yrkesgruppene er beskrevet i varierende detalj i målerapportene. Arbeidsoppgaver er kategorisert og oppsummert i 23 hovedoppgaver (tabell 4).

3.3.5 Kategorisering av kort- og langtidseksponering

Occupational Safety and Health Administration (US. OSHA) setter i likhet med Arbeidstilsynet grenseverdier for akseptabel korttidseksponering for kjemikalier i arbeidsatmosfæren (7). Disse regnes for en periode på opptil 15 min. Under oppbygging av databasen, ble det valgt å legge en korttidsgrense på 60 min isteden for 15 min. Generelt vil

målinger knyttet til spesifikke oppgaver («task-based») variere i tid, men likevel beregnes som korttidsprøver. Prøver kategorisert som korttidsprøver (≤ 60 min) i dette tilfelle kan ikke sammenliknes med grenseverdien for korttidsprøver. Man får likevel et mer reelt bilde av eksponeringen ved de spesifikke arbeidsoppgavene ved å velge en prøvetakingstid på ≤ 60 min. Dette fordi noen av korttidsmålingene som er under 60 min, men over 15 min ellers ville ha havnet sammen med fullskiftmålingene. Prosjektet ønsket å se om det var noen arbeidsoppgaver som gav høyere eksponering enn andre, og det ble derfor valgt en prøvetakingstid på ≤ 60 min for «task-based» aktivitet.

Tabell 4: Oversikt over et utvalg av variabler inkludert i databasen.

Variabler	Kategorisering		
Installasjon	Alle tilhørende Equinor, samt et produksjonsskip fra en annen operatør.		
År	2002-2018		
Prøvetakingsstrategi	Aktiv	Passiv	
Oppsamlingsmedium	ATD	Kullrør	Dosimeter
[Benzen]	ppm	<LOD	
Ytre forhold	Temperatur (°C)	Vindstyrke (m/s)	
Yrkesgruppe	<ul style="list-style-type: none"> - Mekaniker - Laborant - Prosessoperatør 		
Arbeidsoppgave	Arbeid på flotasjonsanlegg Diverse oppgaver - langtidsmåling Drenering Flushing (væske) Gassfrigjøring Inspeksjon Laboratoriarbeid Lasting/sending Lossing/mottak Lekkasjesøk Montering/demontering Område/passiv eksponering Oppvarming/varmebehandling Overhaling Prosess nedkjøring Prosess normal drift Prosess oppkjøring Prøvetaking Påfylling Rengjøring - manuelt		

	Rengjøring - maskinelt Skimming Splitting/åpning
--	--------------------------------------------------------

3.3.6 Beskrivelse av arbeidsoppgaver

Målerapportene inneholdt detaljerte beskrivelser av utførte arbeidsoppgaver knyttet til enkeltmålinger. Disse ble kodet og slått sammen til 23 oppgaver (tabell 4) som så ble registrert i den endelige databasen. Det hadde blitt tatt flere luftprøver i forbindelse med visse arbeidsoppgaver sammenliknet med andre, og disse beskrives først i mer detalj nedenfor, og er videre oppsummert i tabell 5.

- Arbeid på flotasjonsanlegg

Arbeid på flotasjonsanlegget gjøres i forbindelse med inspeksjon av mengde produsert vann ved å skille av olje fra vann i en GFU-tank (Gas Flotation Unit). Dette vil i noen tilfeller kreve åpning av selve tanken før inspeksjon, men generelt varer arbeidsoppgaver knyttet til flotasjonsanlegg i korte perioder. Det er prosessoperatører som står for arbeidet i forbindelse med vannrensing på flotasjonsanlegg.

- Skimming

Skimming er en metode for vannrensing. Denne separasjon skjer med prinsipp basert for tetthetsforskjellen mellom vannfasen og oljekomponentene. Hensikten er å fjerne oljelaget som blir liggende over en vannfase, f.eks. prodvann, MEG ol. Skimming av produsertvannet blir fremdeles gjort, men nå i lukket system. Tidligere var det vanlig å ta en prøve av skimmeproduktet i en flaske for å se om det var olje-rester i vannet. Denne manuelle arbeidsoppgaven gjøres ikke lenger på alle installasjoner, men da den tidligere ble utført antas eksponeringen å være i ca. 1 minutt. Eksponeringen var i forbindelse med påfylling av prøveflasken, og man tok prøver opptil 2-4 ganger om gangen. Skimming er en arbeidsoppgave som kan gjøres flere ganger daglig dersom det er utfordringer med produsertvannets utslippstill. Prosessoperatører kan utføre denne arbeidsoppgaven på utstyr som separatorer.

- Drenering

I visse tilfeller kan det være aktuelt å pumpe ulike typer strøm fra et sted til et annet gjennom slanger. All aktivitet knyttet til en slik oppgave grupperes under drenering. Eksponeringen vil variere avhengig av om dreneringen har foregått i et åpent eller lukket system.

Prosessoperatørene utfører dreneringsarbeidet, og arbeid i forbindelse med drenering foregår i relativ korttid.

- Inspeksjon

Prosessoperatører og mekanikere vil med jevne mellomrom ta inspeksjonsrunder ut i prosessanlegget. Dette går ut på sjekk av diverse utstyr, og nivå av ulike petroleumsstrøm langs produksjonslinjen. Selve inspeksjonen av ulike deler av prosessanlegget kan være i relativ kort tid, men i visse tilfeller kan et skift omfatte flere inspeksjonsrunder.

- Splitting / åpning av hydrokarbonførende systemer og utstyr.

Før reparasjon eller inspeksjon av ulike utstyr og hydrokarbonførende rørledninger må disse i visse tilfeller åpnes. I noen tilfeller vil innholdet først bli drenert, slik at eksponeringen reduseres før selve åpningen. Prosessoperatører trykkavlaster for å slippe ut restgass der en jobb skal utføres, og mekanikere splitter før for eksempel demontering av et utstyr, og målinger knyttet til dette skje enten over kort tid, eller lenger tid avhengig av type og antall utstyr som åpnes om gangen.

- Lasting og sending

Under innvendig rensing og vedlikehold av rørledninger uten at produksjonsstrømmen stoppes, brukes rørledningsutstyret «pigge». Ved pigging vil en gjøre klart ved å åpne en sluse og laste inn selve piggen, før den sendes gjennom rørsystemet. Det er forberedelser knyttet til lastingen av piggen som kan gjøre at denne arbeidsoppgaven i noen tilfeller betegnes som langtidsmåling.

- Lossing/mottak

Etter at rørledningene er gjort rene, skal piggen fjernes i en annen ende enn der den ble sendt. Ved ekstraksjon av piggen, følger det med en blanding av råolje, vann og voks. Lasting og lossing i dette tilfellet går begge ut på rengjøringsarbeid på rørledninger. Prosessoperatører er ansvarlige for arbeidet rundt både sendingen og mottaket av pigger.

- Montering/demontering av diverse utstyr

I forkant av skifte av ulike deler av utstyr i prosessanlegget er det nødvendig at delene først demonteres før arbeidet/skiftet utføres, så monteres dette tilbake igjen av mekanikere. Montering eller demontering kan i noen tilfeller være så omfattende, at målinger knyttet til den er over lang prøvetakingstid.

- Overhaling

Denne oppgaven går ut på større vedlikeholdsarbeid av ulike utstyr og deler av prosessanlegget. Dette innebærer alt fra uttak og skifte av ulike filtertyper, til sandfelle og vedlikehold av ventiler, pumper og separatorer. Mekanikerne er hovedsakelig ansvarlige for overhalingen. Omfanget av vedlikeholdsarbeidet avgjør prøvetakingstiden knyttet til målinger i denne sammenheng. Dette er vedlikeholdsarbeid som foregår som forebyggende vedlikehold i normal drift på installasjonene.

- Område/passiv eksponering

Ved korttids- eller fullskiftmåling vil en arbeidstaker uavhengig av yrkesgruppe, kunne utføre diverse daglige gjøremål i prosessanlegget uten å selv rapportere å ha vært bort i potensielle benzenkilder. Det er likevel tilfeller hvor vedkommende har utført sine gjøremål i en del av prosessanlegget hvor noe annet arbeid med potensiell benzeneksponering har foregått. Slike oppgaver kategoriseres under område/passiv eksponering, da det ikke er noe direkte kontakt med benzenkilder.

- Prøvetaking av ulike petroleumsstrømmer.

På installasjonene tas det prøver at både gass, kondensat, olje og produsert vann, i ulike stadier av prosessen. Utførelsen av denne arbeidsoppgaven varierer fra én til flere ganger per skift. Prøvetaking vil i noen tilfeller også kreve at prosessoperatørene eller laborantene åpner deler av systemet. Dette kan enten utføres manuelt ved at prøvematerialet først fylles i en bøtte og/eller i en flaske, eller at en målesylinder fylles automatisk. Selve prøvetakingen kan være en arbeidsoppgave som tar relativt kort tid, men dersom arbeidstakeren er på en prøvetakingsrunde tar dette en time eller mer.

- Laboratoriearbeid

Etter prøvetaking, analyseres petroleumsstrømmene inne på egne laboratorier på installasjonene. Prøvene fordeles og tilsettes nødvendige kjemikalier før disse eventuelt kan sentrifugeres, analyseres og avleses. Andre typer laboratoriearbeid kan gå ut på tømning av ulike rester i analyseinstrumenter, og rengjøring av utstyr og av overflater på laboratoriet. Laboratoriearbeid vil avhengig av installasjon, utføres av enten faste laboranter eller prosessoperatører.

