

Aleksander Blom

# Eksponeringskartlegging og kildeidentifikasjon av ultrafine partikler på Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk

Masteroppgave i Helse, Miljø og Sikkerhet

Veileder: Rikke Bramming Jørgensen

Juni 2019



Aleksander Blom

# **Eksponeringskartlegging og kildeidentifikasjon av ultrafine partikler på Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk**

Masteroppgave i Helse, Miljø og Sikkerhet  
Veileder: Rikke Bramming Jørgensen  
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for økonomi  
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse



## **Forord**

Denne masteroppgaven markerer slutten for mitt masterstudie i Helse, Miljø og Sikkerhet ved Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Oppgaven er utført i samarbeid med SCINDEEP prosjektet og er basert på et fordypningsprosjekt som ble utført høsten 2018, der hensikten var å utvikle en metode for å gjennomføre eksponeringsmålinger av nanopartikler for smelteverksarbeidere på et ferrosilisiumsmelteverk.

Jeg vil gjerne gi en takk til Rikke Bramming Jørgensen for uvurderlig veiledning og støtte under denne oppgaven. Takk til Finnfjord Smelteverk, med alle ansatte og da særskilt Heidi Gløtta som tok godt imot oss, og veiledet oss på smelteverket. Takk til Ida Kero for verdifull hjelp til å forstå de ulike metallurgiske prosessene på et smelteverk, og til slutt vil jeg også takke SCINDEEP prosjektet derav Marit Nøst Hegseth og Solveig Føreland for verdifull hjelp og økonomisk støtte til gjennomføringen av denne oppgaven.

## Sammendrag

På Finnfjord smelteverk dannes det ultrafine partikler (UFP) i form av  $\text{SiO}_2$  fra varmeprosesser. Partiklene kan eksponere arbeiderne på smelteverket, og da spesielt de som arbeider med tappeprosessen, kalt «tappere». Det er god dokumentasjon på at nanopartikler fører til skadelige effekter på lunger og vev, men studiene er i stor grad basert på *in vitro* eller *in vivo* forsøk på dyr. Det er mangel på epidemiologiske studier som knytter konsentrasjon mot helseeffekter, noe som er en del av mangelen på opparbeidete grenseverdier for nanopartikler i Norge. Det er derimot utviklet nederlandske referanseverdier, kalt NRV, som anbefaler en maks konsentrasjon på 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> for biopersistente granulære nanopartikler som  $\text{SiO}_2$ .

For å undersøke eksponeringen til tapperne på Finnfjord er det tatt i bruk partikkeltelleren Nanoscan Scanning Mobility Particle Sizer (NSMPS). Denne måleren blir tatt i bruk med prinsipp for stasjonære målinger og måling av spesifikk arbeidsoperasjon. Måleren ble plassert stasjonært på arbeidsstasjonene til tapperne på to ulike ovner. Arbeidsoperasjonene ble logget for å bestemme tid brukt på hver arbeidsstasjon, og for å kunne trekke UFP-konsentrasjoner fra gjeldende tidspunkt fra måleren. Dette har som hensikt å kunne estimere eksponeringen for tapperne. Tapperne jobber både 8 og 12 timers arbeidsdag avhengig av ukedagen. For å vurdere 12 timers arbeidsdag er det brukt to ulike metoder; Brief & Scala- og OSHA metoden. Resultatene viser at eksponeringen for de som jobber med tappeprosessen på ovn 3 er under NRV både for 8 og 12 timers skift. Eksponeringen for tapperne på ovn 2 er over NRV ved 12 timers skift, utregnet ved bruk av Brief & Scala metoden. Ved 8 timers skift og 12 timers skift beregnet ved hjelp av OSHA metoden, er eksponeringen for tapperne på ovn 2 under NRV. Utrekningene er gjort uten sikkerhetsfaktor, og ved inkludering av sikkerhetsfaktor på 10 vil eksponering til samtlige grupper være over NRV. Ved identifisering av kilder var det tydelig at nærhet til øsen, og utstøping skaper økte UFP konsentrasjoner. Det var problematisk å konsekvent forutse hvordan konsentrasjonene ville bli, da disse var uforutsigbare. Det kan ikke utelukkes at denne uforutsigbarheten er knyttet til varierende luftstrømmer som avhenger av hvordan lokalet ventileres.

## Abstract

At Finnfjord smelting plant ultrafine particles (UFP) are formed as SiO<sub>2</sub> from hot processes. The particles can expose the workers at the smelting plant, especially those who work with the tapping process, called “tappere”. There is good evidence that nanoparticles lead to harmful effects on the lungs and tissue, but the studies are largely based on *in vitro* or *in vivo* animal tests. There is a shortage of epidemiological studies that link concentration to health effects on humans, which is a contributing factor to the lack of established limit values for nanoparticles in Norway. The Netherlands have established a set of reference values, called NRVs, which recommend a maximum concentration of 40 000 particles/cm<sup>3</sup> for bio-persistent granular nanoparticles such as SiO<sub>2</sub>.

To examine the exposure of the “tappere” on Finnfjord the particle counter Nanoscan Scanning Mobility Particle Sizer (NSMPS) has been used. The measurement device is used in collaboration with the measuring methods “stationary measurements” and “measure of specific work operation”. The device was placed stationary on the workstations of “tappere” on two different furnaces. Their activities were logged to determine the time spent on each workstation, and to extract UFP concentrations from the time they were exposed. This is to be able to determine an exposure to the workers. “Tappere” work both 8- and 12-hour shifts depending on the weekday. Two different methods have been used to assess the 12-hour shifts; Brief & Scala and the OSHA method. The results show that the exposure of those working on the tapping process on furnace 3 are below NRV for both 8- and 12-hour shifts. The exposure for those who works on furnace 2 are above the NRV for 12-hour shifts calculated using the Brief & Scala method. At 8-hour and 12-hour shifts calculated using the OSHA method, the exposure to the workers are below the NRV. The calculations are done without any safety factor, and with the inclusion of a factor of 10 all who works with the tapping process will be above NRV. When identifying sources, it was evident that proximity to the ladle, and the casting process increased UFP concentration. It was problematic to consistently predict the concentrations as these were unpredictable. It cannot be ruled out that this unpredictability is related to varying air currents that depends on the ventilation of the furnace hall.

## **Begrensninger**

Denne oppgaven undersøker UFP-eksponeringen til tapperne som jobber på Finnfjord smelteverk. Den tar ikke hensyn til andre arbeidsgrupper som mekanikere, elektrikere, ovnspassere og andre stillinger som befinner seg i lignende miljø. En annen begrensning med denne oppgaven er at målingene ble tatt over en kort periode på vinterstid, og tar dermed ikke hensyn til sesongvariasjoner. Ved vurderingen av eksponeringen er det ikke tatt hensyn til korttidseksponering 15 min TWA.



# Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunn.....	1
2	Teori.....	3
2.1	Luftbårne partikler.....	3
2.1.1	Ekvivalente diametre og støvfraksjoner.....	3
2.1.2	Måling av nanopartikler.....	5
2.1.3	Engineered Nanopartikler og UFP.....	6
2.1.4	Helseeffekter av nanopartikler.....	7
2.2	Vurderingskriterier.....	8
2.2.1	Nano Reference Value (NRV).....	9
2.2.2	Prøvetakningsprinsipper.....	11
2.2.3	Avvikende skiftlengder.....	13
2.3	Smelteverk.....	13
2.3.1	Prosess og eksponering i silisium- og ferrosilisiumsmelteverk.....	13
2.3.2	Tidligere utførte UFP målinger på smelteverk.....	15
3	Metode.....	20
3.1	Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk.....	20
3.1.1	Oppbygging av smelteverket.....	21
3.1.2	Arbeidsskift og arbeidsoppgaver.....	23
3.2	Måleutstyr og materiell.....	26
3.3	Målestrategi.....	27
3.4	Plassering av måleutstyr.....	28
3.5	Gjennomføring av målinger.....	32
3.6	Dataanalyse.....	33
4	Resultater.....	34

4.1 Logging av tidspunkter og arbeidstid .....	34
4.2 Resultater per stasjon .....	35
4.2.1 Tappedørk ovn 2 .....	36
4.2.2 Tappedørk ovn 3 .....	37
4.2.3 Pauserom.....	38
4.2.4 Tappehall.....	39
4.2.5 Utstøping.....	40
4.3 Eksponering .....	41
4.4 Identifisering av eksponeringskilder.....	42
4.4.1 Tappedørk ovn 2 .....	42
4.4.2 Tappedørk ovn 3 .....	43
4.4.3 Pauserom.....	45
4.4.4 Tappehall.....	46
4.4.5 Utstøping.....	47
5 Diskusjon .....	48
6 Konklusjon.....	55
6.1 Videre anbefalinger.....	55
7 Referanser .....	56
8 Vedlegg .....	60
Vedlegg A: Støvfraksjoner .....	60
Vedlegg B: Måleplan .....	61
Vedlegg C: 3d modeller av målinger .....	62

## Figurliste

Figur 1 Inhalerbar, torakal og respirabel fraksjon som prosent av totalt svevestøv (Standard Norge, 1993, p. 7) .....	5
Figur 2 Målestrategi ved bruk av NRV (Hendriks & van Broekhuizen, 2013, p. 11) .....	11
Figur 3 Eksponeringsmekanismer (Mari, 2013) s.92.....	15
Figur 4 måling som viser størrelsesorden til partikler ved tapping av ferrosilisium på to ulike målinger (Kero, Næss, & Tranell, 2015, p. 41) .....	16
Figur 5 Partikkelkonsentrasjon i smelteverk over tid med piler som viser tidspunkt med økt konsentrasjon (Kero & Jørgensen, 2016, p. 6).....	16
Figur 6 UFP konsentrasjon, med størrelsesfordeling av partiklene. "Prebake potroom" og "sødeberg potroom" til høyre S.131(Thomassen et al., 2005).....	17
Figur 7 Målinger for UFP i silisiumkarbidproduksjon for mindre pilotovn (venstre) og industriovn (høyre) (Jørgensen & Kero, 2017, pp. 7-8) .....	18
Figur 8 Konsentrasjoner fra jernsmelteverk, med påfølgende overflateareal av partiklene s.129 (Cheng et al., 2008).....	19
Figur 9 Oversikt over Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk.....	20
Figur 10 Skjematisk fremstilling av Smelteverket. (Finnfjord).....	21
Figur 11 Ovn sett fra bakkeplan med ovnsdørk over, og skinne og lavett for øsen til venstre ....	21
Figur 12 Modell av av sug og inntak av luft på smelteverket. Grønn er av sug, mens rød er porter som gir tilførsel av luft.....	23
Figur 13 NSMPS med prinsipptegning (TSI, 2012). .....	26
Figur 14 Flere eksponeringsscenarioer for en spesifikk kjemisk agens (Standard Norge, 2018)..	27
Figur 15 Plassering av måleutstyr med dato. ....	28
Figur 16 Plassering av målere på tappedørk ovn 3 og 2. ....	30
Figur 17 Plassering av måler pauserom, tappehall og støpehall. ....	31
Figur 18 Tid brukt per arbeidstasjon ovn 3.....	35
Figur 19 Tid brukt per arbeidstasjon ovn 2.....	35
Figur 20 Boxplot av målingene tatt på tappedørk ovn 2.....	36
Figur 21 Boxplot av målingene tatt på tappedørk ovn 3.....	37
Figur 22 Boxplot av målingene tatt på pauserom. ....	38

Figur 23 Boxplot av målinger tatt i tappehall .....	39
Figur 24 Boxplot av målinger tatt på utstøping. ....	40
Figur 25 3d modell av måling på tappedørk ovn 2 14. mars .....	42
Figur 26 3d modell av måling på tappedørk ovn 3 10. mars .....	43
Figur 27 3d modell av måling på pauserom 8. mars.....	45
Figur 28 3d modell av måling på tappehall 11. mars.....	46
Figur 29 3d modell av måling på utstøping 9. mars .....	47
Figur 30 3d modell av måling på utstøping 10. mars .....	47
Figur 31 Støvfraksjoner (Standard Norge, 1993) .....	60
Figur 32 3d modell av måling på utstøping 8. mars .....	62
Figur 33 3d modell av måling på tappedørk ovn 3 8. mars. ....	63
Figur 34 3d modell av måling på tappedørk ovn 3 9. mars .....	64
Figur 35 3d modell av måling på tappedørk ovn 3 12. mars. ....	65
Figur 36 3d modell av måling på tappedørk ovn 2 11. mars .....	66
Figur 37 3d modell av måling på tappedørk ovn 2 13. mars .....	67
Figur 38 3d modell av måling på tappehall 12.mars.....	68
Figur 39 3d modell av måling på tappehall 13. mars.....	69
Figur 40 3d modell av måling på pauserom 9.mars.....	70
Figur 41 3d modell av måling på pauserom 10.mars.....	71

## Tabell-liste

Tabell 1 Sammenheng mellom ekvivalente diametre og tetthet for partikler s.1196 (DeCarlo et al., 2004) .....	4
Tabell 2 NRV-er for 4 klasser av nanomaterialer (Hendrikx & van Broekhuizen, 2013, p. 7)....	10
Tabell 3 Aritmetisk middelverdier og maksimumsverdier for målinger utført under tapping (Kero & Jørgensen, 2016, p. 7) .....	17
Tabell 4 Geometrisk middelverdier og maksimumsverdier for målinger utført ved ovner i silisiumkarbidproduksjon (Jørgensen & Kero, 2017).....	18
Tabell 5 AM, min og maks verdier fra Jernsmelteverk (Cheng et al., 2008) .....	19
Tabell 6 Arbeidsoppgaver til tapperne alle ovner.....	25
Tabell 7 Stasjonene til tapperne med beskrivelser.....	28
Tabell 8 Resultater alle målinger tappedørk ovn 2. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen.....	36
Tabell 9 Resultater alle målinger tappedørk ovn 3. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen.....	37
Tabell 10 Resultater alle målinger pauserom. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen.....	38
Tabell 11 Resultater alle målinger tappehall. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen.....	39
Tabell 12 Resultater alle målinger utstøping. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen.....	40
Tabell 13 Eksponering for tapperne på ovn 2 og 3.....	41
Tabell 14 Måleplan .....	61

## Forkortelser og begrepsliste

<b>CPC</b>	Condensation Particle Counter
<b>NRV</b>	Nederlandske referanseverdier for eksponering for nanopartikler
<b>OELV</b>	Occupational exposure limit value
<b>d<sub>ae</sub></b>	Aerodynamisk diameter
<b>d<sub>m</sub></b>	Mobilitetsdiameter
<b>d<sub>me</sub></b>	Mass Equivalent diameter
<b>d<sub>ve</sub></b>	Volume Equivalent Diameter
<b>d<sub>va</sub></b>	Vacuum Equivalent diameter
<b>Nanopartikkel</b>	Partikkel som er under 100nm på både lengde bredde og dybde
<b>UFP</b>	Nanopartikler som er utilsiktet skapt
<b>Engineered nanopartikkel</b>	Nanopartikler som er bevisst skapt
<b>NSMPMS</b>	Nanoscan Scanning Mobility Particle Sizer
<b>Øse</b>	Metallkopp ferrosilisium tappes i
<b>Lavett</b>	Vogn med hjul som øsen settes i ved tapping
<b>Brennjern</b>	Metallstang som kobles til spenning for å brenne vekk metall
<b>Oksygenlanse</b>	Hul stang som kobles til oksygen for å brenne vekk metall
<b>Tappehull/tappetut</b>	Åpning i ovn der det tappes metall

# 1 Bakgrunn

Ferrosilisium er en legering som er mye brukt til fremstilling av rustfritt stål og karbonstål. Norge er en stor produsent av ferrosilisium, og har en verdensmarkedsandel på 5%. Finnfjord smelteverk er en stor produsent av denne legeringen og produserer rundt 100 000 tonn i året (Tangstad, 2013). Arbeid på ferrosilisiumsmelteverk eksponerer de ansatte for blant annet polycykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), respirabelt støv, totalstøv, UFP, og gasser som karbonmonoksid (CO) og nitrøse gasser (NO<sub>x</sub>) (Kero, Grådahl, & Tranell, 2016). Eksponeringen for denne typen kjemisk forurensing er knyttet til negative helseeffekter på de ansatte som astma og andre luftveissykdommer (Johnsen, Soyseth, Hetland, Benth, & Kongerud, 2008). Det utføres jevnlig målinger for respirabelt- og totalstøv på Finnfjord gjennom bedriftshelsetjenesten de er tilknyttet, og det er god dokumentasjon på eksponeringen for de ansatte (Evenstad, 2017). For å begrense eksponeringen for både respirabelt støv, totalstøv og UFP, har Finnfjord gjennom prosjektet DeMaskUs tetthetstestet støvmaskene til alle arbeiderne slik at de har P3 støvmasker som har den optimale passformen i forhold til den enkeltes ansiktsform.

Til tross for god dokumentasjon på respirabelt- og totalstøv, er det mangelfull kartlegging av eksponering for UFP på Finnfjord. Større partikler skapes ofte av mekaniske prosesser, men UFP er i hovedsak antatt å være et produkt av varmeprosesser (Oberdorster, Oberdorster, & Oberdorster, 2005). Dette kan være en medvirkende årsak til at UFP vil ha et annet eksponeringsmønster enn konvensjonelt støv, og eksponeringsmålingene som er utført for partikler over 100nm vil ikke være en indikator for eksponeringen for UFP. Det har ikke lyktes å finne eksponeringskartlegging for UFP på smelteverksarbeidere, men det er gjennomført emisjonsmålinger på silisiumsmelteverk, der smelteprosessen er svært lik. Slike målinger har ikke til hensikt å undersøke eksponeringen for de ansatte, men er allikevel en indikator for konsentrasjoner de potensielt kan eksponeres for. En medvirkende årsak til den mangelfulle dokumentasjonen for eksponering for UFP er fraværet av godt utarbeidede metoder for kartlegging. Oppbyggingen av smelteverkene, samt vekt og utforming av utstyret som er nødvendig for målingene, skaper praktiske utfordringer ved gjennomføring av eksponeringsmålinger.

Prosjektet SCINDEEP som står for «Safety Challenges for Industries: Dermal Exposure to Nanosized Particles», har blitt iverksatt for å undersøke hvordan UFP som skapes på smelteverk,

i gruvedrift og i brannvesenet, deponeres på huden og dermed utgjøre en helsefare. I den anledning er det ønskelig å utvikle og evaluere en metode for kartlegging for UFP i arbeidsatmosfæren som tilfredsstillt krav for eksponeringsmålinger i arbeidsmiljøet. For å gjennomføre dette skal følgende punkter belyses:

1. Videreføre litteraturstudie utført høsten 2018 for eksponering for ultrafine partikler på smelteverk.
2. Kartlegging av arbeidsoppgaver og arbeidsmønster til ansatte på Finnfjord smelteverk, og kartlegging av steder som kan gi de største bidragene til eksponering for ultrafine partikler.
3. Utføre eksponeringsmålinger med metoden «måling av spesifikke arbeidsoperasjoner», og «stasjonære målinger» ved bruk av Nanoscan SMPS partikkelteller.
4. Vurdering og diskusjon av eksponeringsmålingene opp mot anbefalte metoder og vurderingskriterier.
5. Konklusjon og videre anbefalinger.



## 2 Teori



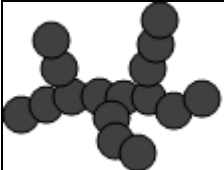
### 2.1 Luftbårne partikler

Luftbårne partikler er en velkjent kilde til negative helseeffekter blant befolkningen. Luftbårne partikler varierer i størrelse, kjemisk sammensetning og utforming, som igjen påvirker hvilke effekter de vil ha på vev, og muligheten de har til å eksponere personer. De siste årene har det blitt et økt fokus på nanopartikler, som er definert som en partikkel der lengde, bredde og dybde er under 100 nanometer (ISO, 2014), og hvilke helseeffekter de vil ha på personer som blir eksponert.