- Manuell rengjøring

Rengjøring av for eksempel tanker utføres manuelt. Det blir først gjort rent med ulike typer kjemikaler i lukket system, før noen går inn og spylar. Andre typer rengjøringsarbeid er spyling av ulike utstyr/utstyrsdeler med akkumulert voks og råoljerester. Eksempler på dette er sil på pumper, eller filtre. Rengjøring av tank utføres av innleid personell (eks. industrielt renholdspersonell), men spyling av utstyr som er demontert fra anlegget gjøres av mekanikere. Rengjøringsarbeid kan avhengig av omfang gjelde både kort og langtidsmålinger.

Noen arbeidsoppgaver strekker seg stort sett over hele skiftet, disse er kategorisert i følgende grupper:

- Diverse oppgaver langtidsmåling

I forbindelse med fullskiftmålinger, er det mange ulike arbeidsoppgaver med ulike varighet i løpet av arbeidsdagen. Disse grupperes i denne kategorien, og vil kunne gjelde alle yrkesgrupper. Under en slik kategori vil arbeidsoppgaver som oppfattes som vanlig rutinearbeid, grupperes sammen med arbeidsoppgaver som utfører sjeldnere og med ulikt eksponeringsbilde.

- Prosess normal drift

Alt av daglige arbeidsoppgaver utført av prosessoperatører under normale driftsforhold grupperes i denne kategorien. Dette kan være alt fra kontrollrunder i anlegget, til loggføring av ulike informasjon. Prøvetaking, testing av diverse utstyr og forberedelse av andre oppgaver er eksempler på korte eller langtidsoppgaver prosessoperatører kan utføre ved normal aktivitet.

Tabell 5: Oversikt over gruppering av noen av de tidligere registrerte arbeidsoppgavene.

Arbeidsoppgave	Beskrivelse av arbeidsoppgaver
Arbeid på flotasjon	Åpning av flotasjonspakke, inspeksjon av flotasjonsanlegg.
Laboratoriearbeid	Daglig arbeid på laboratorium, inkludert kalibrering av utstyr, preparering og analysering av ulike typer prøver.
Lossing/mottak	Åpning av sluse og uttak av pigg.

Montering/demontering	Montering og demontering av ulike utstyr, for eksempel pumper, ventiler, og filtre.
Overhaling	Filterskifte (produsert vann-, MEG-, TEG, kondensat- og råoljefilter), forebyggende vedlikehold og reparasjon.
Prøvetaking	Prøvetaking av (produsert vann, råolje, kondensat, TEG, MEG, spotting, gass).
Rengjøring-manuelt	Rengjøring i tank, høytrykksspyling av utstyr, rensing av ledninger.
Skimming	Arbeid på skimmersystem, skimming av produsert vann.
Splitting/åpning	Åpning av HC systemer og rørledninger, uttak av ventiler, åpning av flenser.

3.4 Dataanalyse

Etter endt registrering og kategorisering av variabler i databasen, ble ulike typer analyser utført med statistikk programmet SPSS versjon 25 for Windows. I enkelte målerapporter var resultatene for eksponeringsmålingene oppgitt i mg/m^3 . For disse målingene ble konsentrasjonene gjort om til ppm, ved hjelp av likningen nedenfor som ga en konverteringsfaktor på ca. 3.

$$\text{Konsentrasjon (ppm)} = \text{mg}/\text{m}^3 \times \frac{M}{22,4}$$

M er molekylvekten for benzen, 78,11 g/mol, og 22,4 er volumet av 1 mol.

Aritmetisk og geometrisk gjennomsnitt (henholdsvis AM og GM), sammen med medianen, ble brukt som mål for sentraltendensen i datamaterialet, i tillegg til det aritmetiske standardavviket (SD, spredningsmål). Minimum og maksimumverdiene for benzeneksponering ble presentert, samt 95 persentilen som den verdien hvor 95% av måledataene ligger under. Medianen er representert som horisontale streker i boksene i boxplotene som vist i figurer i resultatkapittelet. I tillegg til medianen viser boxplottene spredningen i tallmaterialet, med halvparten av tallverdiene innenfor selve boksene. Arbeidsoppgaver knyttet til høyest benzeneksponering (i utgangspunktet med flere enn 20 målinger) er gitt i tabell og med boxplot.

Generelt vil et datasett med yrkeshygieniske eksponeringsmålinger som dette være skjevfordelte, disse ble derfor log_e-transformer før statistiske analyser. Dette ble gjort siden parametriske statistiske analyser krever en normalfordeling av dataene. For å undersøke forskjellen i benzeneksponering mellom de tre yrkesgruppene, ble en enveis variansanalyse (ANOVA) benyttet for sammenlikning av tre eller flere grupper. Post-hoc Bonferroni-test ble benyttet for å sammenlikne statistisk forskjell mellom to og to av de utvalgte yrkesgruppene eksponering. I tillegg ble det testet om en eventuell endring i eksponering for benzen for henholdsvis korttids- og langtidseksponering mellom de to tidsperiodene var statistisk signifikante. Dette ble gjort ved bruk av *t-test* for uavhengige grupper. Signifikansnivå ble satt til $p < 0,05$.

For statistisk sammenligning av personlig eksponering mot grenseverdien for benzen i petroleumsindustrien (0,6 ppm) ble den anbefalte strategien gitt i Annex F i Norsk Standard NS-EN 689:2018 benyttet (32). For lognormal distribusjon av måledata beregnes en verdi U_R som så skal sammenlignes med en tabulert verdi U_T som er oppgitt i standarden for ulikt antall målinger. For verdier av U_R er større enn U_T er det samsvar med grenseverdien, og man kan dermed med 70% sannsynlighet anta at <5% av måleverdiene overskrider grenseverdien.

$$U_R = [\ln(GV) - \ln(GM)] / \ln(GSD)$$

3.4.1 Analyse av målinger under LOD for benzen

For enkeltmålinger der det ikke ble detektert benzen, er disse behandlet på to følgende måter. Noen målinger ble registrert i databasen med deteksjonsgrensen for den aktuelle analysemetoden som oppgitt i målerapportene. Benzenkonsentrasjonen til disse målingene ble i samsvar med Hornung & Reed (1990), regnet om med formelen $LOD/2^{0.5}$ (44). Dette er aktuelt dersom mindre enn 50% av datamaterialet har verdier $< LOD$, og det geometriske standardavviket er under 3,0.

Noen av målingene hadde ikke oppgitte LOD for analysemetoden. Da disse manglet grunnlag for omregning til benzenkonsentrasjon med samme formelen ovenfor, ble de ekskludert under dataanalysen.

3.5 Etske hensyn i studien

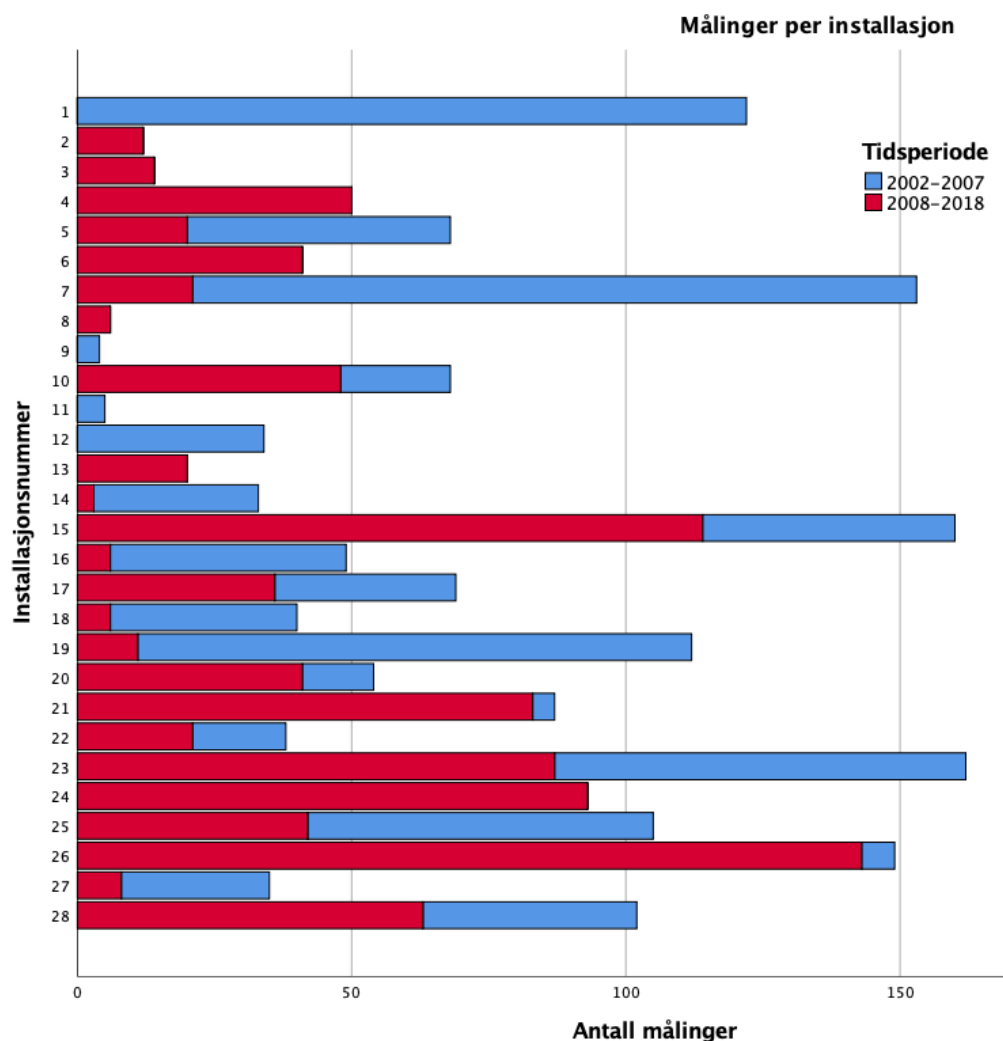
Målingene har blitt gjort på arbeidstakere i forbindelse med risikovurdering av kjemisk arbeidsmiljø i petroleumsindustrien. Anonymiteten til disse personene har vært beskyttet i hele innsamlingsperioden og under analysen av dataene. Dette har blitt sørget for ved at det kun er prøve-ID, og ikke navn som knyttes til enkeltmålingene.

I forbindelse med denne master-studien er det ikke samlet inn noen helsedata knytte til luftmålingene. Det har av den grunn ikke vært nødvendig å få noe skriftlig samtykke fra personene det er gjort målinger på. Det har derfor heller ikke vært nødvendig å søke klarering fra noe Regional komité for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk.

4 Resultater

4.1 Datamaterialet

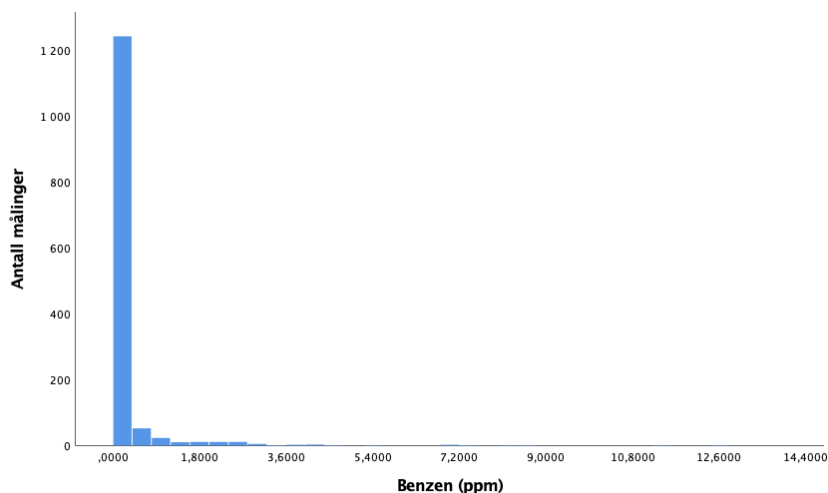
Datamaterialet består av totalt 1723 registrerte enkeltmålinger av benzen. Det ble utført deskriptiv statistikk på målingene som tilfredstilte inklusjonskriterien (se avsnitt 3.2), totalt 1319 personlige enkeltmålinger. Etter eksklusjon var det totalt datamaterialet fordelt på 597 personlige målinger med kort prøvetakingstid (AM 11 min; min-maks 14-60 min), og 722 personlige langtidsmålinger (AM 606 min; 61- 2140 min). Dette inkluderer to målinger over 1000 min. Antall eksponeringsmålinger per installasjon varierte mellom 5 og 162, totalt i perioden 2002-2018. Fordelingen av enkeltmålinger fra de ulike installasjonene er illustrert i figur 9.



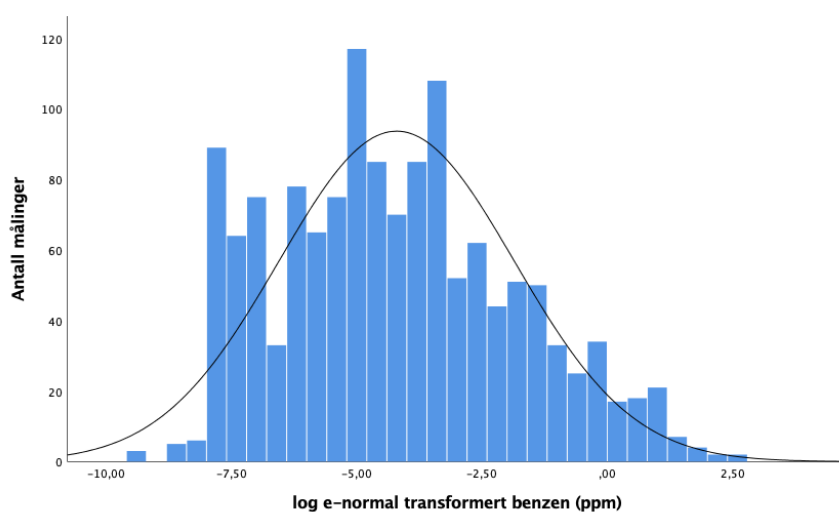
Figur 9: Oversikt over antall utførte målinger på de ulike installasjonene i de to tidsperiodene (blått: 2002-2007; rødt 2008-2018)

Av totalt 28 installasjoner, er det omtrent like mange målinger fra installasjonene 17, 23 og 25 i de to tidsperiodene (figur 9). Installasjonene 1, 11, og 12 er kun representert i den første tidsperioden, mens installasjoner som 2, 3, 4 kun er representert i den andre tidsperioden.

Benzenkonsentrasjonen i målingene er skjevfordelt (figur 10). For å kunne utføre statistiske analyser med parametriske metoder ble benzenkonsentrasjonen til enkeltmålingene log_e-transformert (figur 11).



Figur 10: Illustrasjon av skjevfordeling av datamaterialet før statistisk analyse.



Figur 1: Tilnærmet fordeling av datamaterialet etter loge-normal transformering.

4.2 Eksponeringsnivåer for benzen blant utvalgte yrkesgrupper

4.2.1 Langtidsmålinger (>60 min)

Ved personlige langtidsmålinger hadde laborantene en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,023 ppm (median 0,009) i perioden 2002-2018 (tabell 6). I samme periode hadde mekanikerne en benzeneksponering på 0,074 ppm (median 0,004) og prosessoperatører en eksponering på 0,071 ppm (median 0,006). Post-hoc Bonferroni-test viste at det var ingen statistisk signifikant forskjell i eksponering mellom de tre yrkesgruppene ($p > 0,05$).

Tabell 6: Oversikt over personlig eksponering for benzen (ppm) ved lang prøvetakingstid (>60 min) blant de tre yrkesgruppene fra 2002-2018.

Yrkesgruppe	Langtidsmålinger (>60 min)									
	n	Prøvetakingstid (min – maks)	AM (SD)	Min-maks	Median	95pct	GM	GSD	%> GV	P-verdi
Laborant	90	104-725	0,023 (0,051)	0,0005-0,33	0,009	0,093	0,008	4,48	0	0,32
Mekaniker	275	61-870	0,074 (0,344)	0,0001-4,00	0,004	0,243	0,006	7,67	2,9	0,007
Prosessoperatør	357	120-2140	0,071 (0,486)	0,0002-7,28	0,006	0,109	0,006	5,89	1,7	0,29

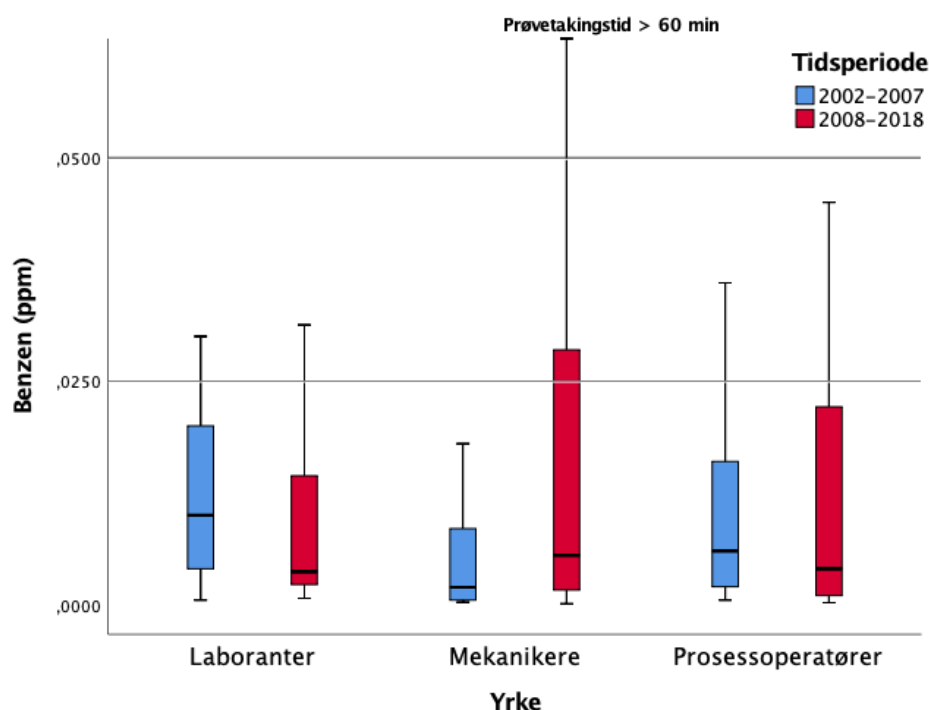
N = antall, Prøvetakingstid i min, AM = aritmetisk gjennomsnitt; SD = standardavvik; GM = geometrisk gjennomsnitt; GSD: geometrisk standardavvik; %>GV = prosent av målingene som overskrider grenseverdien på 0,6 ppm; 95pct = 95 persentilen, dvs. den verdien hvor 95% av måledataene ligger under; p-verdi = resultat fra ANOVA.

4.2.2 Eksponeringsnivåer for benzen ved lang prøvetakingstid, fordelt på tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.