#### 2.1.1 Ekvivalente diametre og støvfraksjoner

Måleutstyr som har til hensikt å kvantifisere små luftbårne partikler tar utgangspunkt i «ekvivalente diametre» for å bestemme størrelsen til partikkelen. Det finnes flere ulike ekvivalente diametre som bruker en rekke forskjellige kriterier for å bestemme størrelsen til partikkelen. Ekvivalente diametre som er aktuelle er: *Volume Equivalent Diameter* ( $d_{ve}$ ) som beskriver størrelsen på en teoretisk sfærisk partikkel av likt volum som den faktiske partikkel, der partikkelen fortsatt innehar eventuelle hulrom. *Mass Equivalent Diameter* ( $d_{me}$ ) beskriver det samme som  $d_{ve}$ , men uten hulrom. En ekvivalent diameter brukt i spektrometre er *Vacuum Aerodynamic Diameter* ( $d_{va}$ ), som gjelder for partikler i fri-molekylære regimer. Elektrisk mobilitetsdiameter defineres som diameteren til en sfærisk partikkel med samme migrasjonshastighet i et konstant elektrisk felt som den aktuelle partikkelen, og til slutt aerodynamisk diameter ( $d_{ae}$ ) som defineres som den teoretiske diameteren på en sfærisk partikkel med massetetthet  $1\text{g/cm}^3$  som vil falle med lik hastighet i luft som den virkelige partikkelen, under de samme gitte fysiske forutsetningene (DeCarlo, Slowik, Worsnop, Davidovits, & Jimenez, 2004). Sammenhenger mellom de ulike diameterne kan ses i Tabell 1.

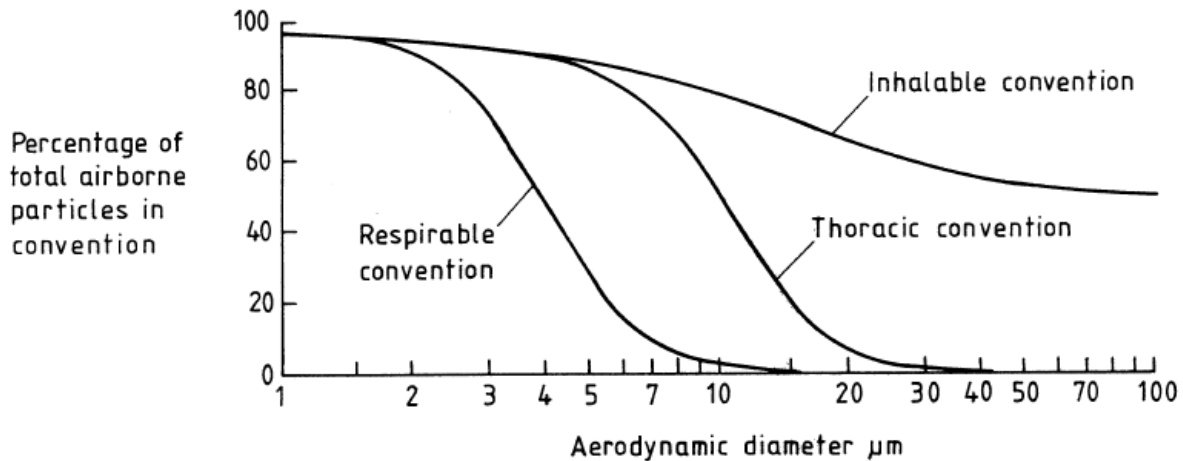
Tabell 1 Sammenheng mellom ekvivalente diameter og tetthet for partikler s.1196 (DeCarlo et al., 2004)

Type partikkel:	Beskrivelse:	Sammenheng mellom diametere:	$\rho_p$ og $\rho_m$ sammenheng:
	Sfærisk	$d_{me} = d_{ve}$ $d_m = d_{ve}$ $\frac{d_{va} * \rho_0}{\rho_p} = d_{ve}$	$\rho_p = \rho_m$
	Sfærisk med hulrom	$d_{me} = d_{me} * \delta$ $d_m = d_{ve}$ $\frac{d_{va} * \rho_0}{\rho_p} = d_{ve}$ $\delta = \left( \frac{\rho_m}{\rho_p} \right)^{1/3}$	$\rho_p < \rho_m$ $\delta^3 * \rho_p = \rho_m$
	Sammensatt	$d_{me} = d_{ve}$ $d_m > d_{ve}$ $d_{ve} > d_{ae} (\text{hvis } \rho_p = \rho_0)$	$\rho_p = \rho_m$

hvor  $\rho_0$  = standard massetetthet (1 g/cm<sup>3</sup>),  $\rho_p$  = partikkelens massetetthet,  $\rho_m$  = massetettheten til materialet i partikkelen, og  $\delta$  er en parameter på interne hulrom i partikkelen og defineres som:

$$\delta = \left( \frac{\rho_m}{\rho_p} \right)^{1/3}$$

Hvor langt ned i luftveiene en partikkel kan trenge og deponeres er avhengig av den aerodynamisk diameter( $d_{ae}$ ). Basert på denne deles partiklene i fraksjoner. Inhalerbar fraksjon defineres som alle partikler som inhaleres gjennom munn og nese  $d_{ae} < 100 \mu\text{m}$ , torakal fraksjon er partikler som går forbi strupehodet  $d_{ae} < 50 \mu\text{m}$  med «cut off» på 50 % ved  $d_{ae} 10\mu\text{m}$ , respirabel fraksjon er partikler som kan trenge ned til de terminale bronkiene og alveolene  $d_{ae} < 18 \mu\text{m}$  med «cut off» på 50 % ved 4,25(Standard Norge, 1993). Dette er illustrert ved Figur 1. For tabell med mer informasjon se Vedlegg A. Fraksjonene er ikke et mål på hvor stor andel av partiklene som deponeres da spesielt små partikler blir med på ekshalering uten å deponeres.



Figur 1 Inhalerbar, torakal og respirabel fraksjon som prosent av totalt svevestøv (Standard Norge, 1993, p. 7)

Man har også definisjonen totalstøv som beskriver den «totale» mengden små luftbårne partikler. Det viser seg derimot at det er vanskelig å gi et representativt bilde av hva den faktiske totalstøvfraksjonen er, da alt måleutstyr til en viss grad er størrelses-avhengig (Standard Norge, 1993). I Norge er totalstøvfraksjonen definert som støvet som blir tatt opp av en tredelt plastkassett med diameter 25 eller 27 mm. Innsugningsåpningen på kassetten er 4mm og lufthastighet 2 l/min.

### 2.1.2 Måling av nanopartikler

Ved måling av de ulike støvfraksjonene brukes det ofte en gravimetrisk analyse for å bestemme mengden partikler som er suspendert i luften. For å isolere og måle de ulike fraksjonene brukes det impaktorer, sykkloner og ulike kassetter. Ved måling av nanopartikler er det nødvendig med andre metoder på grunn av den lave massen til partiklene. Ved en ren gravimetrisk analyse vil en enkel større partikkel i blandingen føre til svært høye verdier, men vil bidra minimalt til den totale reaktive overflaten i blandingen. Dette vil gi resultater som ikke samsvarer med de potensielle helseeffektene. For å måle konsentrasjoner av nanopartikler brukes derfor utstyr som kvantifiserer partiklene ved å telle dem.

Ved målinger av nanopartikler brukes ofte betegnelsen aerodynamisk diameter ( $d_{ae}$ ) eller elektrisk mobilitetsdiameter ( $d_m$ ) for å bestemme størrelsen til partikkelen. Til tross for at nanopartikler defineres som partikler der alle tre dimensjonene, lengde, bredde og dybde er under 100 nanometer (ISO, 2014), vil partiklene ved utførelse av målinger defineres som en partikkel der den ekvivalente diameteren som instrumentet måler er under 100nm. Hvilken

ekvivalent diameter som brukes er avhengig av måleapparatet. Forutsetningen i både  $d_{ae}$ , og  $d_m$  er at partikkelen er perfekt sfærisk (Sioutas, Delfino, & Singh, 2005). Dette er en generalisering som ikke er riktig ved måling av nanopartikler, og særlig ikke i ferrosilisiumsmelteverk da det har blitt vist ved elektronmikroskopi at FeSi ofte har en sammensatt, og derfor irregulær form (Kero, Næss, & Tranell, 2015). En sammensatt form fører til større overflate per masse, og generelt en lavere tetthet. Dette gjør at et instrument som måler den aerodynamiske diameteren vil kunne klassifisere en partikkel som en nanopartikkel, mens et som måler den elektriske mobiliteten vil klassifisere partikkelen som en større partikkel. Sammenligning av de to metodene krever kunnskap om tettheten til partikkelen (Maricq, Podsiadlik, & Chase, 2000), noe som er problematisk grunnet den sammensatte formen. For sammensatte partikler er regelen at  $d_m > d_{ve} > d_{ae}$  (DeCarlo et al., 2004). Et eksempel på dette er en studie som sammenlignet flere måleinstrumenter; Fast Mobility Particle Sizer (FMPS), Electrical Low Pressure Impactor (ELPI), og Condensation Particle Counter (CPC) på silisiumsmelteverk. Studien viser at selv om FMPS ( $d_m$ ) og ELPI ( $d_{ae}$ ) viser svært lik konsentrasjon av totalt antall partikler, henholdsvis 107,817 og 102,596 viser FMPS en halvering i partikler under 100nm i forhold til ELPI 21,580 mot 40,670 (Kero & Jørgensen, 2016).

### **2.1.3 Engineered Nanopartikler og UFP**

Når nanopartikler omtales, blir de ofte delt opp i «engineered nanopartikler» og «incidental nanopartikler», der sistnevnte også går under navnet UFP. Det er ingen fysiske ulikheter mellom de to betegnelse, men man velger likevel å skille på dem basert på hvordan de fremstilles. UFP er en betegnelse som blir brukt når det dannes utilsiktede partikler, ofte gjennom varmeprosesser som smelteverk, forbrenningsmotorer eller elektriske prosesser. Disse partiklene eksisterer også som produkter av naturlige forbrenningsprosesser som ild og vulkanutbrudd. Til tross for at UFP dannes hovedsakelig ved varmeprosesser, eksisterer det også dokumentasjon som tyder på at UFP kan dannes ved mekaniske prosesser som knusing og bryting av større masser (Skubacz, Wojtecki, & Urban, 2017). «Engineered nanopartikler» er en betegnelse som blir brukt ved omtale av kunstig fremstilt antropogene partikler som nanorør og semikonduktorer, der partikkelen i seg selv er produktet som er ønsket fremstilt (Oberdorster, Oberdorster, et al., 2005) (ISO, 2014).

#### 2.1.4 Helseeffekter av nanopartikler

Det er god dokumentasjon på at nanopartikler fører til skadelige effekter. Studiene er i stor grad utført som toksikologiske eksperimenter på celler og dyr, og det er en mangel på epidemiologiske studier på mennesker som knytter helseeffekter opp mot konsentrasjoner og sykdomsforekomst. Dette er en del av årsaken til at det enda ikke er opprettet grenseverdier for nanopartikler i ulike materialer.

På grunn av liten størrelse har nanopartikler svært høyt overflateareal per masseenheter noe som fører til at en større andel av partikkelen kan reagere med vev i kroppen. Den store overflaten per masseenheter fører også til en relativ økning i mengden toksiske kjemikalier og reaktive oksygenforbindelser som igjen kan føre til oksidativt stress i de eksponerte (Aztatzi-Aguilar et al., 2018). Nanopartikler vil på grunn av liten størrelse trenge helt ned i luftveiene, og deponeres i stor grad i alveolene (Daigle et al., 2003), samt at dyreforsøk har vist til at nanopartikler kan trenge ut i blodomløpet og videre eksponere andre organer i kroppen (Dudeja, 2018) (Nemmar et al., 2002). Alle disse faktorene vil være medvirkende årsaker til at partiklene kan ha andre toksiske karakteristikk enn større partikler av en lik kjemisk sammensetning.

Nanopartikler kan tas opp i kroppen gjennom inhalering, via svelg, gjennom øynene eller gjennom huden. Dette skjer ved en av fire følgende mekanismer; transcellulært, intercellulært, gjennom hårsekker eller svettekjertler (Scheuplein, 1967). Andre faktorer hos dem som eksponeres for partiklene er også av betydning for å bestemme helsefare. Lafuente, Sharma, Patnaik, Fior Muresanu, and Sharma (2012) mistenker at sykdom og svekket helsetilstand, eksempelvis diabetes, KOLS, astma og allergier kan øke sannsynligheten for skadelige helseeffekter. Crosera et al. (2009) trekker frem at hudkvalitet, som eksem og psoriasis, er av betydning for hvor stor grad nanopartikler kan trenge gjennom huden og forårsake skade. Arbeidstilsynet antyder også at eksponering for nanopartikler kan ha følger for reproduksjonsevne, og viser til Wick et al. (2010) som *in vivo* har vist til at partikler kan trenge inn i livmoren.

Til tross for at ulike nanopartikler vil ha felles egenskaper, basert på liten størrelse og overflate, vil de ha ulike biologiske effekter avhengig av form og komposisjon. Dette fører til at hver type nanopartikkel og dens helseeffekter må studeres separat (Oberdorster, Maynard, et al., 2005). Videre følger noen eksempler av nanopartikler, der effekten ved eksponering har blitt studert:

Studier på rotter har vist til at flerveggede karbon-nanorør (MWCNT) i stor grad har den samme effekten på vev som kvarts, med høyere grad av toksisitet (Reddy, Reddy, Krishna, & Himabindu, 2012). Ved høye doser har MWCNT blitt knyttet til lungefibrose og kreft (Oberdorster, Maynard, et al., 2005). Annen *in vivo* forskning på mus har også sett en kobling mellom eksponering for karbonrør til svangerskapsproblemer (Hougaard et al., 2013).  $\text{TiO}_2$  er også knyttet til svangerskapsproblemer for mus, men riktignok ved injeksjon av partiklene (Yamashita et al., 2011). Andre *in vivo*  $\text{TiO}_2$  studier på mus har vist til en høyere grad av inflammasjon i lungene ved eksponering for nanoskala  $\text{TiO}_2$  sett i forhold til større partikler (Oberdorster, Ferin, & Lehnert, 1994). Museforsøk har også vist til en inflamatorisk og toksisk effekt på lunge- og leverceller av carbon black (Bourdon et al., 2012), mens for polystyren har det blitt vist til liten skadelig effekt på celler fra eksponering for nanopartikler, og antas å være lite toksisk (Liu et al., 2011). For amorf silisiumoksid ( $\text{SiO}_2$ ) har *in vitro* forsøk på museceller vist til skade på DNA, men da på grunnlag av indirekte årsaker da nanopartiklene ikke ble observert i cellekjernen (Park et al., 2011). En annet studie på  $\text{SiO}_2$  har vist til lungeinflammasjon ved eksponering, men at denne inflammasjonen er mer avhengig av karakteristikken til overflaten på partikkelen enn til størrelsen og overflatearealet (Warheit, Webb, Colvin, Reed, & Sayes, 2006).

## 2.2 Vurderingskriterier

Arbeidsmiljøloven beskriver arbeidsgivers ansvar for hva angår arbeidsmiljø, herunder sikre at ansatte har full trygghet mot fysiske og psykiske skadevirkninger

Nanomaterialer inngår i regelverk for kjemikalier på arbeidsplassen, og omfattes av følgende arbeidsmiljøforskrifter: *internkontrollforskriften*; *REACH-forskriften*; *forskrift om klassifisering, merking og emballering av stoffer og stoffblandinger (CLP-forskriften)*; *merkeforskriften*; *biocidforskriften* (Arbeidstilsynet, 2014). I tillegg nevner *forskrift om utførelse av arbeid* at arbeidsgiver plikter å gjennomføre risikovurderinger. Reglene påpeker arbeidsgivers ansvar for å unngå helseskadelig arbeid, men beskriver ikke definitive grenseverdier for hvor høy konsentrasjon som er tillatt for de ulike nanopartiklene. Arbeidstilsynet har opparbeidet anbefalte yrkeshygieniske grenseverdier for noen få materialer de anbefaler virksomheter å bruke i vente på utarbeidete grenseverdier. Dette er karbonnanorør, karbonnanofiber og nanopartikler av  $\text{TiO}_2$ .

Verdiene er basert på dokumentasjon som er utarbeidet av NIOSH, Nanocyl, og Aschberger, og er gitt i masse per volumenhet ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Regjeringen (2012) skriver i sin rapport *Regjeringens FOU-strategi for nanoteknologi 2012 – 2021* at det arbeides med vurderinger av hvorvidt dagens metoder og datagrunnlag som brukes i risikovurderinger for kjemikalier, er egnet for bruk til nanomaterialer. Teknologirådet (2008) påpeker at vektbaserte terskelverdier må suppleres med andre verdier som partikkelantall eller samlet overflateareal.

### **2.2.1 Nano Reference Value (NRV)**

Nederlandske arbeidsmyndigheter har benyttet en referanseverdi for nanomaterialer kalt NRV, som tilsvarer grenseverdi. Forskjellen på grenseverdi og NRV ligger i tolkningen av de ulike begrepene. Grenseverdi ser på risikoen for eksponering som et produkt av eksponering og helsefare, mens NRV betrakter risikoen heller som produktet av eksponering og bekymring for hva eksponeringen kan føre til av helseplager. NRV betrakter også konsentrasjoner som antall partikler/ $\text{cm}^3$ , i stedet for  $\text{mg}/\text{m}^3$  som er standarden brukt ved målinger av respirabelt, inhalerbart og totalstøv.

Verdiene for NRV ble kalkulert til antall-konsentrasjonen som kreves for å oppnå en massekonsentrasjon på  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$  for partikler opp til 100 nanometer. NRV-ene deles inn i fire klasser basert på nanomaterialenes egenskaper, og verdiene baseres på en 8 timers arbeidsdag. De ulike NRV-ene er inkludert i Tabell 2.

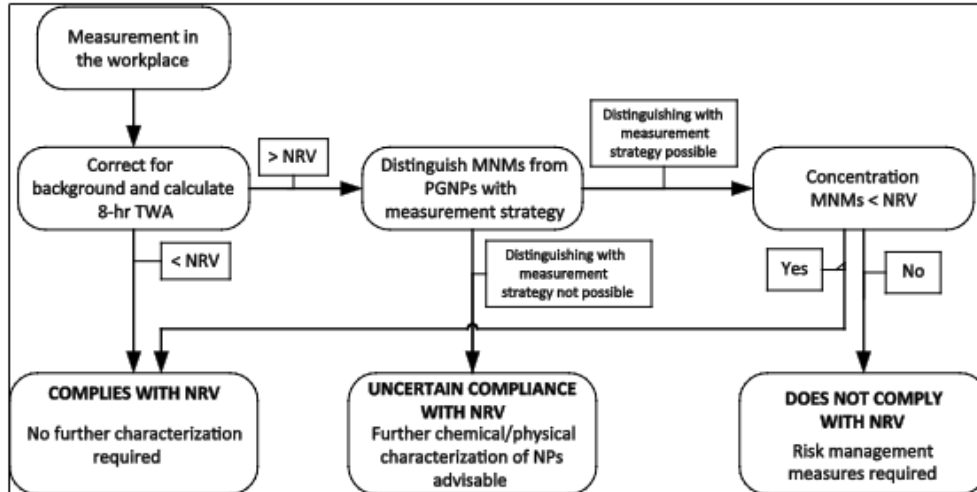
Tabell 2 NRV-er for 4 klasser av nanomaterialer (Hendriks & van Broekhuizen, 2013, p. 7)

Klasse	Beskrivelse	Massetetthet i kg/m <sup>3</sup>	NRV (8 timers TWA)	Eksempler
1	Sterke biopersistente nanofibre som kan ha samme helseeffekter som asbest	-	0,1 fibre/cm <sup>3</sup> (= 10 000 fibre/m <sup>3</sup> )	SWCNT, MWCNT eller metalloksidfibre hvor produsent ikke kan utelukke asbestlignende effekter
2	Biopersistente granulære nanomaterialer i størrelsesordenen 1 til 100 nm	> 6000	20 000 partikler/cm <sup>3</sup>	Ag, Au, CeO <sub>2</sub> , CoO, Fe, Fe <sub>x</sub> O <sub>y</sub> , La, Pb, Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , SnO <sub>2</sub>
3	Biopersistente granulære og fibrøse nanomaterialer i størrelsesordenen 1 til 100 nm	<6000	40 000 partikler/cm <sup>3</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , TiN, TiO <sub>2</sub> , ZnO, nanoleire, kjørøyk, buckminsterfullerener, dendrimerne, polystyren, nanofibre som ikke kan utelukke å ha asbestlignende effekter
4	Ikke-biopersistente granulære nanomaterialer i størrelsesordenen 1 til 100 nm	-	Normale grenseverdier	Fett, bordsalt
NB:	For korttids «peak»-eksponering: $NRV_{15\text{-min TWA}} = 2 \times NRV_{8\text{ timers TWA}}$			

Det legges også til at prosess- og forbrenningsrelaterte nanopartikler alltid vil eksistere i arbeidsatmosfæren, og at disse vil kunne være vanskelig å skille fra andre partikler. Målinger som viser verdier som ligger over NRV, skal medføre at virksomheten umiddelbart iverksetter tiltak for å minimere eksponeringen.