Laboranter hadde en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,028 ppm (median 0,01 ppm) i perioden 2002-2007 (n = 66), og 0,01 ppm (median 0,004 ppm) etter 2007 (n = 24) (figur 12). Denne reduksjonen var ikke statistisk signifikant (p = 0,09).

Mekanikere hadde i perioden 2002-2007 en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,14 ppm (median 0,002 ppm) n = 83, og 0,047 (median 0,01 ppm) etter 2007 (n = 192) (figur 12), (figur 10). Det var en statistisk signifikant reduksjon i aritmetisk gjennomsnitt mellom de to tidsperiodene (p = 0,007), økning i median illustrert på figur 12.

I perioden 2002-2007 (n = 194) hadde prosessoperatørene en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,11 ppm (median 0,01 ppm), sammenliknet med et gjennomsnitt på 0,03 ppm (median 0,004 ppm) etter 2007 (n = 163). Denne endringen var ikke statistisk signifikant (p = 0,08).



Figur 12: Box-plot som viser median og spredning av personlige langtidsmålinger av benzeneksponering (ppm) for hver yrkesgruppe tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018. (Horisontal strek i boksene representerer medianverdien og 50% av måleverdiene befinner seg i området innenfor boksene).

4.2.3 Korttidsmålinger (≤ 60 min)

Laboranter (n = 221) hadde et aritmetisk gjennomsnitt for korttidseksponering for benzen på 0,16 ppm (median = 0,02 ppm) i perioden 2002-2018 (tabell 7). I samme periode hadde mekanikere (n = 103) en benzeneksponering på 0,35 ppm (median 0,05 ppm) og prosessoperatører (n = 273) en eksponering på 0,60 ppm (median 0,11). ANOVA-test viste at det var en statistisk signifikant forskjell i eksponering mellom de tre yrkesgruppene. Post-hoc Bonferroni-test viste at forskjellen i eksponering var statistisk signifikant mellom prosessoperatører og laboranter (p = 0,001) og mellom prosessoperatører og mekanikere (p = 0,009). Det var ingen statistisk signifikant forskjell mellom laboranter og mekanikere (p = 0,23).

Tabell 7: Oversikt over personlig eksponering for benzen (ppm) ved kort prøvetakingstid (≤ 60 min) blant de tre yrkesgruppene fra 2002-2018.

Yrkesgruppe	Korttidsmåling (≤ 60 min)							
	n	Prøvetakingstid (min – maks)	AM (SD)	Min-maks	Median	GM	95pct	P-verdi
Laborant	221	1-56	0,16 (0,45)	0,0001-3,67	0,023	0,023	0,67	0,64
Mekaniker	103	1-58	0,35 (0,77)	0,0002-4,00	0,047	0,037	2,55	0,79
Prosessoperatør	273	1-40	0,60 (1,48)	0,0001-12,67	0,106	0,083	2,59	0,24

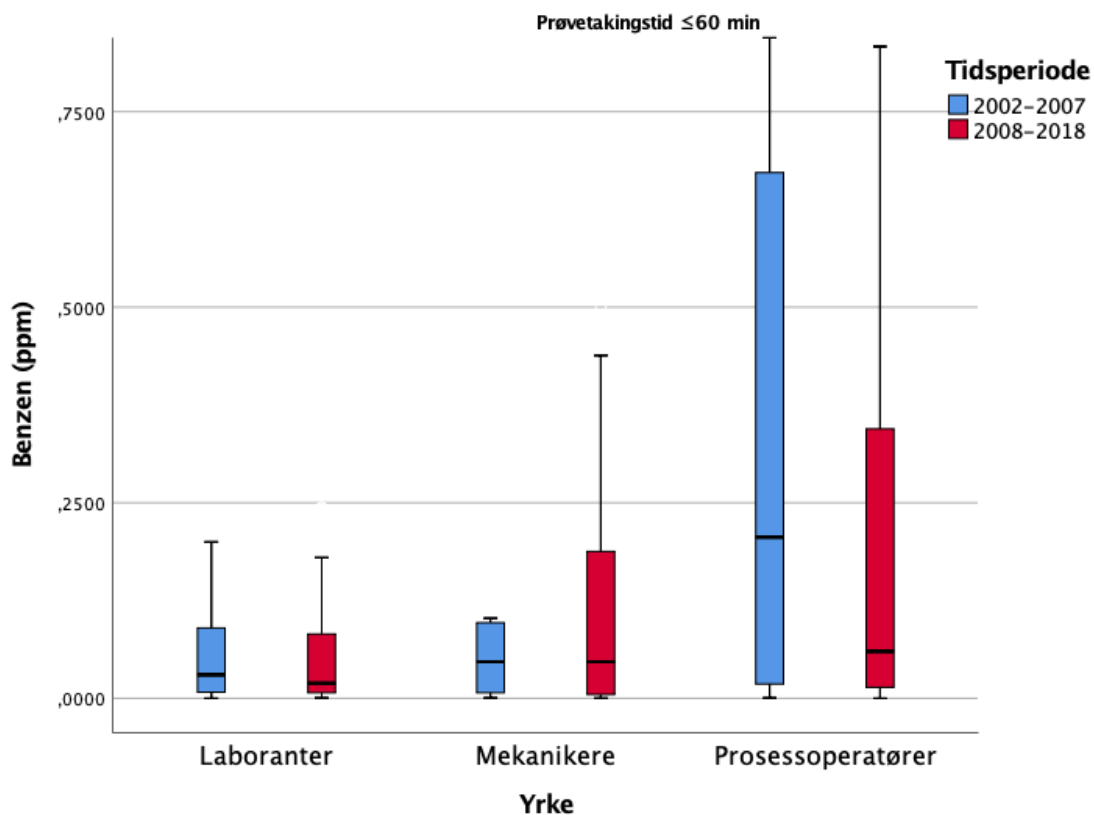
N = antall, Prøvetakingstid i min, AM = aritmetisk gjennomsnitt; SD = standardavvik; GM = geometrisk gjennomsnitt; 95pct = 95pct = 95 persentilen, dvs. den verdien hvor 95% av måledataene ligger under; p-verdi = resultat fra ANOVA.

4.2.4 Sammenlikning av eksponeringsnivåer for benzen ved kort prøvetakingstid fordelt på tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.

Ved korttidsprøvetaking hadde laboranter en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,153 ppm (median 0,03 ppm) i perioden 2002-2007 (n = 101), og 0,159 ppm (median 0,02 ppm) etter 2007 (n = 120) (figur 13). Forskjellen i eksponering mellom de to tidsperiodene var ikke statistisk signifikant (p = 0,59).

Mekanikere hadde i perioden 2002-2007 (n = 17) en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,46 ppm (median 0,05 ppm), og 0,33 (median 0,05 ppm) etter 2007 (n = 86), en endring som ikke var statistisk signifikant (p = 0,88).

I perioden 2002-2007 (n = 147) hadde prosessoperatørene en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,77 ppm (median 0,21 ppm), sammenliknet med et gjennomsnitt på 0,39 ppm (median 0,06 ppm) etter 2007 (n = 126). Denne endringen var ikke signifikant (p = 0,055).



Figur 13: Box-plot som viser median og spredning av personlige korttidsmålinger av benzeneksponering (ppm) for hver yrkesgruppe tidsperiodene 2002-2007 og 2008-2018.

(Horisontal strek i boksene representerer medianverdien og 50% av måleverdiene befinner seg i området innenfor boksene).

4.3 Benzeneksponering knyttet til korttidsoppgaver

I løpet av de to tidsperiodene har det vært utført flest benzenmålinger i forbindelse med spesifikke arbeidsoppgaver som prøvetaking av ulike petroleumstrømmer (n = 286), splitting / åpning av hydrokarbonførende systemer /utstyr (n = 37), lossing/mottak av pigg (n = 20), skimming av produsertvann (n = 20), arbeid på flotasjonsanlegg (n = 12), overhaling (n = 65), laboratoriearbeid (n = 36), manuell rengjøring av utstyr (n = 14), og montering/demontering av diverse utstyr (n = 31) (tabell 8).

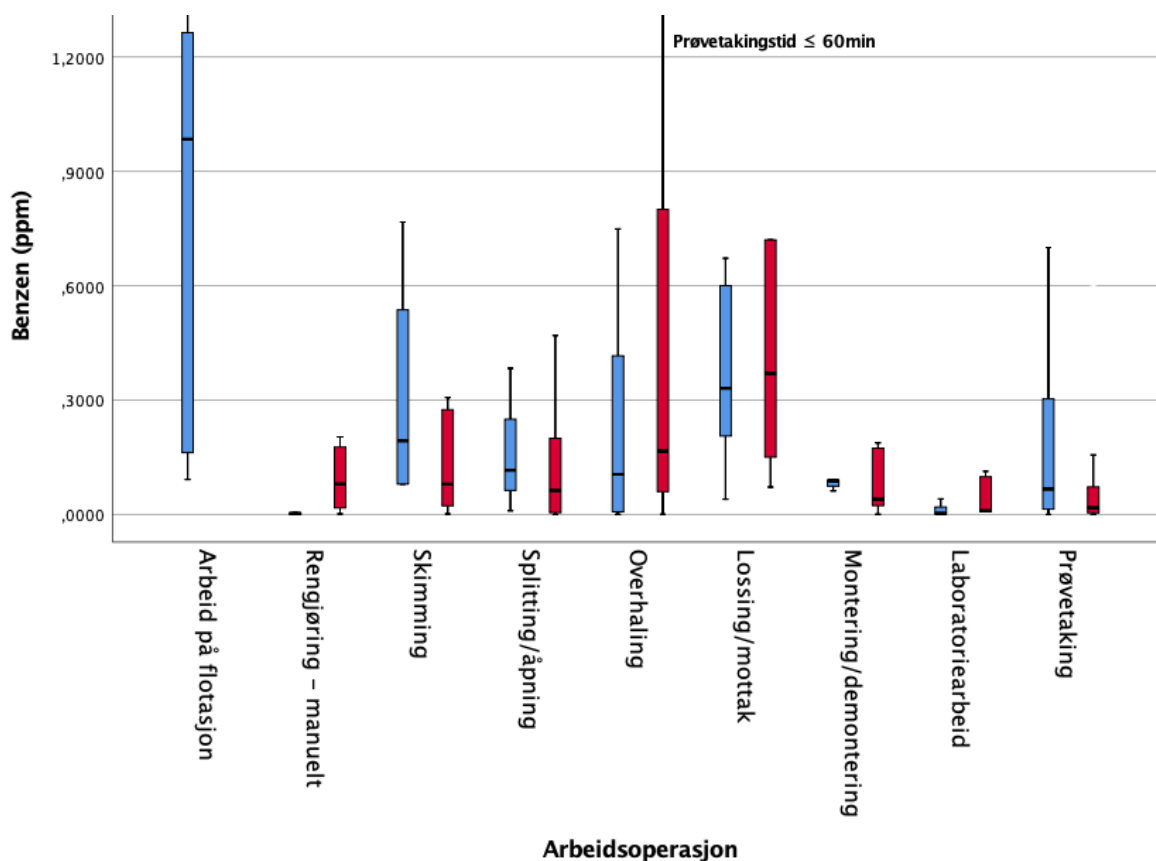
Tabell 8: Personlig eksponering for benzen (ppm) for korttidsmålinger (≤ 60 min), for de vanligste arbeidsoppgavene i periodene 2002-2007 (P1) og 2008-2018 (P2).

Arbeidsoperasjon	n	P1/P2	AM (SD)	GM	Median	Min-Maks
Arbeid på flotasjon	12	12/0	0,89 (0,73)	0,54	0,98	0,09-2,33
Lossing/mottak	20	10/10	0,69 (1,1)	0,35	0,33	0,04-4,5
Rengjøring-manuelt	14	2/12	0,49 (1,41)	0,03	0,04	0,0001-5,32
Overhaling	65	38/27	0,51 (0,83)	0,08	0,13	0,001-3,43
Prøvetaking	286	142/144	0,41 (1,40)	0,03	0,03	0,0001-12,67
Splitting/åpning	37	3/34	0,31(0,57)	0,04	0,07	0,0002-2,33
Montering/demontering	31	4/27	0,34 (0,68)	0,06	0,05	0,001-2,33
Skimming	20	4/16	0,24 (0,28)	0,09	0,08	0,002-0,77
Laboratoriearbeid	36	20/16	0,05 (0,11)	0,01	0,01	0,001-0,47

AM = aritmetisk gjennomsnitt; SD = standardavvik; GM = geometrisk gjennomsnitt; P1 = år 2002-2007; P2 = År 2008-2018

Høyest benzeneksponering ble målt i forbindelse med arbeid på flotasjonsanlegg for produsert vann (AM = 0,89 ppm; median = 0,98 ppm), lossing/mottak av pigg (0,69 ppm; median 0,33 ppm), manuell rengjøring av utstyr forurenset med råolje (0,49 ppm; median 0,04), og

overhaling av diverse utstyr (0,51 ppm; median 0,13 ppm). Den laveste eksponeringen ble målt i forbindelse med laboratoriearbeid (0,05 ppm; 0,01 ppm) (tabell 8 og figur 14).



Figur 14: Personlig eksponering for benzen (ppm) ved de korttidsoppgavene (≤ 60 min) som er hyppigst prøvetatt. Sammenlikning mellom 2002-2007 og 2008-2018. (blått: 2002-2007; rødt 2008-2018)

Arbeidsoppgaver som splitting/åpning av hydrokarbonførende systemer og utstyr, og overhaling forbindes med høy spredning i perioden etter 2007, mens montering/demontering av diverse utstyr, samt laboratoriearbeid forbindes med høyere spredning i perioden etter 2007 (figur 14). Høyest spredning (og median) er forbundet med arbeid på flotasjonsanlegg kun i perioden frem til 2007.

4.4 Sammenlikning med norsk yrkeshygienisk grenseverdi

For alle tre yrkesgruppene er gjennomsnittseksponeringen for langtidsprøvetaking av benzen betydelig under grenseverdien på 0,6 ppm. For mekanikere, prosessoperatører og laboranter er det henholdsvis 2,9%, 1,7% og 0% av målingene som overskrider denne grenseverdien (tabell 6). Verdien for 95 persentilene (henholdsvis 0,093, 0,243 og 0,109) var også betydelig under grenseverdien (tabell 6). Ved statistisk testing i tråd med anbefalingene i Norsk Standard var eksponeringen for alle de tre yrkesgruppene i samsvar med grenseverdien for benzen i petroleumsindustrien. Beregnet UR for laboranter (2,9), mekanikere (2,3) og prosessoperatører (2,6) overskred alle tabulert UT som er 1,8 for 30 målinger, og minker ved ytterligere økning i antall målinger.

5 Diskusjon

Ved personlige langtidsmålinger (> 60 min) i perioden 2002-2018 var det ingen statistisk forskjell mellom gjennomsnittlig benzeneksponering for laboranter (AM = 0,021 ppm; GM = 0,008 ppm), mekanikere (0,074 ppm; 0,006 ppm) og prosessoperatører (0,071 ppm; 0,006 ppm). Ved statistisk testing i tråd med anbefalingene i Norsk Standard, var eksponeringen i samsvar med grenseverdien (0,6 ppm) for alle de yrkesgruppene. Mekanikere hadde en signifikant lavere gjennomsnittseksponering i perioden 2008-2018 sammenliknet med perioden 2002-2007, mens det ikke var noen forskjell mellom de to tidsperiodene for de andre yrkesgruppene. Arbeidsoppgavene som medførte høyest benzeneksponering var arbeid på flotasjonsanlegg lossing/mottak av pigg, manuell rengjøring av utstyr forurenset med råolje og overhaling av diverse utstyr.

5.1 Langtidsmålinger

Laboranter

Laborantene hadde en ikke signifikant reduksjon i benzeneksponering på 0,018 ppm, fra 0,028 ppm til 0,01 ppm i perioden 2002-2007 sammenliknet med 2008-2018. Med kun under halvparten av datagrunnlaget i den nyere perioden, kan det med mindre sikkerhet konkluderes med at laborantene har hatt en reel økning i benzeneksponering

Fra 1970 til 2005 var fullskiftseksponering (AM) for benzen blant laboranter i norsk petroleumsindustri rapportert å være 0,015 ppm (45). Sammenliknet med laborantenes langtidsseksponering for benzen på 0,023 ppm, er dette en økning på 0,005 ppm. Dette er også høyere sammenliknet med langtidsseksponering på 0,0012 ppm rapportert av Steinsvåg et al. (2007) (23).

Mekanikere

Fra perioden 2002-2007 til 2008-2018 ble gjennomsnittet av mekanikernes langtidsseksponering signifikant redusert fra 0,138 ppm til 0,047 ppm, mens medianen økte fra 0,002 ppm til 0,006 ppm. Forskjellen i retningen av denne endringen skyldes trolig i hovedsak at det i den første tidsperioden var 7 måleresultater som var svært høye (>1 ppm), og at disse trekker det aritmetiske gjennomsnittet betydelig opp for den første perioden. Endringen i

benzeneksponering mellom disse tidsperiodene var statistisk signifikant, og siden distribusjonen av målingene var skjevfordelt, ble testene derfor gjort på ln-transformerte data. Til tross for en reduksjon i GM, har både median (illustrert i boxplot figur 11) og GM økte fra 2002-2007 til 2008-2018, tolkes dette som en økning i eksponeringsnivå for mekanikere mellom de to tidsperiodene.

Fra 1970 til 2005 var fullskift eksponeringen rapportert å være på 0,026 ppm (45) for mekanikere. Dette er lavere sammenliknet med resultatene i den foreliggende studien for perioden 2002-2018 (0,074 ppm), men noen av våre målinger er basert på prøvetakingstid nærmere 60 min enn 720 min. Deler av datamaterialet i denne master-studien har tidligere vært inkludert i en studie av Steinsvåg et al. (2007), som rapportert en lavere fullskifteksponering til mekanikere på 0,006 ppm (23). Nivået i denne master-studien på 0,074 ppm er derimot likt nivået på 0,07 ppm som var rapportert av Kirkeleit et. al (2006) (29) for denne yrkesgruppen (tabell 2).

Prosessoperatører

Det var en ikke signifikant reduksjon i prosessoperatørens langtidseksponering for benzen, fra 0,11 ppm i perioden 2002-2007 til 0,03 ppm 2008-2018.

Fra 1970 til 2005 var fullskifteksponering for benzen rapportert å være på 0,081 ppm for prosessoperatører (45) i norsk petroleumsindustri, et nivå som er sammenlignbar med det som rapporteres i den foreliggende studien (0,071 ppm). Lavere nivåer for langtidseksponering på 0,042 ppm (2007) (25), og 0,036 ppm har tidligere vært rapportert av Bråtveit et al. og Steinsvåg et al. (2007) (23). Ved normal drift på et produksjonsskip ble fullskift-eksponering for denne yrkesgruppen også rapportert til å være på noe lavere nivå (0,02 ppm) (29). Tidligere utenlandske studier fra Kanada og Australia rapporterte gjennomsnittseksponeringer på 0,02 ppm og 0,064 ppm (28, 46).