Kartleggingsstrategien ved bruk av NRV foreslås i Figur 2:





Figur 2 Målestrategi ved bruk av NRV (Hendriks & van Broekhuizen, 2013, p. 11)

For å fremstille måledata, viser NRV til Formel 1. Hvis  $PCR > 1$ , må tiltak iverksettes; hvis  $PCR < 1$ , trengs ingen tiltak.

$$PCR = \frac{\text{konsentrasjon av nanopartikler}}{NRV} \quad (1)$$

(Hendriks & van Broekhuizen, 2013)

### 2.2.2 Prøvetakningsprinsipper

Arbeidstilsynet (2018) beskriver på sine nettsider ([www.arbeidstilsynet.no](http://www.arbeidstilsynet.no)) flere ulike prinsipper for en hensiktsmessig kartlegging av kjemisk eksponering for arbeidstakere. Prinsippene er basert på Standarden NS-EN 689:2018 (Standard Norge, 2018), og er veiledende. Den innebærer å sammenligne eksponering med «OELV», som tilsvarende grenseverdi som er oppgitt i *Forskrift for tiltak og grenseverdier*.

Det er i hovedsak tre ulike måleprinsipper arbeidstilsynet oppgir. Dette er personlige prøver der det blir tatt i bruk homogene grupper, målinger av spesifikk arbeidsoperasjon og stasjonære målinger. Foruten stasjonære målinger vil alle måleprinsippene ta målinger i pustesonen til den ansatte. Pustesonen defineres som en hemisfære på 300 mm radius ut fra ansiktet, og måles fra midtpunktet av en linje mellom ørene (Norsk Yrkeshygienisk Forening, 2009).

#### 2.2.2.1 Personlige prøver

Personlige prøver innebærer kontinuerlig måling på den ansatte over hele arbeidsskiftet. Dette gir et godt bilde av eksponeringen for de ansatte, da alle faktorer som kan bidra til eksponering

blir inkludert. Måleren blir plassert på en ansatt ved dagens start, og tas av ved endt skift. Prinsippet baserer seg på homogene grupper da det vil være svært kostbart og tidkrevende å måle samtlige arbeidere på arbeidsplassen. Homogene grupper er sammensatt av ansatte som er antatt likt eksponert for agensen man er ute etter, ofte på grunn av at de jobber på samme plass og utfører lignende oppgaver. På den måten kan man fortsatt få statistisk signifikante resultater ved et relativt lite antall målinger.

#### 2.2.2.2 Måling av spesifikk arbeidsoperasjon

Måling av spesifikk arbeidsoperasjon er et anbefalt prinsipp om eksponeringen er stor i sjeldent utførte operasjoner, eller om det er vanskelig å sette sammen en homogen gruppe. Målingene utføres på de ulike operasjonene en ansatt utfører per dag, for senere å settes sammen til en total eksponering vektet over 8 timer som vist i Formel 2. Der C er konsentrasjonen og T er tiden brukt på den gjeldende arbeidsoperasjonen.

$$\text{Eksponering} = \frac{C_1T_1 + C_2T_2 + \dots + C_iT_i}{8h} \quad (2)$$

Dette fører til god kontroll over hvilke arbeidsoppgaver som står for de ulike andelene av eksponeringen, uavhengig av hvilket utstyr som brukes. Prinsippet krever god forberedelse, kunnskap fra vedkommende som utfører målingene og informasjon om alle oppgaver og tidsbruk per oppgave for å kunne estimere eksponeringen. Dette prinsippet er sammen med personlige prøver, anbefalt ifølge NS-EN 689 (Standard Norge, 2018) når det eksisterer flere eksponeringsscenarioer i løpet av et arbeidsskift for en enkelt kjemisk agens.

#### 2.2.2.3 Stasjonære målinger

Stasjonære målinger innebærer å plassere måleren et sted, og ikke direkte på de ansattes kropp. Måleren bør stå en plass den kan måle en representativ andel av eksponeringen. Jobber den ansatte på flere ulike stasjoner, bør det måles alle stedene. Har derimot den ansatte et svært mobilt arbeidsmønster er stasjonære målinger ikke egnet. Prinsippet er derimot egnet når forurensingen finnes i den generelle atmosfæren og ikke kommer direkte fra en lokal forurensningskilde. Målingen kan regnes som en eksponeringsmåling om det er dokumentert at resultatene samsvarer med eksponeringsmålinger gjort av heldagsmålinger eller måling av spesifikk arbeidsoperasjon. Prinsippet er godt egnet for å kunne si noe om effektiviteten av tiltak.

### 2.2.3 Avvikende skiftlengder

Når det utarbeides grenseverdier, eller referanseverdier for eksponering av ulike kjemiske agenser, blir det i all hovedsak antatt at arbeiderne jobber 8 timer om dagen, 40 timer i uken. Om arbeidere jobber mer, enten i form av flere eller lengre arbeidsdager, må verdiene justeres for å ta hensyn til dette. Det eksisterer flere typer omregninger der noen av de er forholdsvis enkle, mens andre tar hensyn til halveringstid, helseeffekter og andre faktorer. To veletablerte metoder er OSHA modellen og Brief & Scala.

Brief & Scala er regnet som den mest konservative av metodene, og tar hensyn til lengre arbeidstid og kortere hviletid mellom skiftene. Formelen for daglig reduksjonsfaktor er som følger:

$$RF = \frac{8}{h} \times \frac{24 - h}{16} \quad (3)$$

Der RF er reduksjonsfaktoren man multipliserer med grense eller referanseverdien, h er antall timer som jobbes på hvert skift (hygienists, 2016).

OSHA modellen baseres på at den toksiske responsen av en kjemisk agens er en funksjon av konsentrasjonen. OSHA modellen er ikke like konservativ som Brief & Scala, men er enkel å ta i bruk. Formelen for reduksjonsfaktor for enkeltdager er som følger (hygienists, 2016):

$$RF = \frac{8}{\text{Antall timer jobbet den dagen}} \quad (4)$$

## 2.3 Smelteverk

### 2.3.1 Prosess og eksponering i silisium- og ferrosilisiumsmelteverk

Silisiumsmelteverk og ferrosilisiumsmelteverk omtales i litteraturen som den samme prosessen når produktet inneholder over 65% silisium (Tangstad, 2013). Finnfjords ferrosilisium inneholder 75% silisium, og vil derfor beskrives likt som en ren silisiumprosess. Ved denne prosessen er ikke jernet i fokus, men silisiumet. Innledningsvis er det derfor verdt å nevne at jernet i ferrosilisiumet kommer hovedsakelig i oksidert form som jernmalmpellets ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), men vil også i mindre grad være et produkt av konsumeringen av mantelen til elektroden, brennjern og oksygenlanse som smelter under bruk og havner i det ferdige produktet.

Bestanddelene i silisiumproduksjon er kvartsitt, karbon og energi. Kvartsitten er hovedbestanddelen, og består av mer eller mindre ren  $\text{SiO}_2$ . Karbonet tilsettes for å redusere  $\text{SiO}_2$ . Denne prosessen er energikrevende og er derfor avhengig av store mengder energi, både for å settes i gang og for å opprettholdes (Tangstad, 2013).

Prosesen nedenfor beskriver hvordan silisiumet reagerer med karbonet og blir til det ferdige produktet. Den ideelle ligningen er (Kero et al., 2016):



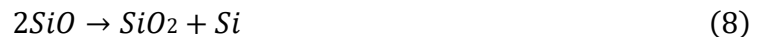
Prosesen kan også forklares ved å dele ovnen i en nedre varm sone og en øvre kaldere sone. I den nedre sonen blir flytende silisium og silisiumoksid dannet som gir følgende ligning:



Fra den nedre sonen stiger silisiumoksid til den øvre sonen og reagerer med karbonet på følgende vis:



Avhengig av temperatur vil dette kondensere ifølge enten:



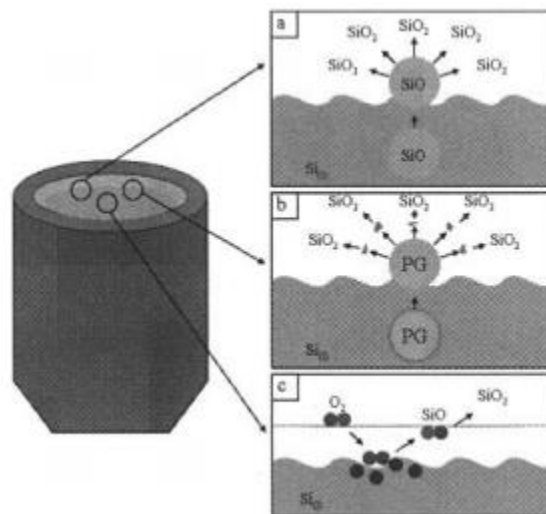
eller:



Effektiviteten i en silisiumovn er typisk på 80 % til 90% som vil si at 10 % til 20 % av silisiumet blir enten omgjort til silisiumkarbid (SiC), som er et rent avfallsprodukt eller omgjort til silika som smelteverket produserer som sekundærmateriale. Formelen for utbytte er (Tangstad, 2013):

$$Yield = \frac{\text{silicon tapped}}{\text{silicon tapped} + \text{silica leaving the furnace} + \text{accumulated SiC}} \quad (10)$$

I et silisiumsmelteverk dannes UFP som kan eksponere de ansatte ved kjemiske reaksjoner utenfor ovnen. Dette er under tapping, raffinering, utstøping og andre varmeprosesser der silisiumet er i kontakt med luft (Kero et al., 2016). Hovedmekanismen for dannning av partiklene er en to-steps oksideringsprosess der Si først reagerer med oksygen og skaper SiO gass som igjen oksiderer til SiO<sub>2</sub> vist som c på Figur 3. Materialets overflate og tilgang på oksygen er derfor en viktig faktor med hensyn til hvor mye SiO<sub>2</sub> som dannes. UFP'en som dannes i smelteverket er runde amorfe partikler, og må ikke forveksles med partikler som har en krystallinsk struktur som α-kvarts.

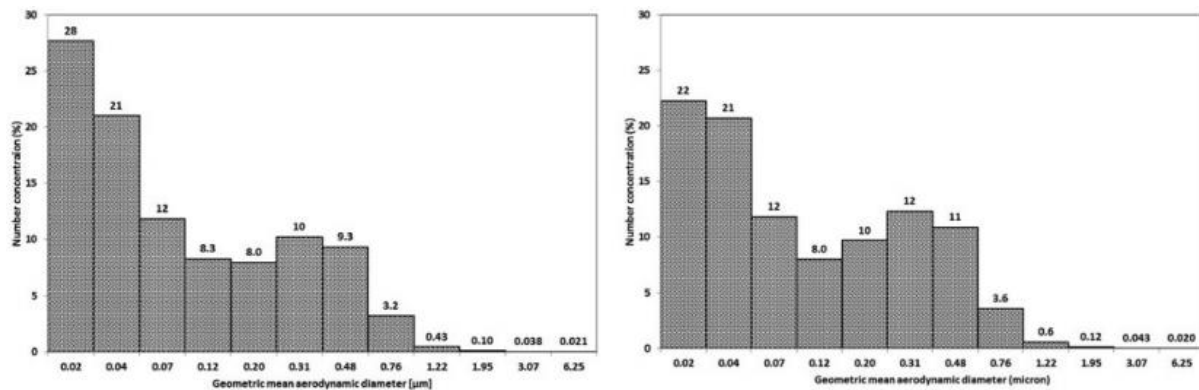


Figur 3 Eksponeringsmekanismer (Mari, 2013) s.92

### 2.3.2 Tidligere utførte UFP målinger på smelteverk

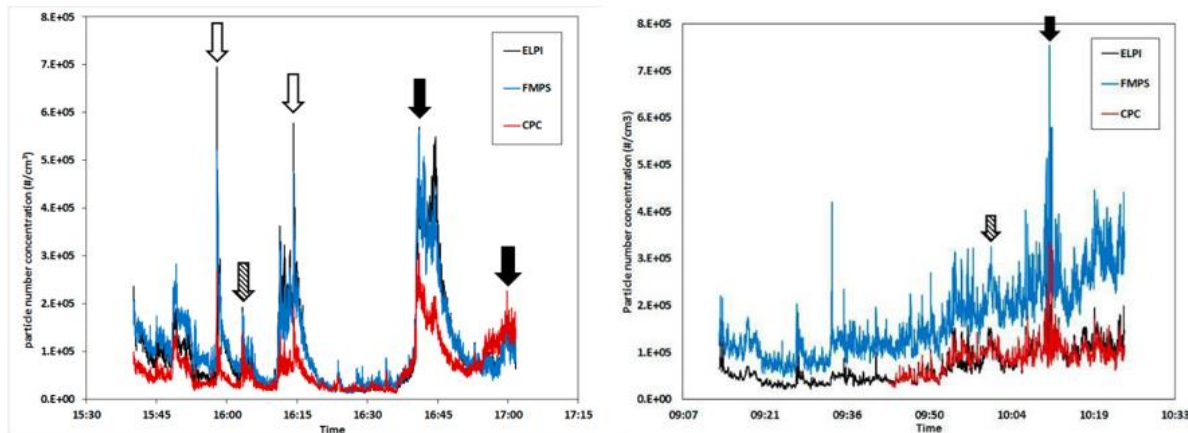
Målingene som tidligere er gjort på smelteverk er emisjonsmålinger utført av stasjonære apparater, og har ikke som hensikt å undersøke eksponeringen til de ansatte. Det er ikke utført målinger av UFP på Finnfjord smelteverk før, men det har blitt gjennomført målinger av UFP konsentrasjoner på andre smelteverk som produserer ulike legeringer og keramer.

(Kero et al., 2015) har utført måling av tappeprosessen av et ferrosilisiumsmelteverk. Målingene er gjort over omtrent tre timer hver, under kontinuerlig tapping. Som sees i Figur 4 er rundt halvparten av partiklene som dannes under tapping under 0.1 µm og klassifiseres som UFP. Figuren viser to ulike målinger som er utført ved bruk av en ELPI.



Figur 4 måling som viser størrelsesorden til partikler ved tapping av ferrosilisium på to ulike målinger (Kero, Næss, & Tranell, 2015, p. 41)

Studien til Kero and Jørgensen (2016) viser betydelige emisjoner av UFP under tapping på silisiumsmelteverk, se Figur 5. Konsentrasjonene varierer i stor grad basert på hvilken arbeidsaktivitet som foregår, henholdsvis raffinering etter tapping (sorte piler), blåsing av oksygen med oksygenlanse inn i tappehullet (hvite piler) og stagging av tappinghullet med en trepinne (stripede piler). Ikke alle konsentrasjonstopper har blitt knyttet til en aktivitet, og kommer av ukjent årsak.

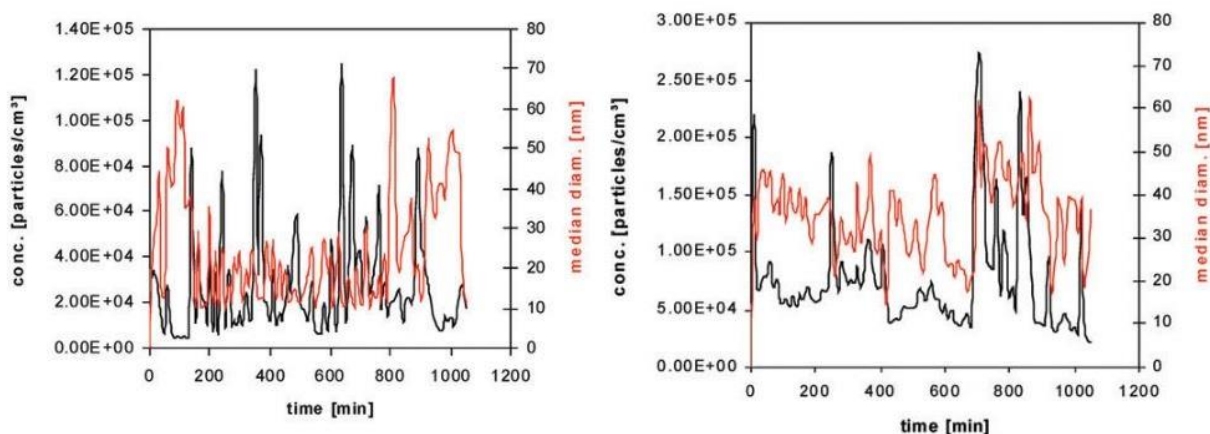


Figur 5 Partikkelkonsentrasjon i smelteverk over tid med piler som viser tidspunkt med økt konsentrasjon (Kero & Jørgensen, 2016, p. 6)

Tabell 3 Aritmetisk middelerverdi og maksimumsverdi for målinger utført under tapping (Kero & Jørgensen, 2016, p. 7)

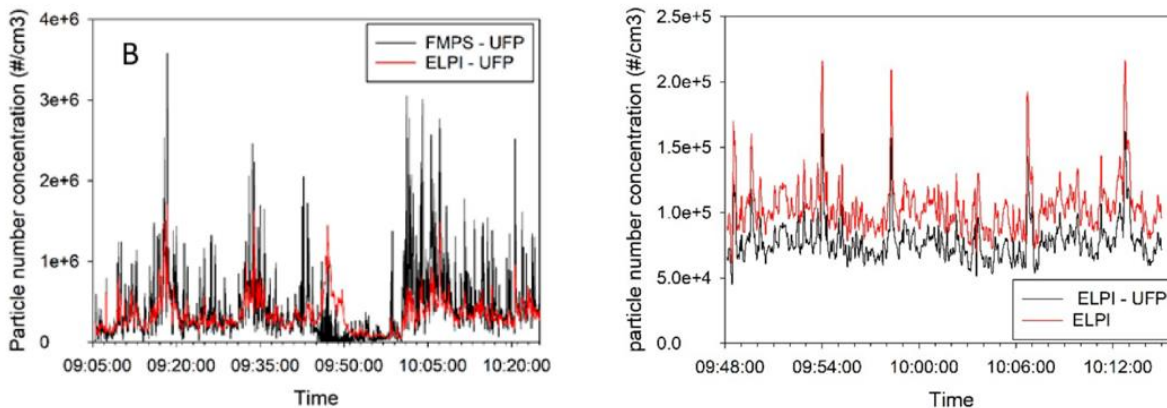
Måleutstyr	Aritmetisk middelerverdi [partikler/cm <sup>3</sup> ]		Maksimumsverdi [partikler/cm <sup>3</sup> ]	
	Dag 1	Dag 2	Dag 1	Dag 2
CPC3007	6.38E+04	8.76E+04	3.05E+06	3.34E+06
FMPS UFP	2.16E+04	7.06E+04	1.65E+06	2.14E+06
ELPI UFP	4.07E+04	2.19E+04	3.18E+06	6.27E+05

Målinger gjort på et aluminiumsmelteverk i Norge viser sammenlignbare resultater. Målingene er tatt på «potroom» på smelteverket, som vil tilsvare tappeområdet for et ferrosilisiumsmelteverk. Konsentrasjonene for «prebake potroom» ligger jevnt på ca 2.00+E04 partikler/cm<sup>3</sup>, og har maksverdier opp til 2.5E+05 partikler/cm<sup>3</sup>. På «søderberg potroom» ligger konsentrasjonen mellom 5.00E+04 partikler/cm<sup>3</sup> og opp mot nesten 3.00E+05 partikler/cm<sup>3</sup> som maksverdier (Thomassen et al., 2005).