Personlige målinger av benzen som ikke er knyttet til spesifikke arbeidsoppgaver (langtidsmålinger) har tidligere vist en median under 0,1 ppm i norsk petroleums industri (22). Dette er også tilfelle for resultatene diskutert i dette avsnittet, noe som tilsier at medianen for langtidseksponeringen er fortsatt relativt lav for yrkesgruppene i denne sektoren sammenliknet med nåværende grenseverdi.

5.2 Benzeneksponering sammenliknet med norsk yrkeshygienisk grenseverdi

Ingen av målingene registrert på laboranter overskred grenseverdien, mens 97,1% av mekanikernes og 98,3% av prosessoperatørens eksponeringsmålinger var lavere enn grenseverdien på 0,6 ppm. Laboranter, mekanikere og prosessoperatørers benzeneksponering har i tidligere studier blitt antatt til å være under 10 % av grenseverdien for offshorearbeid (45). Verdien for 95 persentilen var også betydelig under grenseverdien, og ved statistisk testing i tråd med anbefalingene i Norsk Standard var eksponeringen for alle de tre yrkesgruppene i samsvar med grenseverdien for benzen i petroleumsindustrien. Dette betyr at man med 70% sannsynlighet kan anta at <5% av måleverdiene for disse yrkesgruppene overskrider grenseverdien.

Den norske yrkeshygieniske grenseverdien for benzen i arbeidsatmosfæren kan imidlertid etter hvert bli redusert som følge av det nye forslaget til grenseverdi for benzen fra komiteen for risikovurdering (RAC) i det europeiske kjemikaliebyrået (ECHA). For den norske offshoreindustrien er det dermed viktig å kunne forholde seg til de strengere kravene til benzeneksponering som kan bli gjeldende. I følge lovverket skal eksponering for benzen, som er klassifisert som sikkert karsinogen av IARC forsøkes redusert til et så lavt nivå som mulig.

5.3 Benzeneksponering knyttet til spesifikke arbeidsoppgaver (prøvetakingstid \leq 60 min)

Arbeidsoppgavene beskrevet i tabell 5, og i dette avsnittet utføres typisk av prosessoperatører, mekanikere og laboranter. Resultatene for benzeneksponering knyttet til arbeidsoppgaver som splitting / åpning av hydrokarbonførende systemer /utstyr, lossing/mottak av pigg, skimming av produsertvann, arbeid på flotasjonsanlegg, og manuell rengjøring av utstyr bekrefter tidligere kunnskap (se tabell 1) om potensiell høy eksponering knyttet til dem (21).

Arbeid på flotasjonsanlegg

Eksponeringsnivået knyttet til arbeid på flotasjonsanlegg er på 0,89 ppm, med en spredning på 2,24 ppm. Bråtveit et al. (25) fant et nivå på 1,06 ppm i perioden fra 1970-2005 under normal aktivitet også i oppstrømsdelen av norsk petroleumsindustri. De registrerte målingene (n = 12) i databasen i perioden før 2007, er grunnlaget for den foreliggende studien. Til tross

for at det ikke ble registrert noen nye målinger knyttet til denne arbeidsoppgaven i perioden etter 2007, ble arbeidsoppgaven likevel inkludert i denne master-studien fordi nivået var rapportert til å være høyt. Ved personlig meddelelse er det rapportert at det er satt i verk tiltak for å redusere eksponeringen ved flotasjonsanlegget etter kjemikalieprosjektet, tiltak som for eksempel innbygging, samt bruk av personlig verneutstyr. Dette tyder på at det er en arbeidsoppgave som kanskje ikke utføres så ofte i nyere tid.

Dette er en arbeidsoppgave som utføres av prosessoperatører, og vil på enkelte installasjoner trolig bidra til det relativt høye eksponeringsnivået til prosessoperatørene i perioden før 2007 sammenliknet med perioden etter.

Sammenliknet med arbeid på skimmersystem (AM 0,24 ppm) som også er et system for rensing av produsert vann, gir arbeid på flotasjonsanlegg en benzeneksponering som er 73% høyere. Dette kan skyldes dannelsen av gassbobler på flotasjonsanlegget, som igjen kan være den primære grunnen til den høye eksponeringen.

Lossing/mottak av pigg

Ved mottak av pigg er den gjennomsnittlige benzeneksponeringen 0,69 ppm. Det er en spredning på 4,46 ppm, som gjenspeiles av et høyt standardavvik på 1,1 ppm. I mange tilfeller vil mottak av pigg innebære at den tas ut fra slusen, og dersom piggfellen ikke fungerer optimalt vil noe av råoljen og voksavleiring bli igjen i deler av slusen. I slike tilfeller kan det tenkes at eksponering til prosessoperatørene som utfører dette arbeidet kan bli potensielt høy. Det er registrert like mange målinger både i perioden før og etter 2007 (n = 10 og n = 10). Det er grunn til å anta at potensialet for reduksjon av benzeneksponering knyttet til mottak av pigg er like relevant i nyere tid. Bråtveit et al. (26) rapporterte et gjennomsnittsnivå på 0,322 ppm benzen ved 15 min målinger fra målinger før 2005. I den studien var det færre målinger (n = 6), men nivået er høyere nå. En gjennomsnittlig eksponering på 0,28 ppm (n = 10) knyttet til sending av pigg i denne master-studien indikerer at mottak av pigg utgjør en betydelig høyere eksponering enn sending av pigg.

Manuell rengjøring

Manuelt arbeid i forbindelse med rengjøring av råoljetanker og spyling av annet utstyr/utstyrsdeler har en gjennomsnittseksponering for benzen på 0,46 ppm, men med en

mye lavere median på 0,04 ppm. Den store spredningen (5,32 ppm) i måleresultatene knyttes også til det høye standardavviket for disse målingene. Drenering av utstyr på forhånd er et tiltak for reduksjon av eksponering knyttet til denne typen arbeidsoppgave. De fleste av målingene i denne master-studien knyttet til rengjøring er gjort i perioden etter 2007 (n = 12 av 14), og tendensen er at nivået stiger (figur 14). Resultatene viser at det er et potensiale for reduksjon av benzen-nivået knyttet til denne arbeidsoppgaven i nyere tid. God ventilering og automatisk rengjøring er også andre aktuelle eksponeringsreduserende tiltak.

Overhaling

Gjennomsnittlig benzeneksponering knyttet til vedlikeholdsarbeid er 0,51 ppm, med en spredning på 3,4 ppm. I perioden før 2007 er det registrert 38 målinger sammenliknet med 27 målinger etter 2007. Dette indikerer at vedlikehold er en viktig arbeidsoppgave på installasjonene uansett tidsperiode. Spredningen på 3,4 ppm viser også at eksponeringsnivået ved utførelsen av en slik oppgave, kan både variere og bli ganske høy avhengig av omfang. Benzeninnholdet vil variere avhengig av type petroleumsstrøm (21), (se avsnitt 1.3), og dersom en mekaniker overhaler på for eksempel kondensatutstyr vil benzeneksponeringen være betydelig høyere enn råoljeutstyr. I noen tilfeller kan splitting ha vært utført direkte i forkant selve overhalingen, og dette vil gi et høyere eksponeringsnivå. Eksponeringsnivået ved vedlikehold- og rengjøringsarbeid fra 1990-99 har vært rapportert å være 3,33 ppm (22). Selv om oppgavene i denne master-studien ikke er helt tilsvarende, kan det se ut som om nivået har gått ned etter 2007.

Mekanikere utfører mye av overhalingen på installasjonene (beskrevet i avsnitt 3.3.6). Det kan tenkes at det har vært et fokus på kartlegging av mekanikers benzeneksponering under og etter Kjemikalieprosjekter (se avsnitt 1.6), og at dette har medført en reduksjon i eksponeringen for akkurat denne arbeidsoppgaven. Dette kan være en naturlig forklaring på at det har blitt tatt over dobbelt så mange registrerte målinger i perioden etter 2007.

Splitting/åpning

Eksponeringsnivået knyttet til splitting/åpning av hydrokarbonførende systemer var 0,31 ppm, og en spredning på 2,33 ppm. Medianen på 0,07 er mye lavere enn gjennomsnittet, og skjevfordelingen viser hvor varierende eksponering knyttet til denne arbeidsoppgaven kan være. Eksponeringsnivået ved denne arbeidsoppgaven utgjør over 50% av dagens grenseverdi

for en 12-timers arbeidsdag. Dersom en arbeidstaker splitter mye utstyr over en arbeidsdag, vil det antas at den totale daglige eksponeringen kan overskride grenseverdien. God drenering og «purgning» i lukket system før splitting, vil kunne være en effektiv måte å redusere eksponeringen knyttet til denne arbeidsoppgaven på. Eksponeringsnivå på 0,237 ppm har tidligere blitt målt på norsk sokkel (26), men tendensen i resultatene i denne master-studien viser et litt lavere eksponeringsnivå etter 2007. Da dette gjennomsnittet kun var basert på 6 målinger, kan imidlertid ikke med sikkerhet konkluderes med at benzeneksponering knyttet til splitting var betydelig lavere tidligere. Petroleumsindustrien har derfor fortsatt et potensiale i å redusere eksponering knyttet til denne arbeidsoppgaven.