Figur 6 UFP konsentrasjon, med størrelsesfordeling av partiklene. "Prebake potroom" og "søderberg potroom" til høyre S.131(Thomassen et al., 2005)

En annen studie som undersøkte et silisiumkarbidsmelteverk for to ulike ovner; en industri Acheson ovn og en mindre «pilotkala» ovn. Målingene ble gjort både med ELPI som bruker  $d_{ae}$  og FMPS som bruker  $d_m$  som måleutstyr. Konsentrasjonene målt ved Acheson ovnen er sammenlignbar med konsentrasjoner nær tappetut på silisiumsmelteverk (Jørgensen & Kero, 2017).



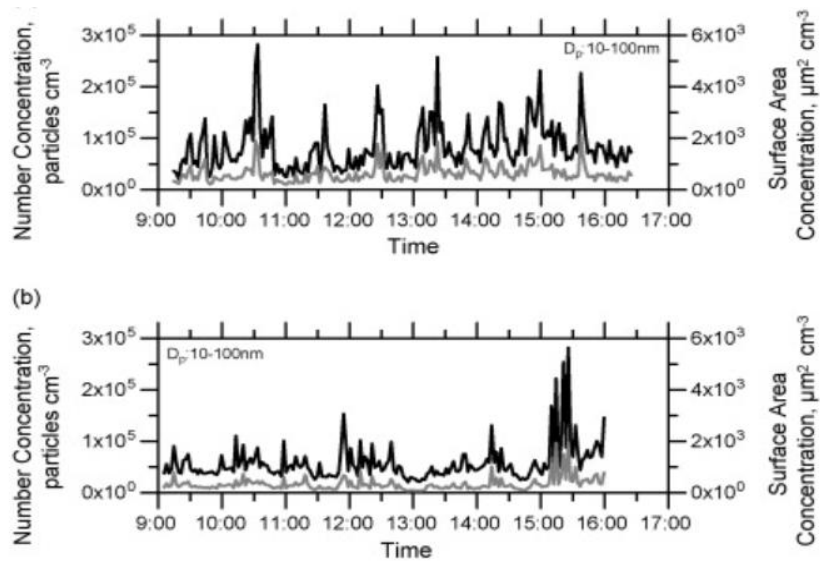
Figur 7 Målinger for UFP i silisiumkarbidproduksjon for mindre pilotovn (venstre) og industriovn (høyre) (Jørgensen & Kero, 2017, pp. 7-8)

Tabell 4 Geometrisk middelværdier og maksimumsverdier for målinger utført ved ovner i silisiumkarbidproduksjon (Jørgensen & Kero, 2017)

Måleutstyr	Aritmetisk middelværdi [partikler/cm <sup>3</sup> ]		Maksimumsverdi [partikler/cm <sup>3</sup> ]	
	Industriovn	Mindre «pilot scale» ovn	Industriovn	Mindre «pilot scale» ovn
FMPS UFP	-	4.05E+05	-	3.58E+06
ELPI UFP	7.80E+04	3.44E+05	1.62E+05	1.70E+06

Det har også blitt utført studier på støpeområdet på jernsmelteverk. Partiklene består trolig for det meste av jernoksider, da det var oppdaget UFP topper når ovndekelet var tatt av. Studien ble utført med en SMPS (Cheng et al., 2008).





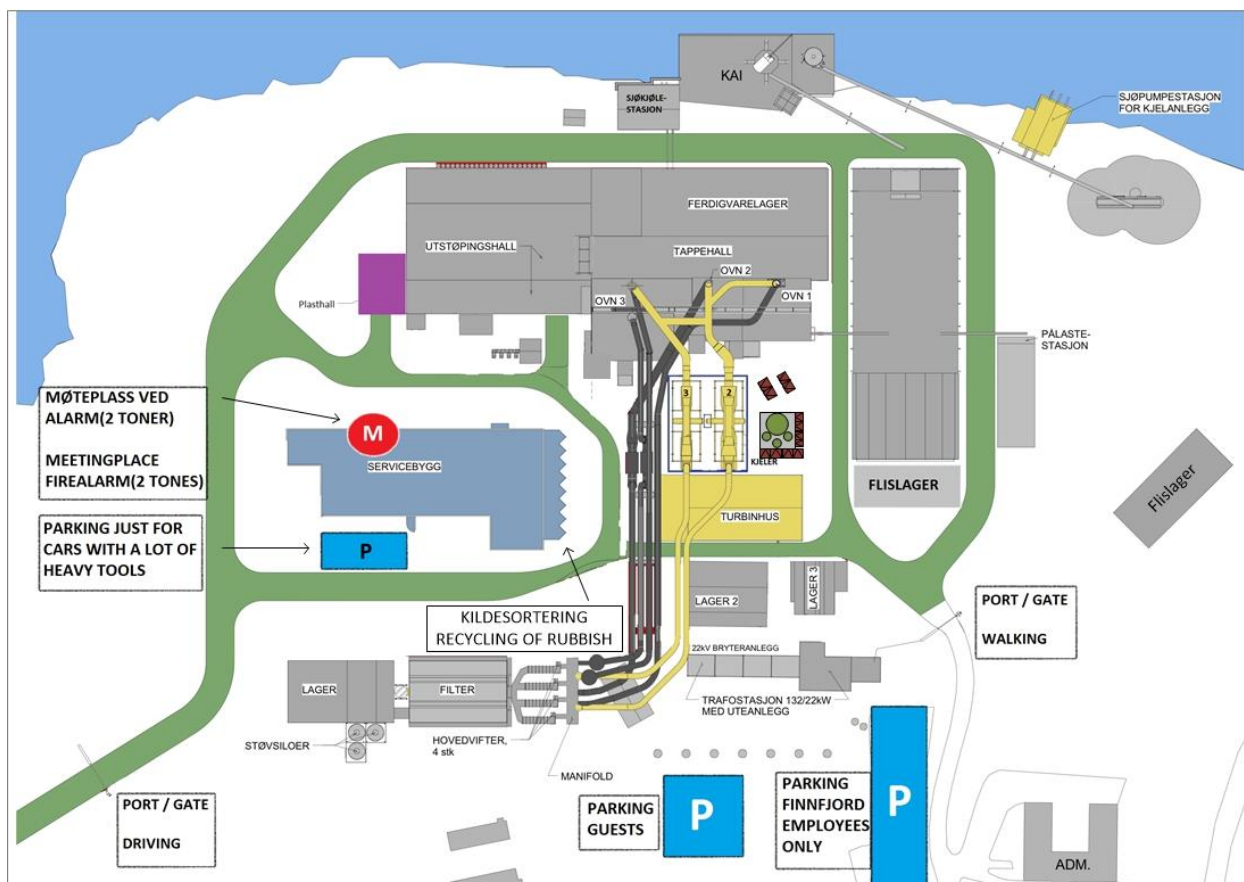
Figur 8 Konsentrasjoner fra jernsmelteverk, med påfølgende overflateareal av partiklene s.129 (Cheng et al., 2008)

Tabell 5 AM, min og maks verdier fra Jernsmelteverk (Cheng et al., 2008)

Aritmetisk middelværdi	Minimumsverdi	Maksimumsverdi
[partikler/cm <sup>3</sup> ]		
7.06E+04	2.07E+04	2.82E+05

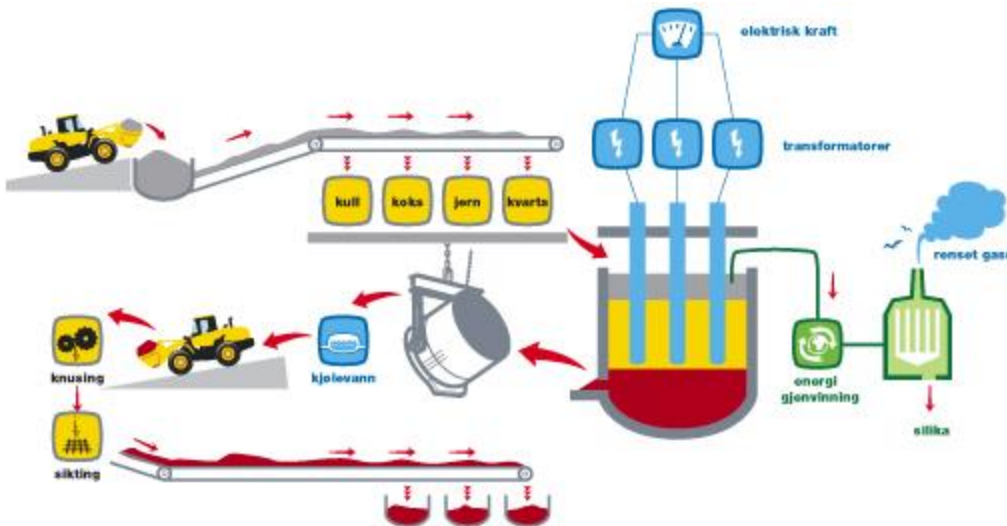
## 3 Metode

### 3.1 Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk



Figur 9 Oversikt over Finnfjord ferrosilisiumsmelteverk

Finnfjord smelteverk er en produsent av ferrosilisium (FeSi) og silika. Smelteverket har en produksjonskapasitet per år på rundt 100 000 tonn FeSi, der kvaliteten er omtrent 75% silisium og 20-24% jern. Anlegget består av følgende områder: Kaiområdet, lager for råvarer, servicebygg med kontorer, turbinhus der strømmen blir laget, renseanlegg for produksjon av silika, ferdigvarelager, og utstøpningshall med tappehall som i realiteten er en stor produksjonshall. Da fokuset i denne oppgaven er på UFP, fokuseres det videre på lokalene som har varmeprosesser. Dette er utstøpningshall og tappehall med tilhørende ovner. For en skjematisk fremstilling av FeSi produksjonen fra råvare til ferdig produkt, se Figur 10.

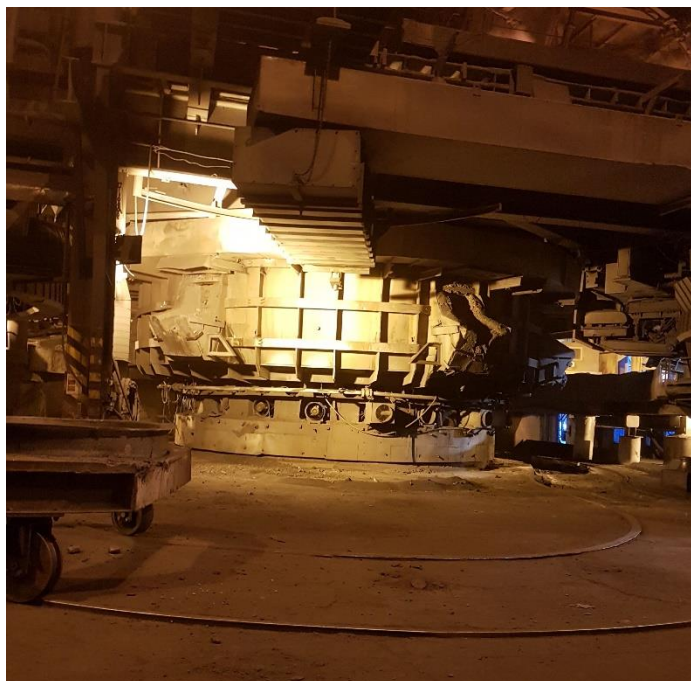


Figur 10 Skjematisk fremstilling av Smelteverket. (Finnfjord)

### 3.1.1 Oppbygging av smelteverket

Tappehallen sammen med utstøpningshallen er helt åpen uten avgrensinger mellom lokalene.

Tappehallen har tre ovner som står på rekke, som vises på Figur 9. Ovnene mates fra toppen. Ovn 2 og 3 mates automatisk med samlebånd, mens ovn 1 mates ved hjelp av en matebil fra ovnsdørken. Ovnene er i ulike størrelser der ovn 1 er minst, 2 er mellomstor og 3 er størst. Langs ovnene er det en kran som går helt fra den innerste ovnen, som er ovn 1, og til utstøpningshallen som er i andre enden av lokalet. På bakkeplan i en sirkel rundt ovnene er det plassert skinner til en lavett som øsen blir satt i under tapping. Øsen er beholderen det flytende ferrosilisiumet tappes i, og har utforming som en stor kopp. Lavetten blir dradd av vaiere som manuelt festes til en vinsj som styres av taperne. Tappedørken befinner seg et plan opp. Dette planet gir tilgang til

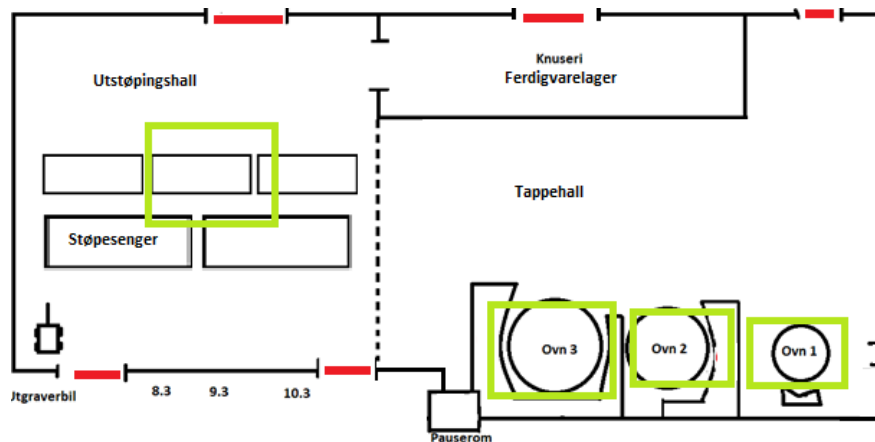


Figur 11 Ovn sett fra bakkeplan med ovnsdørk over, og skinne og lavett for øsen til venstre

pauserommet ved ovn 3 som er avlukket fra resten av smelteverket. Tappedørken gir også adgang til tappehullene til ovnen slik at de er i arbeidshøyde. Oppgaver som å åpne, tette og vedlikehold av tappehullene utføres fra tappedørken. Ett plan opp er plan 3. Her finnes ovnsdørken. Dette er det planet der staking av ovnene og mating av ovn 1 foregår. Her er også pause og kontrollrommet til ovn 1 og 2. På plan 4 er vannkjølingen til ovnen, dampproduserende elementer og hydraulikken til materørene. På plan 5-6 er elektrodetaket og matesiloene til ovnene plassert. Elektrodene til ovnen går opp til dette planet, der ny elektrodemasse blir montert sammen med mantel som blir sveiset på. Denne prosessen er det mekanikerne som gjennomfører.

I utstøpningshallen er det 5 støvsenger hvor ferrosilisiumet støpes ut. Sengene består av FeSi i form av mindre bruddstykker, sand og støv som blir formet av hjullaster til en seng som egner seg for støping. I enden av utstøpningshallen befinner øseverkstedet seg. Her finnes også utgraverbil for fjerne slagg og siste rest fra øsene.

Smelteverket har avtrekk over tappetut på ovn 2 og 3, mens ovn 1 har generelt avtrekk over ovn. Sistnevnte er en eldre løsning som de ansatte på smelteverket beskriver som ikke like effektiv som avtrekk over tut. Det er også avtrekk som tar forbrenningsgasser direkte fra ovnene. Over utstøpningshallen er det en åpning i taket der damp og gass fra utstøpningen kan slippe ut. Denne åpningen går ut til friskluft, har ikke avtrekk og fungerer ved hjelp av skorsteinseffekten. Det er ingen aktiv tilførsel av luft til lokalet, men det er åpne porter på alle sider der luft blir sugd inn på grunn av undertrykk som en konsekvens av avtrekkene og skorsteinseffekten. Se Figur 12 for en modell av lokalet med porter.



Figur 12 Modell av avsug og inntak av luft på smelteverket. Grønn er avsug, mens rød er porter som gir tilførsel av luft

Gassen og støvet som blir dannet i ovnen, og under tapping som blir fanget av ventilasjonen, blir gjenbrukt på tre ulike måter. De varme gassene blir brukt til å drifte en generator for energigjenvinningsanlegget til smelteverket, mens luften blir ført inn i et renseanlegg der «støvet», også kalt mikrosilika, blir filtrert ut og er et sekundærprodukt av produksjonen. Til slutt blir også CO<sub>2</sub> gassene i anlegget brukt til å mate et eksperimentelt algeprosjekt som er tiltenkt som fiskefor.

### 3.1.2 Arbeidsskift og arbeidsoppgaver

På en ukedag er det tre ulike skift, og i helgen to. Hvert skift består av 3 ovnspassere, 4 tappere, en EGV kjører som passer kraftverket og en skiftleder. Det er en ovnspasser per ovn. 2 tappere betjener ovn 1 og 2, mens 2 tappere betjener ovn 3. Skiftene går over tidsrommet (7-15), (15-23), (23-07) fra mandag morgen til fredag morgen. Mens fra fredag morgen til mandag morgen er skiftene (07-19), (19-07). Hver arbeider er på sin stasjon gjennom hele skiftet, men det kan variere fra skift til skift hvilke arbeidsoppgaver arbeideren har. Smelteverket har også andre ansatte. Dette er elektrikere som vedlikeholder det elektriske anlegget og mekanikere, som blant annet sveiser på mantel på elektrodene over ovnene på smelteverket.

Tappingen starter med at lavett med øse blir ført til posisjon under tappehull ved hjelp av vinsj og vaier. Tapping i en øse tar ca 25-45 minutter før øsen er full. Dette er svært avhengig av hvordan driften på ovnen er til enhver tid, og størrelsen på øsen. Avhengig av hvordan forholdene er må tapperen holde tappehullet åpent ved å fjerne metall som samler seg i, og rundt tappehullet. Dette gjøres ved hjelp av brennjern og oksygenlanse. Brennjern er en metallstang på

flere meter som tapperen legger over en spenningsstift. Når tapperen fører brennjernet over denne stiften og inn til ovnen, lukkes kretsen og tapperen brenner da vekk størknet metall som har satt seg rundt tappehullet. Oksygenlanse er et rør som er koblet til O<sub>2</sub>. Tilførselen av O<sub>2</sub> i tappehullet gjør at temperaturen blir svært høy slik at størknet metall smelter, noe som letter tappingen. Denne arbeidsoperasjonen krever at en tapper styrer tilførselen av O<sub>2</sub>, mens den andre brenner vekk metallet. Dette fordi det kan være risikofyllt med tanke på eventuelt hull i slangen, og lekk av oksygen. Både O<sub>2</sub> og brennjern danner gnister, da spesielt førstnevnte skaper mye gnister og synlig gass. Tapperen bruker sveiseskjerm foran ansiktet når vedkommende utfører begge operasjonene.

Ved gode forhold kan tapperen ta pause under selve tappingen og bruker kun 5-10 minutter ved tappetuten for hver øse, og resten av tiden på pauserommet, tappehall og utstøpingshall. Ved dårlige forhold må tapperen jobbe med tappetuten kontinuerlig når det ikke støpes. Ved jobbing med tappetuten er tapperen 2-3 meter unna varmeprosessen, og det kan tydelig observeres støv og gassdannelser. Hver tapper har ansvar for sin øse. Når tapperens øse ikke fylles, men venter på tur, vil vedkommende normalt sitte på pauserommet. Dette er igjen avhengig av driften til enhver tid.

Når øsen er full blir tappetuten enten stengt midlertidig ved hjelp av en sylindrisk tettemasse, kalt svensker, eller det blir tappet sammenhengende ved at en ny lavett med øse blir skudd under tappetut direkte etter den forrige. Ovn 1 tettes mellom hver tapping, mens ovn 2 og 3 under gode forhold tappes uten stans. Når øsen er full kjører tapperen vekk lavett og øse med vaieren, fester kranen til øsen og fører den til støvsengene der det støpes ut. På utstøpingen jobber begge tapperne sammen. Dette er, blant annet, for å kontrollere at støvsengen er uten vann, da vann kan skape eksplosjoner på grunn av omdanning til damp når det helles FeSi over. Tapperen går foran øsen under hele prosessen, og stiller seg ved en av vareportene når metallet helles ut. Når utstøpingen er fullført brukes det en utgraverbil for å få ut rester. Dette er i praksis en liten bil med en lang stang som graver ut slagg fra øsen etter utstøping som er styrt av en av tapperne. Vannspredere blir så skrudd på over det flytende metallet for å kjøle det ned. Spredene skrues automatisk av etter noen få minutter. Øsen fraktes så tilbake i lavett, dras under ovn, og er klar til en ny runde. Raffinering på Finnfjord foregår med metallpellets i bunn av øsen, og ikke blåsing av O<sub>2</sub> for å binde slagg.

Det støpes ut flere ganger i den samme sengen. Når sengen er full brytes metallet opp ved hjelp av en hjullaster som frakter produktet til knuseriet som er på andre siden av veggen i forhold til ovnene.

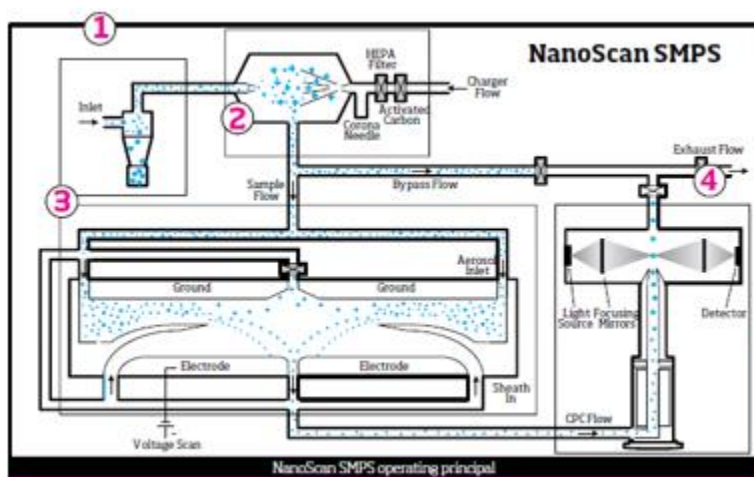
Bytting av tappetut er en prosess som er avhengig av driftsforhold, men blir ofte gjort med 5-6 dagers mellomrom. Når tappetuten byttes må den gamle tuten stenges ved hjelp av en konisk stampemasse i en prosess som kalles stamping. Stamping er en fysisk hard, arbeidskrevende prosess der flere tappere bistår. Det åpnes så en ny tappetut med oksygenlanse og brennjern for å fortsette tappingen.

Arbeidsdagen til en tapper kan deles i følgende operasjoner som vist i Tabell 6.

*Tabell 6 Arbeidsoppgaver til tapperne alle ovner*

<b>Arbeider</b>	<b>Arbeidsoppgave</b>	<b>Beskrivelse</b>
Tapper	Kjøring av øse, arbeid i tappehallområdet	Øsen kjøres mellom ovn og støpehall ved hjelp av takmontert kran. Tapper holder en minimumsavstand på 20m fra øsen under denne prosessen. Øsen plasseres så i lavett som blir dratt i tappeposisjon med vinsj og vaier.
	Arbeid på tappedørk	Under tapping brukes det oksygenlanse og brennjern for å holde tappehullet åpent. Til tider tettes også hullet med svensker.
	Utstøping	Utstøping skjer i støpehall der metallet i øsen støpes ut i støvsenger.
	Pause/kontrollrom	Eget pauserom. Ingen sluse

## 3.2 Målestyr og materiell



Figur 13 NSMPS med prinsipptegning (TSI, 2012).

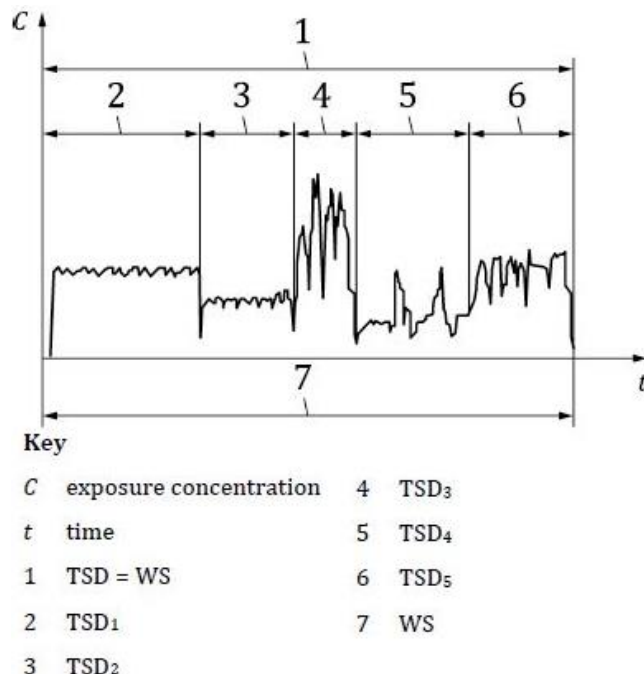
NSMPS er en delvis mobil partikkelteller som deler partikler i 13 ulike fraksjoner fra 10 – 420 nm. Måleren fungerer på følgende måte: Luft trekkes inn i en sykklon, med 50 % «cut off» på omtrentlig 550 nanometer. Partiklene som ikke blir filtrert ut av sykklonen blir påført en elektrisk ladning, for så å føres inn i en komponent som kalles RDMA som bestemmer mobilitetsdiameteren til partikkelen. Partiklene blir så ført videre til en CPC som teller partiklene ved å føre dem gjennom en metning isopropanol som blåser partiklene opp til en størrelse slik at de kan detekteres ved hjelp av laser. NSMPS trenger påfyll av isopropanol for funksjonen av CPC, og kan ha en ekstern beholder om målingen skal foregå over lengre tid. Den har en batteritid på 6 timer, men kan også kobles til ekstern strøm. Måleren har et konsentrasjonsspektrum på 1 000 000 partikler/cm<sup>3</sup> (TSI, 2012).

For å supplere NSMPS har det også blitt tatt i bruk en hette for å beskytte måleren mot gnister og varmestråling og en 10 cm lang silikonslange for å sikre fri vei for innsuget av luft forbi hetten. Silikonslangen kan ha innvirkning på deponering av partikler, men grunnet den korte lengden er det antatt at denne er minimal (Tsai, 2015). For å sikre at flow er stabil har det i tillegg til å kontrollere NSMPS sine interne sensorer, blitt tatt i bruk et digitalt flowmeter som måler flow ved innsuget til NSMPS.



### 3.3 Målestrategi

Da arbeiderne på et smelteverk utsettes for varierende konsentrasjoner, avhengig av arbeidsoppgaver og andre faktorer med arbeidsplassen brukes NS-EN 689:2018 (Standard Norge, 2018) sin anbefalte metode i å enten ta måling sammenhengende hele dagen (TSD=WS), eller måling av hver arbeidsoperasjon som utføres, TSDx, se Figur 14. Da utstyret ikke egner seg for målinger av personbåren heldagseksposering, er måling av spesifikk arbeidsoperasjon den valgte metoden. For å beregne eksponeringen settes enkeltoppgavene sammen til den totale eksponeringen over hele skiftet, se formel 2.



Figur 14 Flere eksponeringsscenarioer for en spesifikk kjemisk agens (Standard Norge, 2018).

$$Eksponering = \frac{C_1T_1 + C_2T_2 + \dots + C_iT_i}{8h} \quad (2)$$

Denne metoden kombineres med prinsipper for «stasjonære målinger» da utstyret vil følge de ansatte, men være plassert så nært arbeidsoperasjon som overhodet mulig. Ifølge arbeidstilsynet må stasjonære målinger være plassert nær eksponeringskilden for å kunne brukes som grunnlag for å vurdere eksponeringen til de ansatte. Da det ønskes å måle eksponeringen til tapperne ble arbeidsdagen delt opp i 4 ulike stasjoner, se Tabell 7. Stasjonene deles opp i to ulike klassifiseringer basert på om tapperens oppgaver er det som skaper UFP eksponeringen, eller om den er et produkt av oppgaver utført andre steder. Er det tapperens oppgaver som skaper eksponeringen vil det tas oppholdstidsmålinger der konsentrasjonen trekkes ut fra de tidspunktene tapperen er på stasjonen. Er konsentrasjonen ikke et produkt av aktiviteten til tapperen, vil måleren logge kontinuerlig.

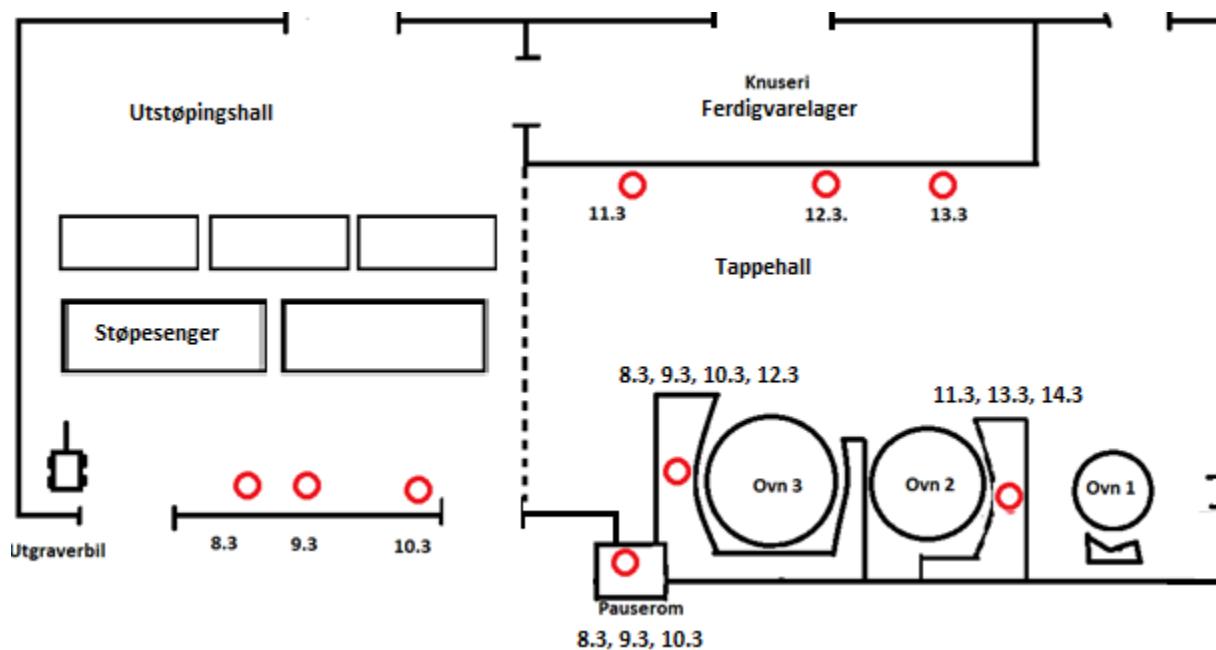
Tabell 7 Stasjonene til tapperne med beskrivelser.

Arbeidsoppgave	Beskrivelse	Oppholdstidsmåling/Kontinuerlig måling
Arbeid i tappehallområdet	Dra øse med vaier eller kran	Kontinuerlig måling
Arbeid på tappedørk	Brennjern/oksygen, rydding, tetting og åpning av tappetut	Oppholdstidsmåling
Utstøping	Tømme øsen, utgraverbil	Oppholdstidsmåling
Pause/kontrollrom	Pause/føre skjema, spise mat	Kontinuerlig måling

### 3.4 Plassering av måleutstyr

En rekke momenter er tatt hensyn til ved plassering av måleutstyret. Målerne må ikke komme i veien for arbeidet. Dette kan være både en risikofaktor for utføring av arbeidet, men også skape uregelmessigheter under utføringen av arbeidet som gjør målingene mindre nøyaktig. Optimal driftstemperaturen til NSMPS er mellom 10 og 35 grader. I et smelteverk er det risiko for både for lave og for høye temperaturer på vinteren når målingene utføres.

Plasseringene er valgt slik at for hver arbeidsoppgave tapperne utfører, vil de stå nær en måler. De røde rundingene på Figur 15 viser plasseringene av målerne og dato hver måling ble tatt.



Figur 15 Plassering av måleutstyr med dato.

Da tappetutene på ovn 2 og 3 roterer mellom hver dag måtte målerne plasseres på ulike steder de fleste dager. Stedene ble valgt for å komme så nært arbeidsposisjon som mulig, samtidig som

måleren ikke blir skadet av temperatur og gnister, eller kommer i veien for arbeidet. Dette gjør at måleren ble plassert 2-3 meter unna selve arbeidsoperasjonen, hevet litt under en meter over bakken. På pauserommet ble måleren plassert innerst i rommet, på en stol. Posisjonen var rundt en meter fra posisjonene tapperne har når de tar pause. Måleren ble plassert det samme stedet hver gang, uten uregelmessigheter. De tre stedene som er valgt i tappehallen er valgt på grunnlag av å se variasjoner langs ovnene, for å få et snitt av eksponeringen ved arbeid i tappehall. Målerne står ved veggen til knuseriet, der vinsjene til øsene er plassert. Ved transport til utstøping beveger tapperen seg langs målerne. De tre stedene som er valgt fra støpehallen er stedene tapperne ofte plasserer seg ved utførelse av utstøpingen. Posisjonen forskyves litt mellom hver dag for å se variasjoner i avstand. For eksempler på måleplassering se Figur 16 og Figur 17.



**Tappedørk  
Ovn 3  
9.3.19**



**Tappedørk  
Ovn 3  
12.3.19**



**Tappedørk  
Ovn 2  
12.3.19**

*Figur 16 Plassering av målere på tappedørk ovn 3 og 2.*



**Pauserom  
10.3.19**



**Tappeshall  
12.3.19**



**Støpehall  
9.3.19**

*Figur 17 Plassering av måler pauserom, tappeshall og støpehall.*

### 3.5 Gjennomføring av målinger

Prøvetakingen ble utført slik at to ulike steder ble målt samtidig med hver sin NSMPS måler. Målingene er tatt i samarbeid med målinger for respirabel fraksjon (Grove, 2019). Disse utføres med IOM kassett, pumpe og syklon, og er festet på NSMPS ved hjelp av tape. For å unngå tett pumpe ble filteret for de respirable målingene skiftet ut til lunsj. Dette gjorde at alt utstyret måtte tas ut fra prøvelokalene, og målingene ble avbrutt i rundt en time mellom 11:00 – 12:00 hver dag. Det ble forsøkt å starte målingene ved dagskiftets start, og avslutte ved skiftets slutt, men på grunn av praktiske årsaker ble målingene ofte startet en time etter skiftets start. På skiftene som varte i 12 timer varte målingene i 8 timer på stasjon i smelteverket, for så å ta målingene på pauserommet i de resterende 4 timene. Dette ble gjort da pauserommet har stikkontakt, og batteritiden er derfor ikke en begrensning.

Før hver måling ble flow kontrollert til å være mellom 0.6 – 0.9 l/s ved hjelp av digitalt flowmeter. NSMPS status ble kontrollert gjennom diagnostics funksjonen til apparatet. Denne funksjonen informerer blant annet om temperatur, flow, og eventuelle feilmeldinger. HEPA måling ble utført for å sikre at måleren viser nullverdi ved ingen konsentrasjon. Måleren ble skrudd på i kontrollerte omgivelser for senere å bli plassert ved lokasjon for utførelse av målinger. Ved målingens slutt lades måleren, veken blir satt i isopropanol, og sykklonen blåses ren med trykkluft. Syklonen ble også vasket i henhold til instruks i manualen med såpevann og isopropanol når flow ble mindre enn 0.6 eller mer enn 0.9, eller når HEPA måling viste høye verdier. En ~10cm lang gummislange var festet til sykklonen som ble blåst ren ved slutt av hver måling.

Tapperne ble observert gjennom hele skiftet, og aktiviteten logget. Når tapperen beveget seg på tappedørk eller utstøpningshall ble det nøyaktige tidspunktet logget, slik at ved dataanalysen kan disse tidspunktene trekkes ut for å beregne eksponeringen. Målerne var på hele tiden, og logget eksponering også når tapperne ikke var på de aktuelle stasjonene.

### 3.6 Dataanalyse

Resultatene fra målerne ble overført til Excel for analyse. Det ble eksportert to ulike filer, en som viser konsentrasjonen av partikler (dN), og en som viser den normaliserte konsentrasjonen (dN/dlogDp). Sistnevnte er for å kunne sammenligne resultatene på tvers av instrument som har ulik oppdeling i fraksjoner. Dette ble brukt for å lage 3d-modeller i Sigmaplot.

For tappedorrk ovn 2 og ovn 3, og utstøping er det to ulike datasett: Kontinuerlig måling og oppholdstidsmåling. Ved oppholdstidsmålingen ble tidspunktene tapperne ikke var ved stasjon eliminert slik at det er mulighet for å trekke ut data som kun viser konsentrasjon når tapperen er eksponert. Av denne dataen ble det regnet ut aritmetisk middelværdi (AM), geometrisk middelværdi (GM) standardavvik (SD), geometrisk standardavvik (GSD), median, min, maks, Q1 og Q3 verdi. Det samme ble gjort ved de kontinuerlige målingene uavhengig om vedkommende var på stasjon eller ikke. For tappehall og pauserom, er det kun brukt verdier for kontinuerlige målinger og de samme utregningene er gjort.

For å regne ut eksponeringen brukes Formel 2, for så å bruke resultatet i Formel 1 for å kontrollere mot NRV. For utregninger av NRV for 12 timers skift brukes det to ulike metoder: OSHA modellen se Formel 4, og Brief & scala modellen se Formel 3. Sistnevnte er mer konservativ og tar hensyn til både lengre arbeidsdag og kortere hviletid ved utregning av ny NRV. Det er ikke tatt nok målinger til å utføre tester for å påvise normalfordeling, eller lognormalfordelte data. For å regne eksponeringen tas det derfor utgangspunkt i aritmetisk middelværdi, da denne vil gi det mest riktige bilde av dosen som tapperne utsettes for.

Arbeidstidene i hver operasjon er tatt fra observasjon under målingene. Det ble regnet ut tid per arbeidsoperasjon per dag, og snittet fra alle dagene er brukt for å tilnærme seg en gjennomsnittlig arbeidsdag for tapperne.

## 4 Resultater

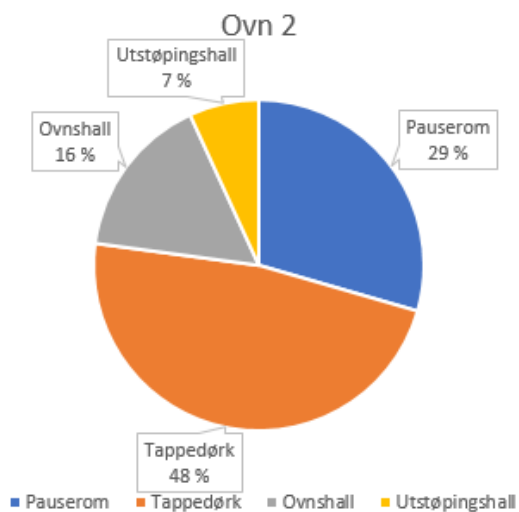
Totalt ble 16 stasjonære målinger tatt av tapperne. Det ble tatt 3 målinger på tappedørk ovn 2, utstøping, tappehall, og 4 målinger på tappedørk ovn 3. Alle målingene blir vist som boxplot med påfølgende min, maks, median Q1, og Q3 verdier. Målingene beskrives også med aritmetisk og geometrisk middelværdi med påfølgende standardavvik og geometrisk standardavvik. Det presenteres også på hver stasjon den aritmetiske middelværdien av alle målingene tatt på den aktuelle stasjonen, og eksponeringen som er beregnet av disse. Til slutt vises også 3d modeller basert på den normaliserte konsentrasjonen for å identifisere eksponeringskilder.

Konsentrasjonen varierer i stor grad for de ulike stasjonene. 8. mars skiller seg ut ved at det er her det måles de høyeste verdiene både på utstøping og på pauserommet. Mens 11. mars måles de høyeste verdiene både på tappedørk ovn 2 og tappehall. Dette kan tyde på at UFP emisjonen brer seg over hele lokalet, og konsentrasjonen på en stasjon er svært avhengig av omkringliggende prosesser. Oppholdstidsmålingene var nesten alltid høyere enn kontinuerlige målinger. Unntakene er når store eksponeringstopper oppstår ved tidspunkter måleren ikke logger under oppholdstidsmålingen.