Prøvetaking av forskjellige petroleumsstrømmer

Eksponering knyttet til prøvetaking av blant annet råolje, produsert vann og kondensat er 0,41 ppm (n = 286). I databasen er det registrert flest korttidsmålinger i forbindelse med denne arbeidsoppgaven. Prosessoperatører og laboranter tar mange prøver daglig på installasjonene, og antallet på målingene er derfor representativt for hyppigheten av utførelsen.

Prøvetakingskilder med ulikt benzeninnhold kan trolig forklare en bred spredningen i eksponeringen knyttet til prøvetaking viser noe av forskjellen i eksponering basert på prøvetakingskilde. For eksempel vil kondensat bidra med høyere eksponering, da benzeninnholdet er høyere sammenliknet med for eksempel råolje (21). Median for benzeneksponering knyttet til prøvetaking har tidligere vært rapportert å være på 0,20 ppm i perioden 1990-99 og 0,24 ppm etter 1999 (22). Med kun 73 målinger i perioden 1990-2007, var medianen lavere sammenliknet med nå (1,40 ppm).

Laboratoriearbeid

Laboratoriearbeid er den arbeidsoppgaven som er knyttet til lavest benzeneksponering (0,05 ppm) i denne master-studien. Spredningen på målingene knyttet til denne arbeidsoppgaven er på 0,47 ppm og median på 0,01 ppm. Det er registrert omtrent like mange målinger knyttet til denne arbeidsoppgaven før og etter 2007 (n = 20 og n = 16), noe som indikerer at denne arbeidsoppgaven er relevant uansett tidsperiode. Eksponeringsnivået omtrent det samme før og etter 2007.

Denne arbeidsoppgaven foregår på et lukket laboratorium, med forutsigbare forhold som avtrekkskap med kontrollert luftstrøm på ventilasjonssystemet. Til sammenlikning vil

eksponeringsbildet knyttet arbeidsoppgaver som foregår ut i prosessanlegget være på virket av forhold som vindretning og størrelse på modulen i anlegget.

Arbeidsoppgaver relatert til yrkesgrupper

Laboranter hadde en gjennomsnittlig benzeneksponering på 0,16 ppm i perioden 2002-2018 ved prøvetakning \leq 60 min. Denne yrkesgruppens benzeneksponering var ikke statistisk signifikant forskjellig fra mekanikernes gjennomsnittlige benzeneksponering som var på 0,35 ppm i samme periode. Prosessoperatørens benzeneksponering var statistisk signifikant forskjellig sammenliknet med laboranter og mekanikernes eksponering. Dette viser at eksponeringsnivået knyttet til de utvalgte yrkesgruppene er ved utførelse av spesifikke arbeidsoppgaver er høyere enn ved langtidsmålingene. Dette er som forventet, da disse foregår i kortere tid mens man kun får et gjennomsnitt den totale dagseksponeringen ved langtidsmålinger.

Det var en ingen endring i laborantenes kortidseksponering for benzen i perioden 2002-2007, sammenliknet med 2008-2018. Den laveste benzeneksponeringen ved kort prøvetakingstid er knyttet til laboratoriearbeid. Denne arbeidsoppgaven utføres i mange tilfeller av laboranter, og er med på å gi laborantene den lave eksponeringen sammenliknet med de to andre yrkesgruppene. Til sammenlikning er det tidligere rapportert en kortidseksponering for benzen på 0,399 ppm i oppstrøms kanadisk petroleumsindustri (28). Dette er et eksponeringsnivå basert på data samlet inn mellom 1985 og 1996, og kan derfor med mindre sikkerhet sammenliknes med kortidseksponeringsnivået til yrkesgruppene presentert i dette avsnittet.

Ved kort prøvetakingstid hadde mekanikere ingen endring i gjennomsnittlig benzeneksponering før og etter 2007. Overhaling av utstyr knyttes ikke til de aller høyeste eksponeringsnivåene, men likevel høyere nivåer sammenliknet med laboratoriearbeid og prøvetaking. Dette gjenspeiler mekanikernes lave eksponeringsnivå sammenliknet med prosessoperatører som utfører de to arbeidsoppgavene knyttet til høyest eksponering, men likevel høyere enn laboranter som utfører arbeidsoppgaven som knyttes til den laveste benzeneksponeringen.

Det var en reduksjon fra 0,77 ppm til 0,39 ppm i prosessoperatørers kortidseksponering for benzen i perioden 2002-2007 sammenliknet med 2008-2018, men endringen var ikke

statistisk signifikant. Arbeid på flotasjonsanlegg, sammen med splitting og mottak av pigg knyttes til de høyeste korttidseksponeringene i denne yrkesgruppen. Dette er typiske oppgaver som utføres av prosessoperatører, og dette gjenspeiles av prosessoperatørers høyere korttidseksponering for benzen sammenliknet med de to andre yrkesgruppene. Bevisgjøring på eksponering til benzen kan bidra til at man for eksempel tar ytre forhold som for eksempel vindretning i betraktning ved utførelse av arbeidsoppgaver som foregår ut i prosessanlegget, for eksempel under prøvetakning ved åpne prøvepunkter.

Samlet sett viser dette at arbeidsoppgaver som typisk utføres av prosessoperatører forbindes med den høyeste benzeneksponeringen, etterfulgt av arbeidsoppgaver utført av mekanikere og sist arbeidsoppgaver utført av laboranter. Dette gjenspeiles i de utvalgte yrkesgruppenes korttidseksponering, der eksponeringen er høyest blant prosessoperatører og lavest blant laboranter (tabell 7).

5.4 Styrker og svakheter

Det er en styrke i denne master-studien at antallet målinger er høyt. Dette gir et godt grunnlag for å trekke konklusjoner om benzeneksponeringen til de utvalgte yrkesgruppene. Resultatene for de utvalgte yrkesgruppenes benzeneksponering kan sammenliknes gitt normal drift på installasjonene. Ved nedstenginger eller stansrelatert arbeid, vil eksponeringen kunne være betydelig annerledes.

Datagrunnlaget er basert på målinger fra 28 installasjoner, med varierende størrelse og beliggenhet på norsk kontinentalsokkel. Dette er med på å øke sannsynligheten for at resultatene i denne master-studien er representative for andre installasjoner og andre selskaper i petroleumsindustrien. Prøvetakingstiden har variert for både ved kort-, og langtidsprøvene, med en spredning mellom 14 min og 60 min ($n = 597$) ved kort prøvetakingstid og 61 min og 2140 min ($n = 722$) ved lang prøvetakingstid. Ved å sette en langtidsgrense på 60 min, antas det at også målinger med en denne prøvetakingstiden skal si noe om fullskifteeksponering. Spredningen i prøvetakingstiden gjør at det blir en større usikkerhet knyttet hvorvidt alle langtidsmålinger kan sammenliknes med grenseverdien.

Registreringen av arbeidsoppgaver er en faktor som ansees å være en svakhet i denne master-studien. Noen arbeidsoppgaver slik de beskrives i målerapporter kan tolkes, og derfor kodes/registreres annerledes avhengig av person.

Benzeneksponering ble ikke registrert i de tilfellene der deteksjonsgrensen for analysemetoden ikke var oppgitt i rapporten, eller der det kun var registrert <LOD i målerapportene. Disse målingene ble registrert i databasen som «< LOD benzen», og ikke som målt. Eksponeringsnivået for disse målingene er uansett lave, og resultatene i denne master-studien kan derfor være overestimert.

I sin rapport hadde Bråtveit et al. ingen målinger på mekanikere under 15 min frem til 2007 (22), men ved å øke korttidsgrensen til 60 min i denne datanalysen, ble antall «korttidsprøver» registrert på denne yrkesgruppen økt. Dette har bidratt med å gi et bilde at eksponeringsnivået til mekanikerne ved kort prøvetakingstid.

En annen svakhet med denne master-studien er at mange av de tidligere studiene som brukes til sammenlikning er basert på data inkludert i denne master-studien. Dette bidrar med en usikkerhet rundt grunnlaget for sammenlikning. Ideelt sett burde resultatene i denne master-studien sammenliknes med studier basert på andre datasett, men mindre mangfold i antall publiserte studier i norsk petroleumsindustri har vært en begrensning for dette.

Ved å ha brukt ikke parametriske tester for den statistiske analysen, kunne log_e-transformering av dataene vært unngått. Datagrunnlaget i studien er imidlertid så stor, at bruken av parametriske tester ikke anses som en svakhet som har påvirket konklusjonene i denne master-studien.

Det var to målinger med prøvetakingstid på henholdsvis 1420min og 2140 min, som var inkludert i den deskriptive statistikken. Disse overskrider den vanlige maksimale grensen for langtidsprøvetaking (720 min). Disse to målingene kunne vært ekskludert, men ble beholdt fordi benzenkonsentrasjonen knyttet til målingene likevel blir et gjennomsnitt fordelt på den totale prøvetakingstiden. Det tas i betraktning at lengre prøvetakingstider enn 720 min kan også være representative for overtidsarbeid som kan forekomme på installasjonene.

Resultatene i denne master-studien kan være relevant og generaliserbare for andre selskaper på norsk sokkel med tilsvarende yrkesgrupper som utfører liknede arbeidsoppgaver ved normal drift.

6 Konklusjon

I perioden 2002-2008 har laboranter, mekanikere og prosessoperatører i norsk petroleumsindustri hatt en gjennomsnittlig benzeneksponering på henholdsvis 0,023 ppm, 0,074 ppm og 0,071 ppm.

De utvalgte yrkesgruppene benzeneksponering er lav i forhold til dagens grenseverdi, også ved statistisk testing mot grenseverdi i tråd med anbefalingene i Norsk Standard. Det er likevel nødvendig at det arbeides for å få mest mulig reduksjon i eksponering, på grunn av en mulig reduksjon i grenseverdien og benzens karsinogene egenskap.