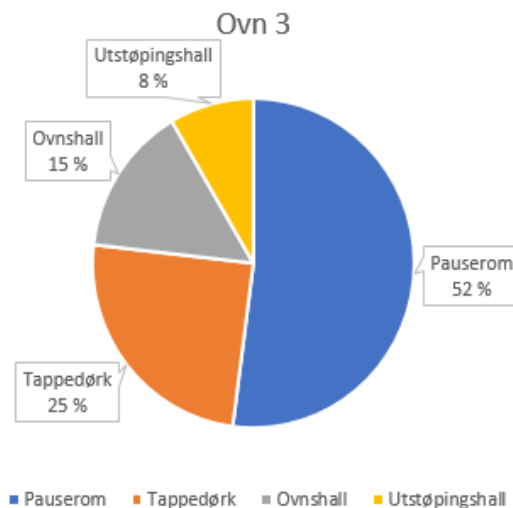
### 4.1 Logging av tidspunkter og arbeidstid

Tidspunktene som er lagt til grunn for å beregne tidsbruk på de ulike arbeidsstasjonene er tatt fra observasjoner på 5 ulike dager for ovn 3, og 4 ulike dager for ovn 2. Tapperne som er stasjonert på ovn 2 bruker mer tid på tappedørk enn tapperne på ovn 3. Dette fører til tilsvarende mindre tid på pauserommet, der UFP konsentrasjonen er relativt lav. Tiden brukt på utstøpingshall og tappehall er svært lik for begge gruppene. Merk at tiden hver tapper bruker på stasjonene er svært avhengig av individuelle forskjeller mellom tappere og den aktuelle driften til enhver tid. Tiden kan dermed forandre seg betydelig fra dag til dag. For andelen av dagen tapperne har brukt på hver arbeidsstasjon se Figur 19 for ovn 2 og Figur 18 for ovn 3.





Figur 19 Tid brukt per arbeidstasjon ovn 2.

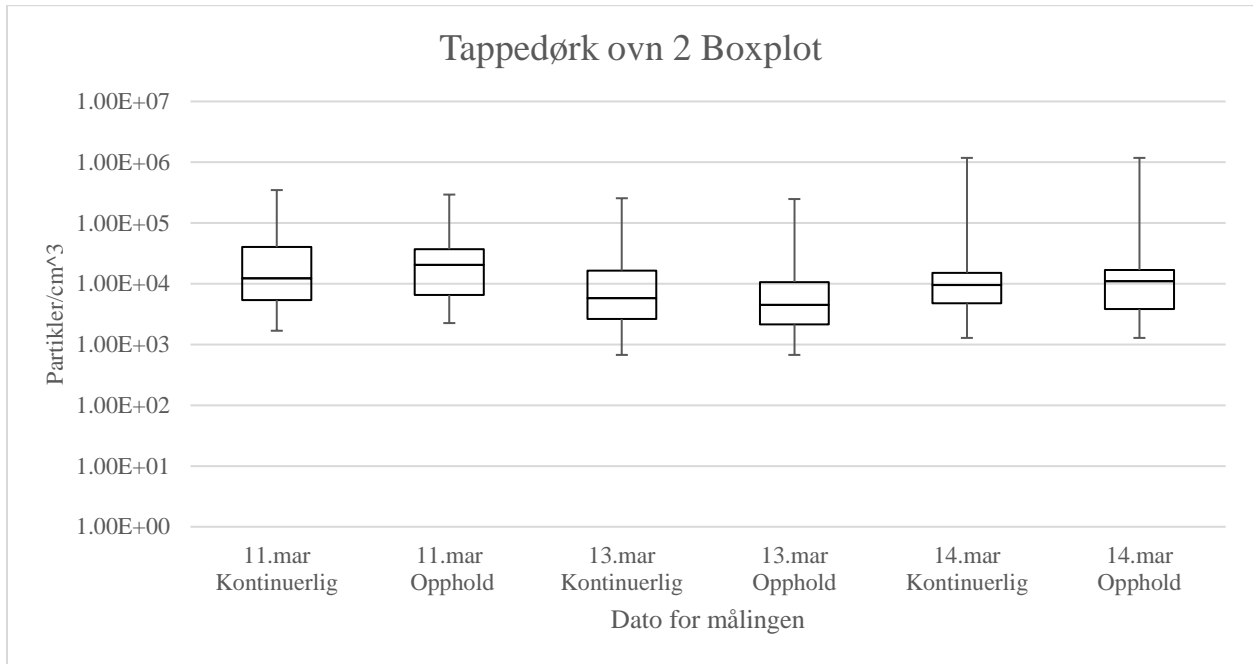


Figur 18 Tid brukt per arbeidstasjon ovn 3.

## 4.2 Resultater per stasjon

Den høyeste konsentrasjonen er på utstøping med AM på  $6.58 \times 10^4$  partikler/cm<sup>3</sup> for oppholdstidsmåling. Den laveste er som forventet på pauserommet med AM på  $2,38 \times 10^3$  partikler/cm<sup>3</sup>. De høyeste toppverdiene finnes på utstøping 8. mars,  $1,08 \times 10^6$  partikler/cm<sup>3</sup>. Denne verdien ble registrert både på de kontinuerlige- og oppholdstidsmålingene. Dette er tett opp mot maksverdien Nanoscan kan registrere, og det kan ikke utelukkes at de reelle verdiene er høyere.

## 4.2.1 Tappedørk ovn 2



Figur 20 Boxplot av målingene tatt på tappedørk ovn 2.

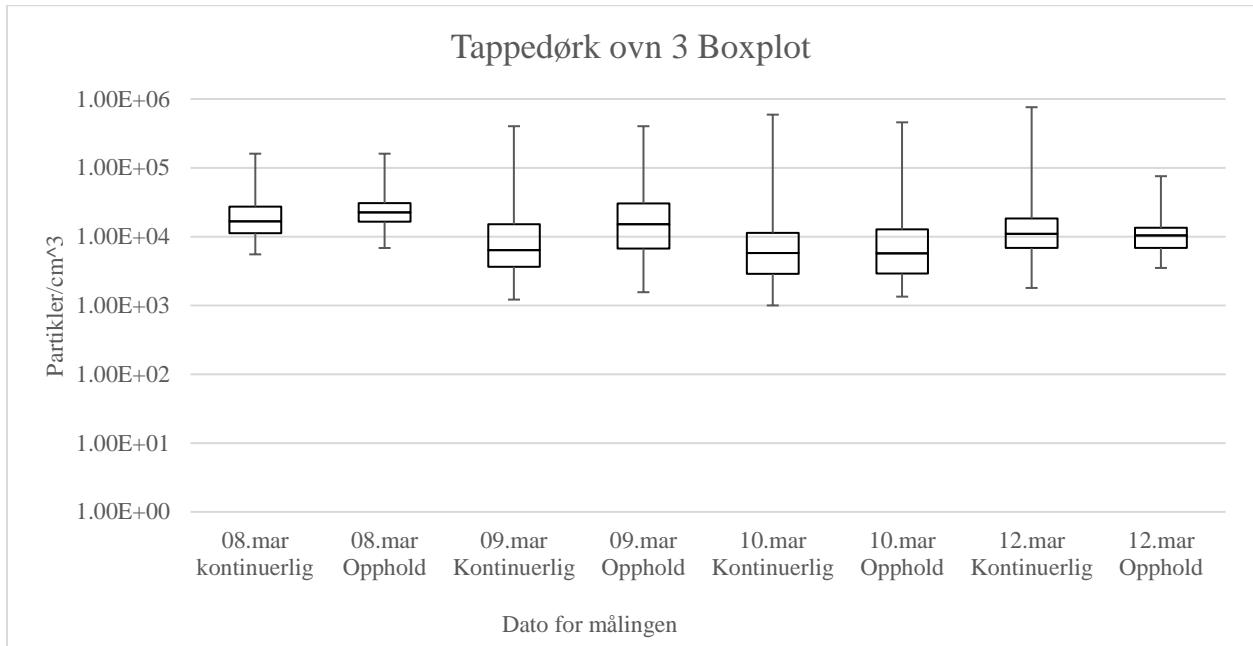
Tabell 8 Resultater alle målinger tappedørk ovn 2. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen

Kontinuerlig måling tappedørk ovn 2										
	AM	GM	SD	GSD	Min	Maks	Median	Q1	Q3	n
Partikler/cm <sup>3</sup>			Partikler/cm <sup>3</sup>							
11.mar	3,38E+04	1,54E+04	5,06E+04	3,4	1,68E+03	3,48E+05	1,22E+04	5,38E+03	4,01E+04	306
13.mar	2,27E+04	7,40E+03	4,28E+04	4,1	6,74E+02	2,55E+05	5,77E+03	2,63E+03	1,65E+04	402
14.mar	1,74E+04	8,92E+03	6,95E+04	2,5	1,28E+03	1,18E+06	9,47E+03	4,75E+03	1,52E+04	379
AM	2,46E+04									
Oppholdstidsmåling tappedørk ovn 2										
11.mar	3,52E+04	1,82E+04	4,83E+04	3,1	2,25E+03	2,93E+05	2,04E+04	6,54E+03	3,70E+04	147
13.mar	1,86E+04	5,76E+03	3,80E+04	4,1	6,74E+02	2,48E+05	4,51E+03	2,14E+03	1,07E+04	174
14.mar	2,23E+04	8,88E+03	9,46E+04	2,9	1,28E+03	1,18E+06	1,09E+04	3,83E+03	1,67E+04	199
AM	2,54E+04									

Den 11. mars vises det nesten dobbelt så høye verdier av UFP som 14. mars uten åpenbar årsak.

Ved de kontinuerlige målingene er ikke variasjonen fullt så stor, men fortsatt betydelig. Det aritmetiske snittet for de kontinuerlige målingene er lavere enn det aritmetiske snittet for oppholdstidsmålingene for tappedørk ovn 2. De kontinuerlige målingene tatt 11. og 14. mars ligger under oppholdstidsmålingen, mens 13. mars ligger over. Min og maks verdier er de samme på både kontinuerlige- og oppholdstidsmålinger, bortsett fra 11. mars, der oppholdstidsmålingen ikke registrerer minimumsverdien.

## 4.2.2 Tappedørk ovn 3



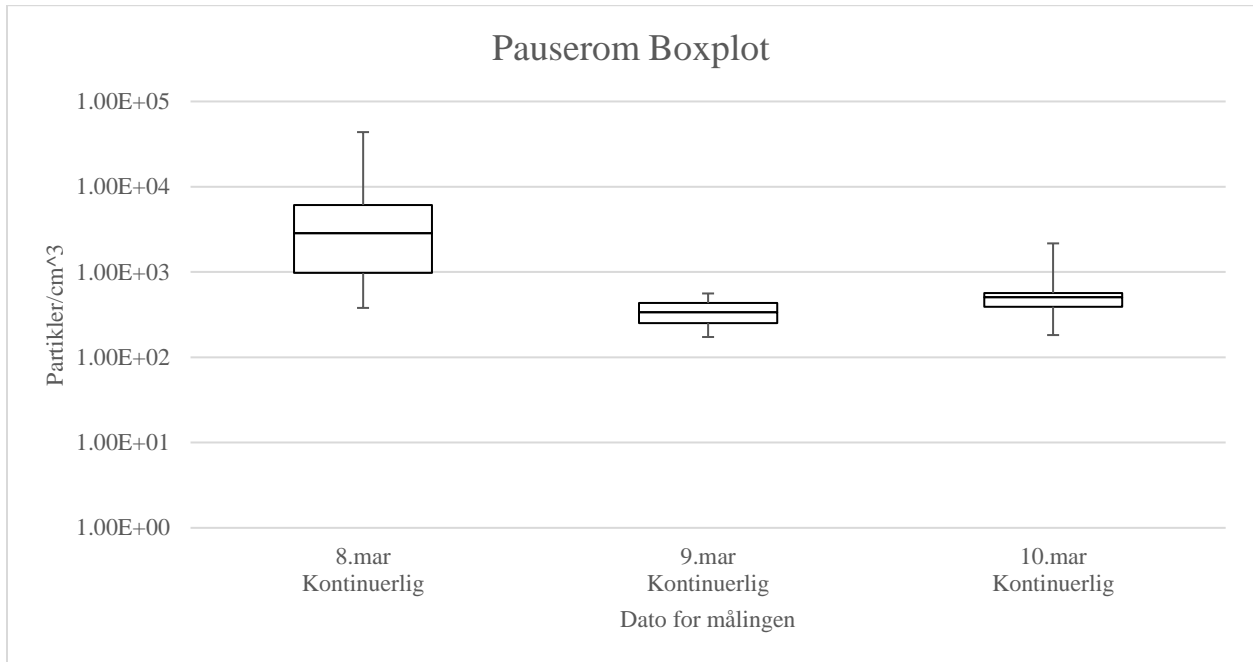
Figur 21 Boxplot av målingene tatt på tappedørk ovn 3.

Tabell 9 Resultater alle målinger tappedørk ovn 3. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen

Kontinuerlig måling tappedørk ovn 3										
	AM	GM	SD	GSD	Min	Maks	Median	Q1	Q3	n
Partikler/cm <sup>3</sup>			Partikler/cm <sup>3</sup>							
08.mar	2,33E+04	1,82E+04	2,14E+04	1,9	5,52E+03	1,60E+05	1,66E+04	1,12E+04	2,74E+04	174
09.mar	1,47E+04	7,85E+03	2,93E+04	2,7	1,22E+03	4,02E+05	6,34E+03	3,65E+03	1,51E+04	470
10.mar	1,60E+04	6,32E+03	5,51E+04	2,9	1,00E+03	5,93E+05	5,74E+03	2,86E+03	1,14E+04	349
12.mar	2,44E+04	1,23E+04	6,66E+04	2,4	1,79E+03	7,60E+05	1,10E+04	6,83E+03	1,83E+04	390
AM	1,96E+04									
Oppholdstidsmåling tappedørk ovn 3										
08.mar	2,84E+04	2,31E+04	2,55E+04	1,8	6,84E+03	1,60E+05	2,25E+04	1,65E+04	3,06E+04	65
09.mar	2,96E+04	1,51E+04	5,35E+04	3,0	1,56E+03	4,02E+05	1,51E+04	6,72E+03	3,04E+04	107
10.mar	1,53E+04	6,75E+03	4,32E+04	2,9	1,34E+03	4,58E+05	5,74E+03	2,91E+03	1,27E+04	168
12.mar	1,27E+04	1,03E+04	1,03E+04	1,8	3,51E+03	7,56E+04	1,04E+04	6,84E+03	1,34E+04	135
AM	2,15E+04									

De kontinuerlige målingene tatt 8. og 9. mars ligger under tilsvarende oppholdstidsmålinger, mens 10. og 12. mars ligger de kontinuerlige målingene over oppholdstidsmålingene. Både 10. og 12. mars har de kontinuerlige målingene registrert maksverdier som oppholdstidsmålingene ikke har registrert. Det tyder på at oppholdstidsmålingen blir lavere hovedsakelig da den ikke får med uforutsigbare toppe i konsentrasjonen, da disse kan ha betydelig uttelling på det aritmetiske snittet.

### 4.2.3 Pauserom



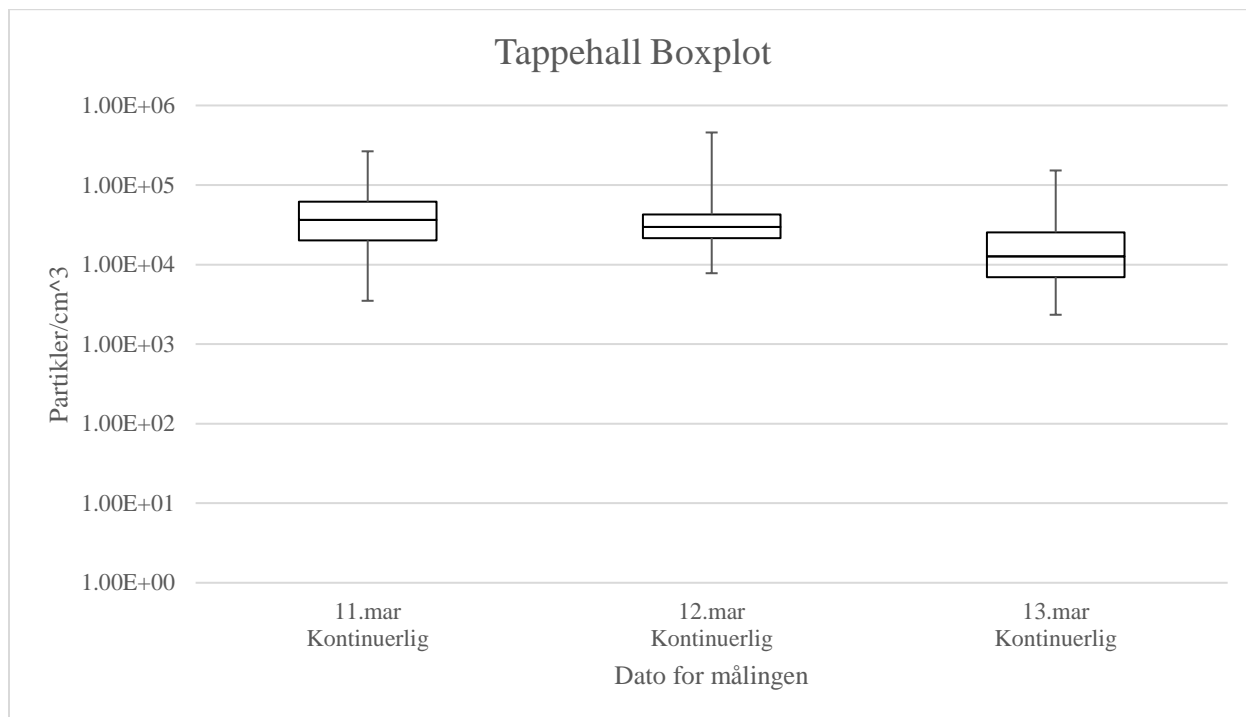
Figur 22 Boxplot av målingene tatt på pauserom.

Tabell 10 Resultater alle målinger pauserom. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen

Kontinuerlig måling Pauserom										
	AM	GM	SD	GSD	Min	Maks	Median	Q1	Q3	n
Partikler/cm <sup>3</sup>			Partikler/cm <sup>3</sup>							
08.mar	6,28E+03	2,97E+03	8,70E+03	3,4	3,79E+02	4,37E+04	2,86E+03	9,75E+02	6,10E+03	377
09.mar	3,43E+02	3,28E+02	1,02E+02	1,4	1,73E+02	5,61E+02	3,36E+02	2,52E+02	4,33E+02	163
10.mar	5,08E+02	4,77E+02	2,12E+02	1,4	1,82E+02	2,17E+03	5,07E+02	3,92E+02	5,65E+02	169
AM	2,38E+03									

Konsentrasjonene er som ventet lave på pauserommet. Unntaket er 8. mars da det ble målt et svært stort utslag av UFP, som ble gradvis redusert over flere timer. Årsaken til dette er ukjent, men er mistenkt å være emisjoner fra utstøping eller tapping fra ovn 3. Dette kan ses som 3d modell i Figur 27. Merk at pauserom for tapperne på ovn 1 og 2 ikke er det samme rommet. Det har ikke blitt tatt målinger av pauserom tilhørende ovn 2, men det er antatt at UFP konsentrasjonene er det samme som på ovn 3.