Reduksjon i eksponering kan oppnås særlig ved fokus på for eksempel arbeid knyttet til mottak av pigg og overhaling og manuell rengjøring av utstyr forurenset med råolje, som er arbeidsoppgaver der eksponeringen er høy.

Kilder og litteratur

1. Devold H. *Oil and gas production handbook. An introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry.* ABB; 2013.
2. Statistisk sentralbyrå. *Økonomiske analyser.* 2017.
<https://www.ssb.no/nasjonalregnskap-og-konjunkturer/oa/4-2017>
3. Norsk Petroleum. *Arealstatus for Norsk Kontinentalsokkel.* 2019
<https://www.norskpetroleum.no/leting/arealstatus-for-norsk-kontinentalsokkel/>.
4. Norsk Petroleum. *Produksjonsprognoser.* 2019
<https://www.norskpetroleum.no/produksjon-og-eksport/produksjonsprognoser/>.
5. Wikipedia, Den Frie Encyklopedi. *Oppstrømsaktivitet.* 2015
<https://no.wikipedia.org/wiki/Oppstrømsaktivitet>
6. Norsk Digital Læringsarena. *Offshore installasjonstyper.* 2017
<https://ndla.no/subjects/subject:6/topic:1:182849/topic:1:157358>.
7. Risanto PA. *Introduction to Offshore Oil and Gas Surface Facilities.* 2016.
<https://www.slideshare.net/PuputAryanto/introduction-to-offshore-oil-and-gas-surface-facilities>
8. Store Norske Leksikon. *Petroleumsutvinning.* 2018
<https://snl.no/petroleumsutvinning>.
9. Norsk Digital Læringsarena. *Prosessanlegg.* 2018.
<https://sti.ndla.no/package/228?page=13>
10. Store Norske Leksikon. *Råolje.* 2018. <https://snl.no/råolje>
11. Store Norske Leksikon. *Petrokjemi.* 2018 <https://snl.no/petrokjemi>.
12. Kezic S, Monster AC, Kruse J, Verberk MM. *Skin absorption of some vaporous solvents in volunteers.* International archives of occupational and environmental health. 2000;73(6):415-22.
13. Vermeulen R, Lan Q, Li G, Rappaport SM, Kim S, van Wendel de Joode B, et al. *Assessment of dermal exposure to benzene and toluene in shoe manufacturing by activated carbon cloth patches.* Journal of environmental monitoring : JEM. 2006;8(11):1143-8.

14. PubChem. *Benzene*. 2019.
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/benzene#section=NLM-Curated-PubMed-Citations>.
15. Lan Q, Zhang L, Li G, Vermeulen R, Weinberg RS, Dosemeci M, et al. *Hematotoxicity in workers exposed to low levels of benzene*. *Science (New York, NY)*. 2004;306(5702):1774-6.
16. International Agency of Research on Cancer. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Benzene*. 2018;120.
17. Schnatter AR, Rosamilia K, Wojcik NC. *Review of the literature on benzene exposure and leukemia subtypes*. *Chemico-biological interactions*. 2005;153-154:9-21.
18. Glass DC, Gray CN, Jolley DJ, Gibbons C, Sim MR, Fritschi L, et al. *Leukemia risk associated with low-level benzene exposure*. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2003;14(5):569-77.
19. Stenehjem J, Kjærheim K, Bråtveit M, Samuelsen S, Barone-Adesi F, Rothman N, et al. *Benzene exposure and risk of lymphohaematopoietic cancers in 25 000 offshore oil industry workers*. *The British Journal of Cancer*. 2015;112(9):1603--12.
20. Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Moen BE. *Increased risk of acute myelogenous leukemia and multiple myeloma in a historical cohort of upstream petroleum workers exposed to crude oil*. *Cancer causes & control : CCC*. 2008;19(1):13-23.
21. Norsk Olje og Gass. *Anbefalte retningslinjer for identifisering, vurdering, kontroll og oppfølging av benzeneksponering*. 2014.
<https://www.norskoljeoggass.no/arbeidsliv/retningslinjer/helse-arbeidsmiljo-og-sikkerhet/arbeidsmiljo/131-anbefalte-retningslinjer-for-identifisering-vurdering-kontroll-og-oppfolging-av-benzeneksponering-/>
22. Bråtveit M, Vågnes KS, Hollund BE. *Historisk eksponering for kjemikalier i den norske olje- og gassindustrien]: yrkeshygieniske eksponeringsmålinger inntil år 2007*. Bergen: Forskningsgruppe for arbeids- og miljømedisin, Universitetet i Bergen; 2010. 153 s. diagr. p.
23. Steinsvåg K, Bråtveit M, Moen BE. *Exposure to carcinogens for defined job categories in Norway's offshore petroleum industry, 1970 to 2005*. *Occup Environ Med*. 2007;64(4):250-8.
24. Steinsvåg K. *Retrospective assessment of exposure to carcinogens in Norway's offshore petroleum industry*. The University of Bergen; 2007.

25. Bråtveit M, Kirkeleit J, Hollund BE, Moen BE. *Biological monitoring of benzene exposure for process operators during ordinary activity in the upstream petroleum industry.* Ann Occup Hyg. 2007;51(5):487-94.
26. Bråtveit M, Moen, BE. *Kjemisk Eksponering i Petroleumsvirksomheten, Relatert til Produksjonsstrømmer, Produsert vann og Boreslam.* Universitetet i Bergen, Uni Helse; 2007.
27. Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Pekari K, Mikkola J, Moen BE. *Biological monitoring of benzene exposure during maintenance work in crude oil cargo tanks.* Chemico-biological interactions. 2006;164(1-2):60-7.
28. Verma DK, Johnson DM, McLean JD. *Benzene and total hydrocarbon exposures in the upstream petroleum oil and gas industry.* AIHAJ : a journal for the science of occupational and environmental health and safety. 2000;61(2):255-63.
29. Kirkeleit J, Riise T, Bråtveit M, Moen BE. *Benzene exposure on a crude oil production vessel.* Ann Occup Hyg. 2006;50(2):123-9.
30. Arbeidstilsynet. Grenseverdier for kjemisk eksponering. 2019
31. Arbeid og Sosialdepartementet. *Forskrift om utføring av aktiviteter i petroleumsvirksomhet (aktivitetsforskriften).* 2018.
32. Standard Norge. *Arbeidsplassluft. Måling av eksponering for kjemiske stoffer ved innånding. Strategi for prøving av samsvar med yrkeshygieniske grenseverdi, NS-EN 689-2018 (en) (2018).*
33. Arbeidstilsynet. *Forskrift om utførelse av arbeid.* 2018. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/grenseverdier-for-kjemisk-pavirking/>
34. Regjeringen.no. *Nye grenseverdier for kreftfremkallende stoffer - forslag januar 2017.* 2017. <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2017/mars/nye-grenseverdier-for-kreftfremkallende-stoffer/id2543890/>
35. Committee of Risk Assessment. *RAC recommends an occupational exposure limit for benzene.* 2017. <https://echa.europa.eu/-/committee-for-risk-assessment-recommends-an-occupational-exposure-limit-for-benzene>
36. Statens Arbeidsmiljøinstitutt. *Trinn 1- Hvordan registrere serie. og prøveinformasjon?* 2019. <https://stami.no/expo/hjelp/utfyllende/trinn1/#PrStrat>.
37. Center of Disease Control and Prevention. *NIOSH Manual of Analytical Methods.* 2003. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/method-casall.html>

38. Measurement-Testing.com. *Options for Air Sampling Instruments and Apparatus (part 1)*. 2015 http://www.industrial-electronics.com/measurement-testing-com/asihe_2.html
39. Esswein EJ, Snawder J, King B, Breitenstein M, Alexander-Scott M, Kiefer M. *Evaluation of some potential chemical exposure risks during flowback operations in unconventional oil and gas extraction: preliminary results*. Journal of occupational and environmental hygiene. 2014;11(10):D174-84.
40. Verma DK, Johnson DM, Shaw ML, des Tombe K. *Benzene and Total Hydrocarbons Exposures in the Downstream Petroleum Industries*. AIHAJ - American Industrial Hygiene Association. 2001;62(2):176-94.
41. Akerstrom M, Almerud P, Andersson EM, Strandberg B, Sallsten G. *Personal exposure to benzene and 1,3-butadiene during petroleum refinery turnarounds and work in the oil harbour*. International archives of occupational and environmental health. 2016;89(8):1289-97.
42. Almerud P, Akerstrom M, Andersson EM, Strandberg B, Sallsten G. *Low personal exposure to benzene and 1,3-butadiene in the Swedish petroleum refinery industry*. International archives of occupational and environmental health. 2017;90(7):713-24.
43. Petroleumstilsynet. *Kjemisk arbeidsmiljø i olje- og gassindustrien*. 2011. <http://www.samarbeidforsikkerhet.no/modules/m02/article.aspx?CatId=113&ArtId=73>
44. Hornung RW, Reed LD. *Estimation of Average Concentration in the Presence of Nondetectable Values*. Applied Occupational and Environmental Hygiene. 1990;5(1):46-51.
45. Steinsvåg KBråtveit MM, BE. . *Eksposering for kreftfremkallende faktorer i norsk offshore petroleumsvirksomhet 1970-2005*. Universitetet i Bergen; 2005.
46. Glass DC, Adams GG, Manuell RW, Bisby JA. *Retrospective exposure assessment for benzene in the Australian petroleum industry*. Ann Occup Hyg. 2000;44(4):301-20.