## 4.2.4 Tappehall



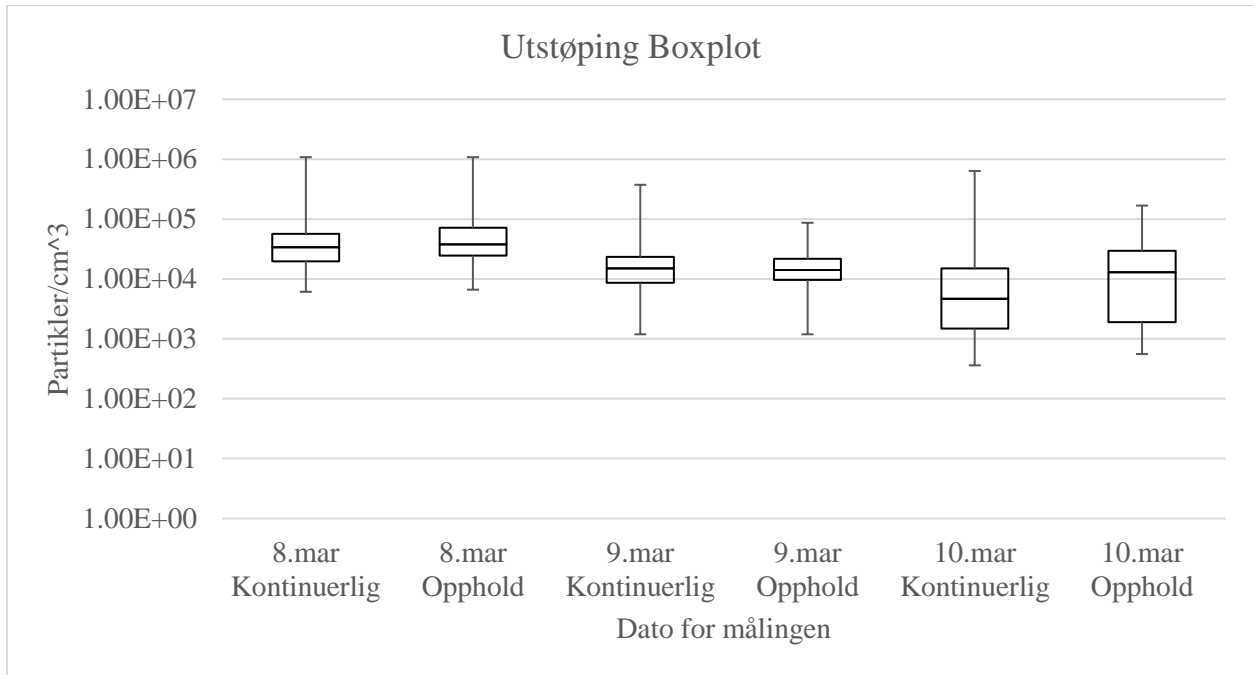
Figur 23 Boxplot av målinger tatt i tappehall

Tabell 11 Resultater alle målinger tappehall. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen

Kontinuerlig måling tappehall										
	AM	GM	SD	GSD	Min	Maks	Median	Q1	Q3	n
Partikler/cm <sup>3</sup>			Partikler/cm <sup>3</sup>							
11.mar	4,50E+04	3,43E+04	3,42E+04	2,2	3,50E+03	2,65E+05	3,64E+04	2,02E+04	6,16E+04	426
12.mar	3,70E+04	3,07E+04	3,13E+04	1,8	7,78E+03	4,58E+05	2,97E+04	2,16E+04	4,28E+04	403
13.mar	2,35E+04	1,44E+04	2,70E+04	2,6	2,34E+03	1,52E+05	1,26E+04	6,95E+03	2,55E+04	417
AM	3,52E+04									

Tappehall har relativt høye verdier av UFP på målingene. Det er her de største konsentrasjonene i smelteverket er. 11. mars er det målt dobbelt så høye verdier av UFP som 13. mars. At det måles uvanlig høye verdier både på tapperdørk oven 2, og på tappehall kan tyde på at de høye verdiene kan skyldes dårlig ventilasjon eller andre ytre faktorer.

## 4.2.5 Utstøping



Figur 24 Boxplot av målinger tatt på utstøping.

Tabell 12 Resultater alle målinger utstøping. n er antall måleintervaller for den gjeldende målingen

Kontinuerlig måling utstøping										
	AM	GM	SD	GSD	Min	Maks	Median	Q1	Q3	n
Partikler/cm <sup>3</sup>				Partikler/cm <sup>3</sup>						
08.mar	5,13E+04	3,51E+04	7,49E+04	2,2	6,09E+03	1,08E+06	3,38E+04	1,98E+04	5,66E+04	384
09.mar	2,29E+04	1,43E+04	3,68E+04	2,4	1,19E+03	3,73E+05	1,50E+04	8,60E+03	2,34E+04	451
10.mar	1,22E+04	4,76E+03	3,25E+04	4,0	3,61E+02	6,35E+05	4,64E+03	1,48E+03	1,50E+04	470
AM	2,88E+04									
Oppholdstidsmåling utstøping										
08.mar	6,58E+04	4,25E+04	1,05E+05	2,3	6,61E+03	1,08E+06	3,78E+04	2,45E+04	7,14E+04	156
09.mar	1,85E+04	1,40E+04	1,53E+04	2,2	1,19E+03	8,66E+04	1,41E+04	9,62E+03	2,16E+04	96
10.mar	2,01E+04	8,84E+03	2,37E+04	4,5	5,57E+02	1,68E+05	1,29E+04	1,89E+03	2,94E+04	102
AM	3,48E+04									

For de kontinuerlige målingene er konsentrasjonen 8. og 10. mars under tilsvarende oppholdstidsmåling, mens 9. mars er oppholdstidsmålingen under de kontinuerlige målingene. 8. mars har mye høyere verdier enn resten av dagene. Dette gjelder både for kontinuerlig og oppholdstidsmåling.

### 4.3 Eksponering

Eksponeringen til tapperne er utregnet ved bruk av tidsestimeringen vist i Figur 18 og Figur 19. Konsentrasjonene for utregningene er hentet fra oppholdstidsmålinger på tappedørk ovn 2 (Tabell 8), tappedørk ovn 3 (Tabell 9), utstøping (Tabell 12) og kontinuerlige målinger fra pauserom (Tabell 10) og tappehall (Tabell 11).

For tapperne på ovn 3 er eksponeringen for et 8 timers skift  $1,47E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>. For tapperne på ovn 2 er eksponeringen for et 8 timers skift  $2,08E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>. Eksponeringen er høyere for tapperne som arbeider på ovn 2 enn ovn 3. Mye av årsaken her ligger i at tapperne på ovn 2 har blitt observert å bruke mer tid på tappedørk enn tapperne på ovn 3, og at tappedørk ovn 2 har høyere konsentrasjoner i snitt enn tappedørk ovn 3.

For å sammenligne eksponeringen mot NRV er det beregnet en andel. Om denne overstiger 1 er eksponeringen over referanseverdien. For å ta hensyn til 12 timers skift er NRV omregnet ved bruk av OSHA- og Brief & Scala metoden.

Ved sammenlikning med NRV for tapperne på ovn 3, er de under NRV for et 8 timers arbeidsskift med en andel på 0,37. For 12 timers arbeidsskift er andelen 0,55 (OSHA), og 0,73 (Brief & Scala). Ved sammenlikning med NRV for tapperne på ovn 2, er de under NRV for et 8 timers arbeidsskift med en andel på 0,52. For 12 timers arbeidsskift er andelen 0,78 (OSHA), og overstiger NRV med en andel på 1,04 (Brief & Scala).

Tabell 13 Eksponering for tapperne på ovn 2 og 3..

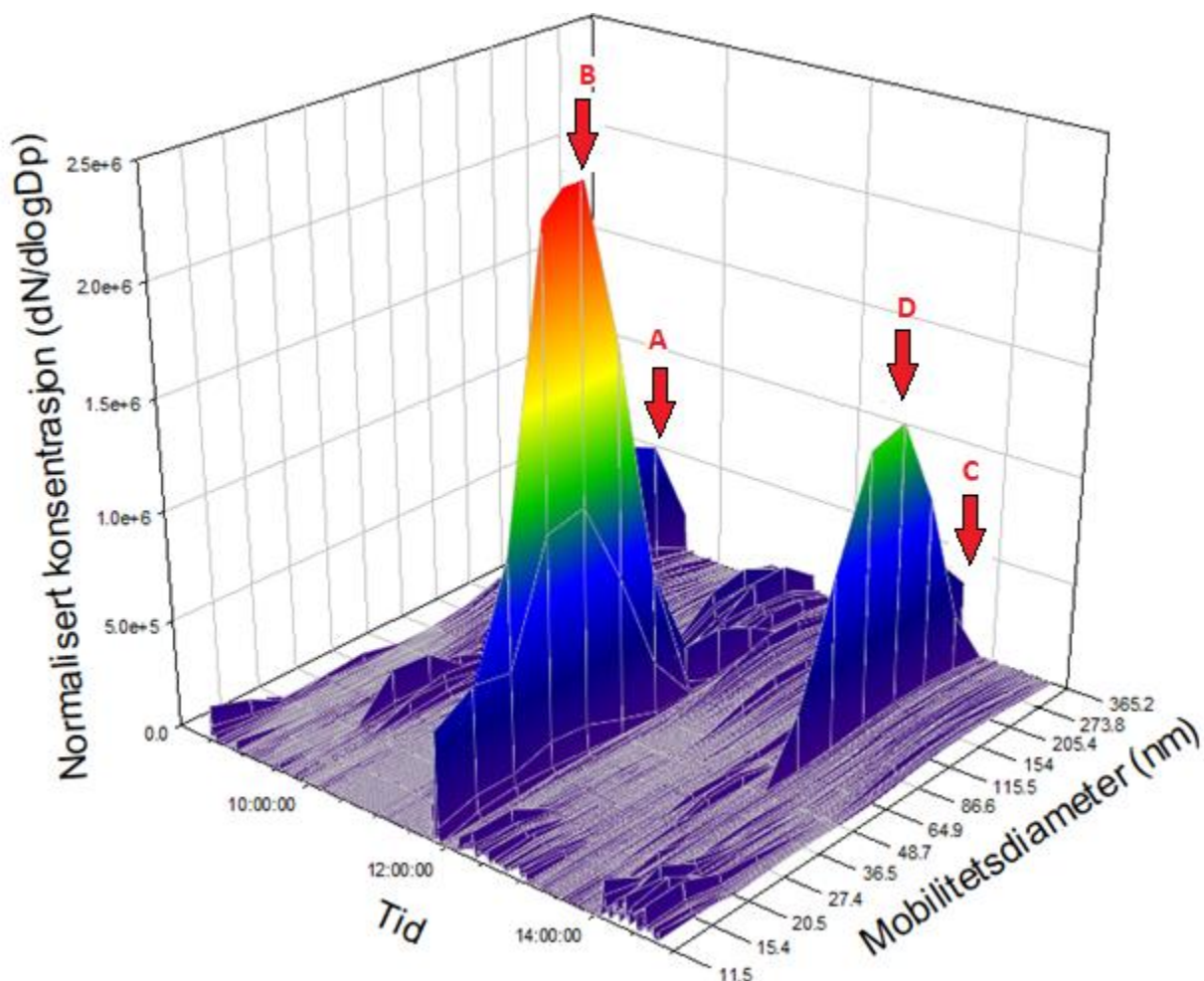
Arbeidsgruppe	Eksponering 8t	Andel av NRV 40 000 8t	Andel av NRV 26 666 12t NIOSH modell	Andel av NRV 20 000 12t Brief & Scala
	partikler/cm <sup>3</sup>			
Tapper ovn 3	1,47E+04	0,37	0,55	0,73
Tapper ovn 2	2,08E+04	0,52	0,78	1,04

Ved å bruke konsentrasjonene fra de kontinuerlige målingene på alle stasjoner med de samme tidsestimatene som over, blir eksponeringsestimatet svært likt. Eksponeringsestimatet for kontinuerlige målinger over et 8 timers skift for tapperne på ovn 3 er  $1,37E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>, med en andel av NRV på 0,34. For tapperne på ovn 2 er eksponeringsestimatet  $2,01E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>, med en andel av NRV på 0,5. Dette er små forskjeller i forhold til eksponeringen som er estimert ved hjelp av oppholdstidsmålinger.

## 4.4 Identifisering av eksponeringskilder

For å identifisere eksponeringskilder tas det i bruk 3d modeller med normalisert konsentrasjon. Figurene er valgt etter interessante funn. De som ikke er nevnt i dette kapittelet er lagt ved som vedlegg.

### 4.4.1 Tappedørk ovn 2



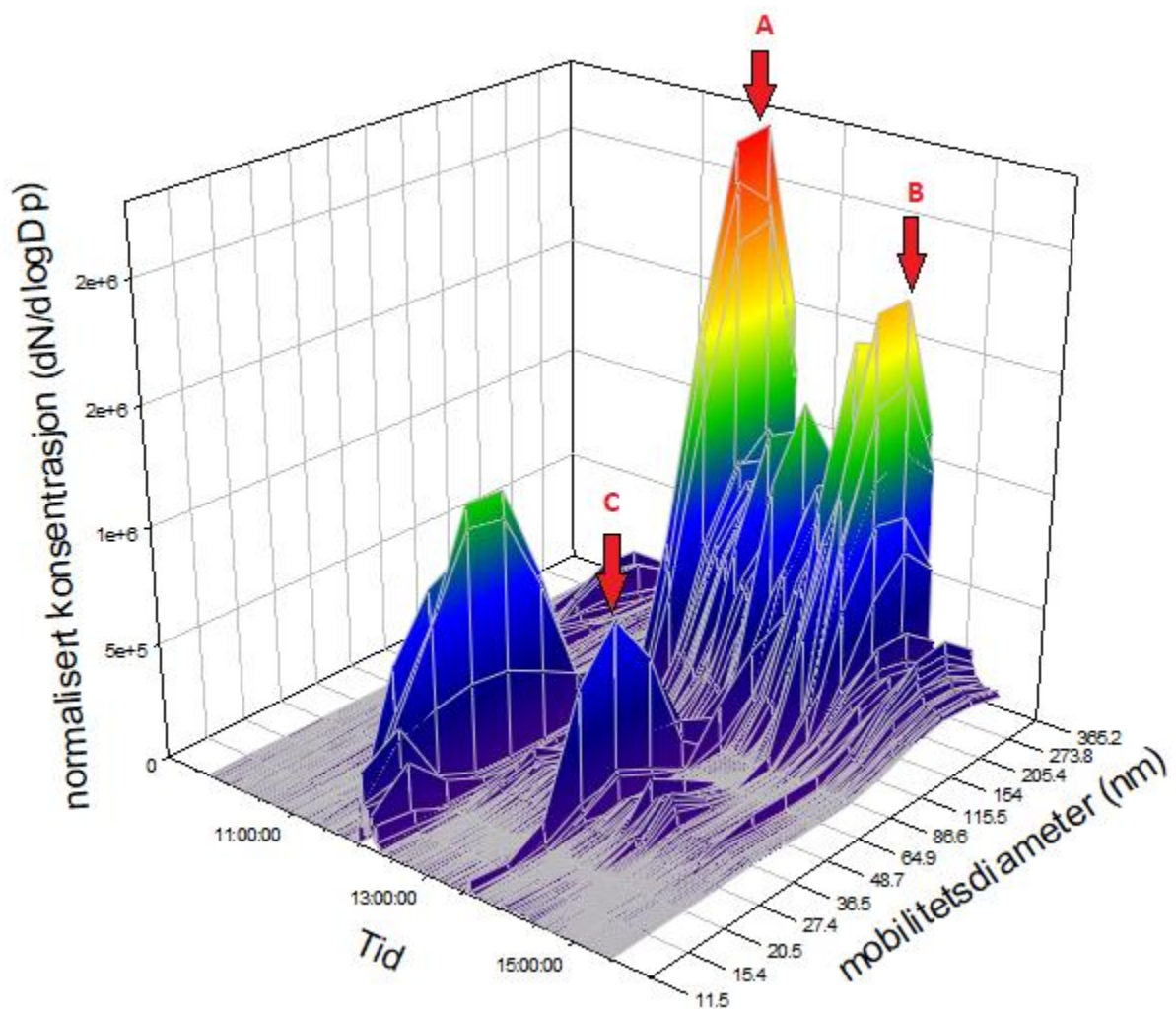
Figur 25 3d modell av måling på tappedørk ovn 2 14. mars

Ved tappedørk ovn 2 er det forventet at konsentrasjonene er jevnt høye på grunn av tappingen. Det er også forventet at aktivitetene til tapperne på tappedørken øker emisjonen av UFP. Det som skaper synlig økt konsentrasjon er uttrekk av øse som ses på Figur 25 kl 09:30 (A). Prosessen skaper mest partikler over 100nm, men også UFP. En annen kilde som ble identifisert er øsen til ovn 1. Når den er klar til utstøping eller når ovn 1 tettes mellom tappingene, settes den rett bak arbeidsposisjon til ovn 2. Dette ses tydelig kl 12:00 (B). Den flyttes så noen meter unna, og



toppen går ned til normale nivå etter kort tid. Kl 13:24 (C) registreres det et lite utslag ved åpning av tappetut med brennjern, men da mest partikler over 100nm. Kl 13:50 (D) registreres det en ny topp når de drar øsen til ovn 1 forbi arbeidsposisjonen til ovn 2. I tidsrommet der denne målingen ble tatt var det mye aktivitet med brennjern og oksygenlansse, men dette ga ikke økt konsentrasjon som er observerbart på måleren. Når øsen til ovn 2 blir trukket for utstøping ble det ikke observerbart økt UFP konsentrasjon. Det har ikke lyktes å skaffe data om ventilasjonen over tappetut var fungerende under hele målingen.

#### 4.4.2 Tappedørk ovn 3

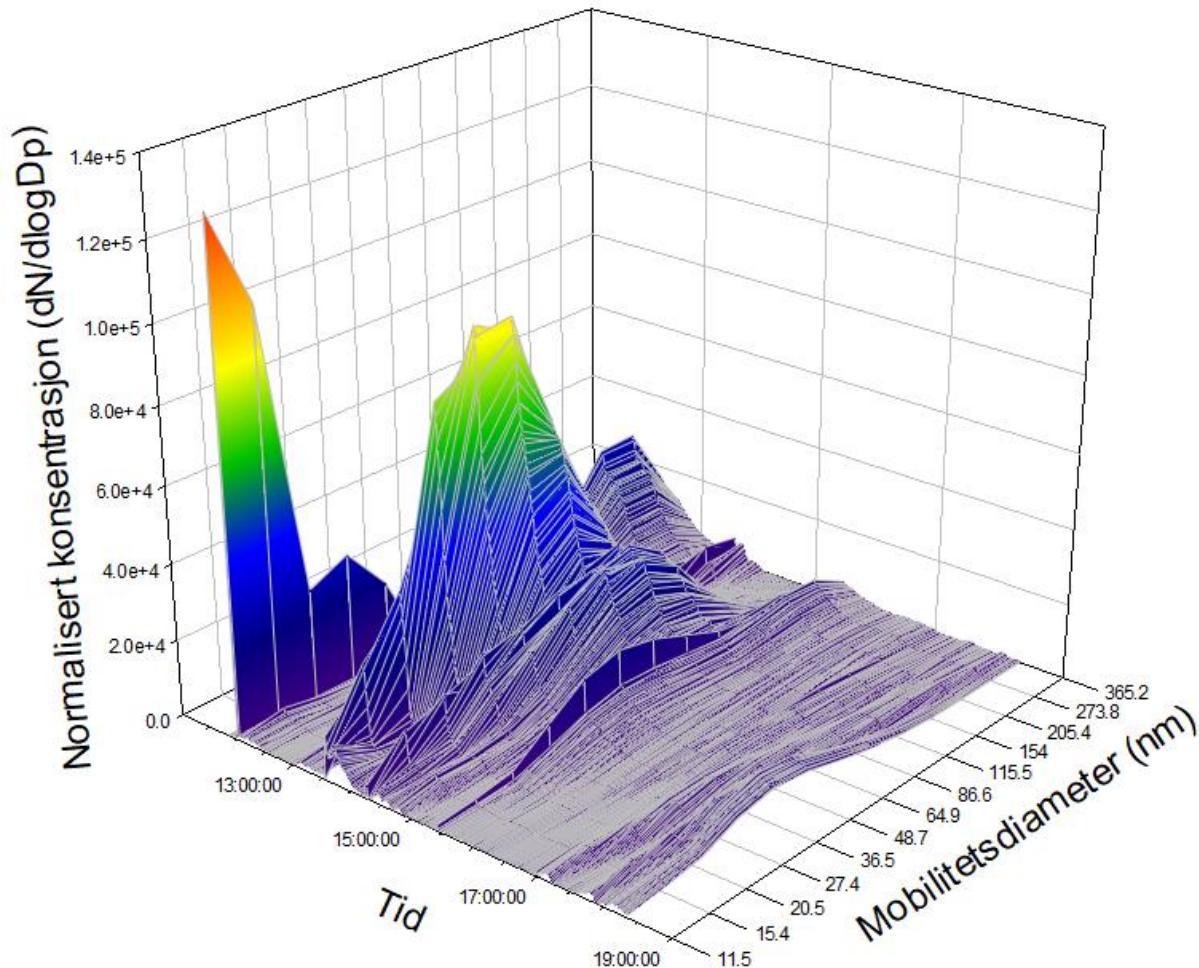


Figur 26 3d modell av måling på tappedørk ovn 3 10. mars

Ved tappedørk ovn 3 er det forventet at konsentrasjonene er høye på grunn av den kontinuerlige tappingen, og den relative nærheten til støpeshallen. Det er forventet at aktiviteten til tapperne på

tappedørken øker emisjon av UFP når disse pågår. Figur 26 viser en av dagene med stenging av tappetut og påfølgende åpning av ny tappetut, med vanlig drift før og etter. Det som skapte tydelig økte konsentrasjoner var åpningen av ny tappetut, noe som ses fra kl 12:00 – 15:00 (A). Årsaken til den store økningen i emisjon av UFP kan ha flere årsaker. Ved åpningen kan strømmen av FeSi være uforutsigbar, og strålen renner ofte ikke rent. Dette fører igjen til en større kontaktoverflate med luft, og gir derav bedre tilgang til O<sub>2</sub> som silisiumet kan reagere med. Ved åpning av ny tappetut brukes det også oksygenlansse, som tilfører O<sub>2</sub> direkte. En annen forklaring kan være at den nye tappetuten er i et område der de lokale forholdene, som luftstrøm, gjør at måleren står i et område der den fanger partiklene som dannes, dette til tross for at måleren står et stykke unna. Denne påstanden underbygges ved at når måleren flyttes nærmere tappetut kl 14:30 (B), synker konsentrasjonen. Det ble også observert gass som siver fra tappetut mot måleren kl 13:30 (C), som ga et tydelig økte konsentrasjoner av UFP. Ved stengingen av tappetuten, som foregår med «svensker» ble det ikke målt høyere konsentrasjoner av UFP til tross lengre arbeid der tapperne opplevde forholdene til å være svært eksponerte. Dette arbeidet foregikk i tidsrommet før åpning av tappetut. Dette kan være på grunn av målerens plassering, eller luftstrømmer i lokalet. Det er usikkerhet i om ventilasjonen var på og fungerende under hele denne prosessen, da det ble nevnt at den ofte var i ustand i tiden målingene ble tatt.

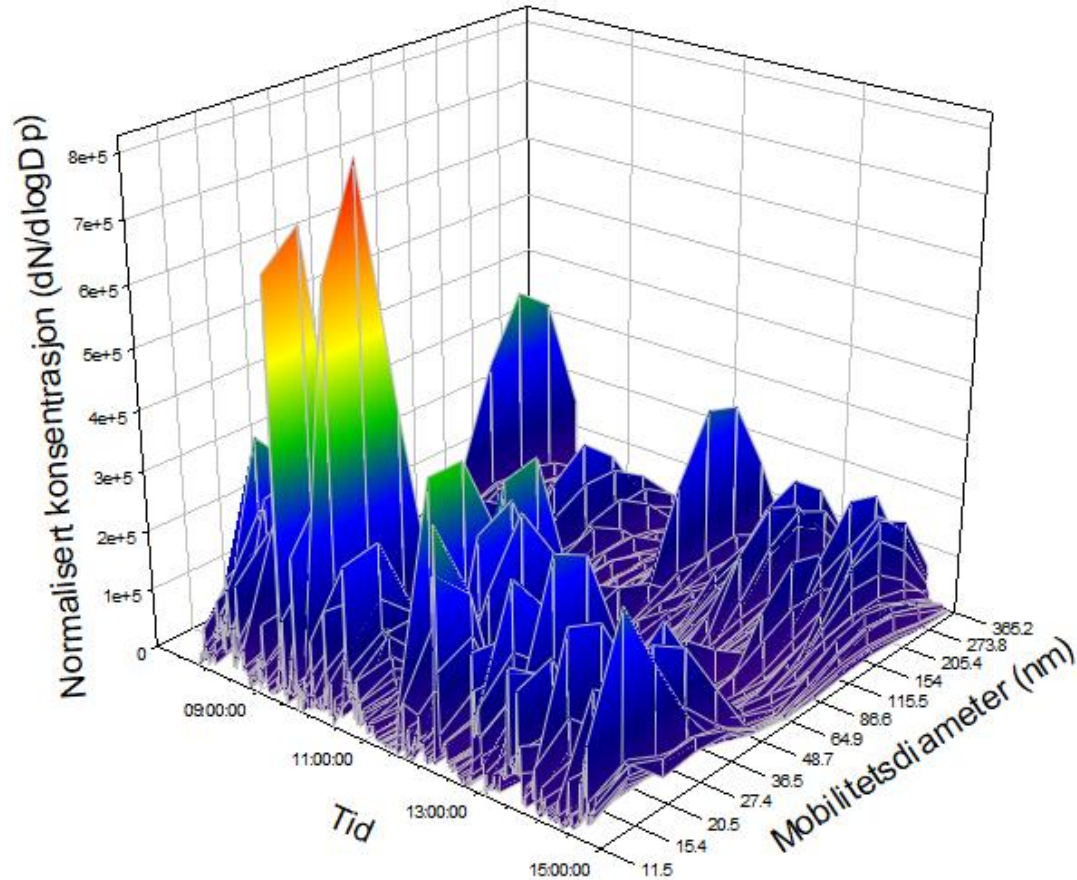
### 4.4.3 Pauserom



Figur 27 3d modell av måling på pauserom 8. mars.

På pauserommet er det ingen eksponeringskilder. Det er derimot ventet at nærheten til ovnen gjør at UFP har mulighet til å sive inn når tapperne går inn og ut av pauserommet, da det ikke er slusesystem i dørene. Pauserommet har som forventet generelt lave verdier. Som vist i Figur 27 er det derimot målt svært høye verdier den 8. mars. Konsentrasjonen denne dagen er hovedsakelig UFP, og oppstår uten noen åpenbar årsak. Dette utslaget gikk jevnt ned i løpet av dagen. De andre målingene lagt ved som vedlegg viste ikke denne toppen, og ga som forventet lave verdier.

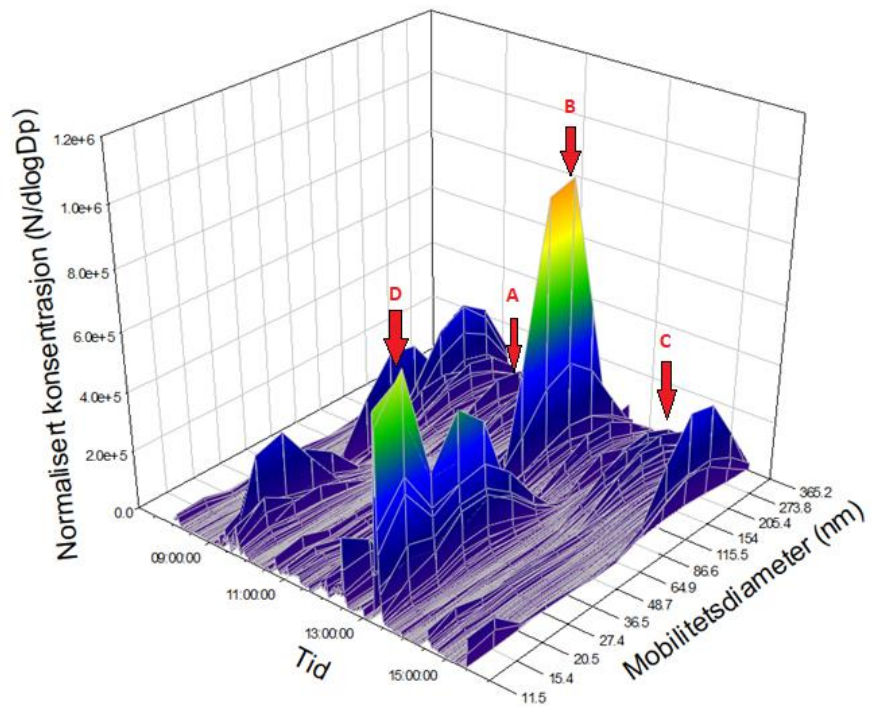
#### 4.4.4 Tappehall



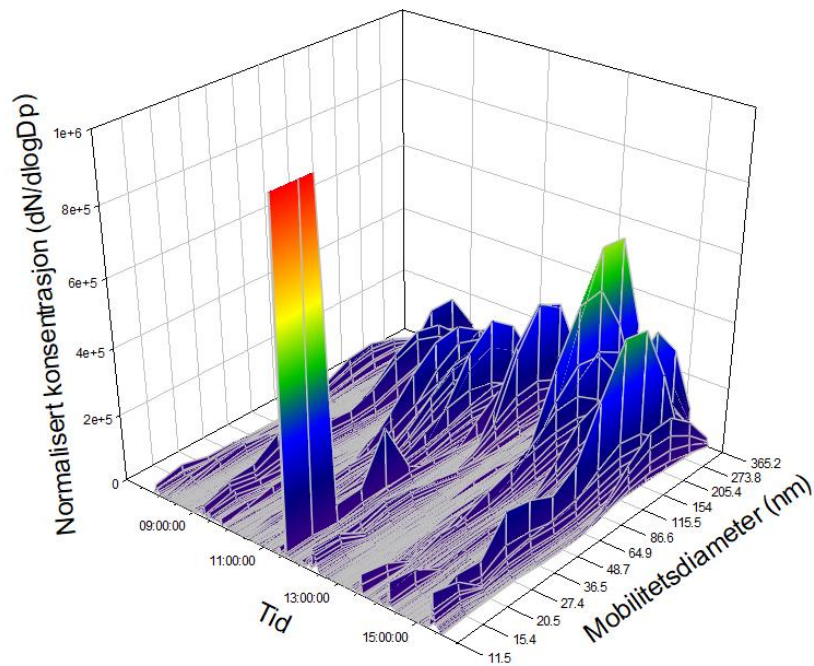
Figur 28 3d modell av måling på tappehall 11. mars

I tappehall foregår det til vanlig ingen direkte prosesser som skaper UFP. Tappehall har ikke avtrekk, og står vegg i vegg med knuseriet/ferdigvarelageret. Tappehall strekker seg langs ovnene, og avsluttes ved støpehall. Dette gjør at det er forventet en viss konsentrasjon i dette området. Som vist i Figur 28 har tappehallen generelt høye konsentrasjoner av UFP, men har også konsentrasjoner av større partikler over 100nm. Siden måleren sto uten oppsyn under hele målingen lar det seg ikke gjøre å identifisere kilder direkte, men det er mulig konsentrasjonen skapes av transport av øse forbi måleren, eller av emisjoner fra knuseriet.

#### 4.4.5 Utstøping



Figur 29 3d modell av måling på utstøping 9. mars



Figur 30 3d modell av måling på utstøping 10. mars

Ved utstøping forventes det UFP emisjoner fra øsen, og fra støpeprosessen. Det varierer for de ulike dagene om utstøpingen ga betydelige utslag for UFP, eller for større partikler over 100nm. Det var heller ikke uvanlig at utstøpingen førte til ingen observerbare utslag på målingen, noe som kan ses på Figur 29 kl 12:01 (A) der det ble støpt ut uten bruk av vann i etterkant for å avkjøle det flytende ferrosilisiumet som legges i sengene. Kl 12:30 (B) brukes det derimot vann, og denne gir et tydelig utslag. kl 14:04(C) ble det støpt uten vann, og kl 14:14 med vann. Begge nesten uten utslag på måleren. Det var også konsentrasjonstopper som kom uten klar årsak. kl 13:30 (D) viser en topp av UFP i 10 minutter uten noe aktivitet i området.

Ved andre dager, som vist på Figur 30, er det tydeligere når utstøpingen foregikk ved å se konsentrasjonstoppene som skapes. Ved denne målingen ble det i stor grad dannet partikler over 100nm som ikke klassifiseres som UFP. Utslaget l 11:30 er en konsekvens av omgjøringen til  $dN/dlogDp$ , og går til  $2.5 \times 10^6$  partikler/cm<sup>3</sup>. Den varer bare i 1 minutt og det kan derfor ikke utelukkes at det er en målefeil.

## 5 Diskusjon

Da målingene er tatt etter prinsipp for stasjonære målinger og måling av spesifikk arbeidsoperasjon krevde dette god oversikt over arbeidsoppgavene tapperne utfører. Hensikten er å kunne velge gode plasseringer av målerne, som fanger opp UFP konsentrasjoner og kilder. Plasseringene var valgt etter intervju med de ansatte og ledelsen. Ved gjennomføringen av målingen ble plasseringene kontinuerlig vurdert, og justert ved behov. Arbeidsdagen til tapperne er i stor grad preget av rutiner, der de fleste variasjonene i driften fører til økt, eller redusert tid på de ulike stasjonene, og sjelden til nye arbeidsoppgaver. Til tross for at tapperne er relativt mobile, og utfører arbeidet i nesten hele lokalet, utfører de arbeidet på ulike stasjoner. Dette gjorde at det ikke var problematisk å velge stasjoner der tapperne vil være i nær tilknytning til måleutstyret.

Plasseringen av målerne er en mulig feilkilde. Plasseringen påvirker ikke emisjon av UFP, men vil ha mye å si på hvor stor andel av konsentrasjonen som registreres. Når plasseringen til målerne skulle vurderes ble det tatt hensyn til drift, og sikkerhet til målerne. Dette gjorde at målerne aldri var tett opp mot tappernes arbeidsposisjon, men var ofte plassert 2-3 meter unna. Det har tilstrebes å plassere målerne så nært arbeidsposisjon som mulig, da det er antatt at en

økning i avstand vil senke UFP konsentrasjonen. Dette viser seg å ikke alltid stemme da det vises i Figur 26 at en minskning i avstand ikke førte til økning i UFP som forventet. Årsaken til dette er antatt å være luftstrømmer som fører partiklene vekk fra måleren. UFP holder seg suspendert i luften, og konsentrasjonen er antatt å være avhengig av at måleren står plassert slik at luftstrømmene går fra UFP kilden og mot måler. Til tross for at måleren plasseres nærmere vil den ikke fange opp partiklene, og vise lavere konsentrasjoner.

Metoden som er brukt i denne oppgaven innebærer kontinuerlig overvåkning av tapperne for å logge alle aktiviteter. Metoden er svært arbeidskrevende, men gir et godt grunnlag for identifisering av kilder. Loggingen av aktivitetene har gitt grunnlag for de to ulike resultatene; oppholdstidsmålinger og kontinuerlige målinger. Oppholdstidsmålingen er brukt ved alle stasjoner der eksponeringen er antatt å være et produkt av aktiviteten til tapperen, mens kontinuerlige målinger er brukt der konsentrasjonen er antatt å være en konsekvens av emisjoner fra andre steder i lokalet. De to eneste stasjonene som er antatt å ha en konsentrasjon som er til dels avhengig av arbeidet til tapperne er tappedørkene og utstøpingshall. Denne antagelsen viser seg å være riktig ved utstøping med visse unntak. Noen av dagene har det vært problematisk å knytte aktiviteten direkte mot økning i UFP konsentrasjon, mens andre dager har det vært veldig tydelig at aktivitetene skaper økt emisjon av UFP. En forklaring her er at plasseringen til måleren står slik at det blåser fra portene og partiklene holdes da effektivt vekk fra måleren. Dette kan ses på Tabell 12 der 8. mars er målingen som er lengst vekk fra en port, mens den blir satt litt nærmere porten den 9. mars og enda litt nærmere 10. mars, og konsentrasjonen synker jo nærmere den kommer porten. Dette er interessante funn da tapperne ofte plasserer seg langs portene av sikkerhetshensyn, men en bivirkning av dette er også en senket eksponering for UFP. For tappedørkene har det vært mer problematisk å knytte målingene til økt emisjon av UFP. De fleste aktiviteter har gitt svært lave eller ingen økning av UFP konsentrasjon. Det er også her visse unntak. Trekking av øse har konsekvent ført til økning i konsentrasjonen på tappedørk. Årsaken til dette kan være at under denne prosessen brytes metallstrålen som kommer fra tappetut og skaper en større overflate der Si kan reagere med oksygen. Dette fører igjen til økt konsentrasjon av UFP. Åpning og tetting av tappetut har også vært problematisk å knytte direkte til økning i konsentrasjon. Dette med unntak av bytte av tappetut ovn 3 vist i Figur 26. Hvorfor denne gir så klare utslag, men ikke de andre som er målt på ovn 2, er usikkert. Det kan ikke

utelukkes at den nye tappetuten er i et område der måleren lettere fanger emisjoner fra tuten, og ikke åpningen i seg selv som skaper økningen. Til tross for at aktivitetene var vanskelig å knytte til en direkte observerbar økning i konsentrasjon, viser oppholdstidsmålingen i snitt noe høyere konsentrasjon enn kontinuerlige målinger. Så det er rimelig å anta at aktiviteter allikevel skaper en viss økning i emisjon av UFP.

Ved litteraturgjennomgangen var det tydelig at det som skaper emisjon av UFP er varmeprosesser, der flytende silisium får reagere med oksygen i luften (Kero et al., 2016). Det var da antatt at jo nærmere tapperne er en slik kilde, jo mer eksponert er de for UFP. Dette er en påstand som denne oppgaven i stor grad ikke har klart å bekrefte. Det er tydelig på målingene som er tatt at øsen emitterer UFP, og nærhet til denne vil eksponere tapperne. Det at øsen til ovn 1, når den ikke var i bruk, var satt nær arbeidsposisjon til tapperen på ovn 2 var trolig en del av årsaken til at tapperne på ovn 2 viste noe høyere verdier av UFP enn de på ovn 3. Dette vises tydelig på Figur 25. Det vil også være naturlig å anta at tappedorrk, sammen med utstøping vil ha den største konsentrasjonen på grunn av åpent rennende silisium. Realiteten er derimot at tappehallen har i gjennomsnitt den høyeste konsentrasjonen for UFP av alle målestasjonene til tross for ingen direkte UFP kilder. En forklaring på dette kan være at det kommer fra utstøpingen, som underbygges av de sykliske eksponeringstoppene som ses ved målingene. Det er også mistenkt at denne konsentrasjonen kommer fra knuseriet/ferdigvarelager. Om porten på andre siden av knuseriet er åpent vil dette føre til at luftstrømmene går fra denne porten og gjennom lokalet til ovnene der avtrekkene er. Dette vil da føre til at støvet fra knuseriet som er lite nok til å være suspendert i luften over lengre tid, vil bli ført gjennom lokalet. Knuseriet skal i prinsipp ikke skape UFP da det er en mekanisk prosess, men det har tidligere vært målinger på gruver der også knusing er den eneste åpenbare årsaken til UFP konsentrasjonene (Skubacz et al., 2017). Målinger av respirabelt støv viser også høye konsentrasjoner for dette området (Grove, 2019). For å finne svar på om partiklene som er målt her kommer fra knuseriet bør det tas prøver av partiklene, da partikler fra knuseriet vil ha en annen morfologi, og ikke være runde amorfe SiO<sub>2</sub> partikler som kommer fra varmeprosessene (Kero et al., 2016). Om det viser seg at det er luftstrømmer som fører til de høye konsentrasjonene, vil dette kunne gi klarhet i de uforutsigbare toppene som måles, både her og andre studier som har målt på tilsvarende smelteverk (Kero & Jørgensen, 2016).



De ulike målingene viser store variasjoner i konsentrasjonen for UFP. Til tross for tilsynelatende like driftsforhold og plasseringer på målerne, varierer resultatene i stor grad. Konsentrasjonen kan doble eller halvere seg fra dag til dag, og plutselige konsentrasjonstopper kan forekomme uten synlig årsak. Hva som forårsaker spredningen er problematisk å identifisere.

Uforutsigbarheten kan være knyttet til en rekke ulike faktorer både med tanke på driftsforhold og målingene. Driften på ovnen er sjeldent jevn, og kan gå fra synlig gassproduksjon til relativt rene forhold. Avtrekk over tappetut fungerte ikke store deler av tiden, og dette eksisterer det ikke en logg for. Antall, og hvilke porter som står åpne er også antatt å påvirke konsentrasjonen på grunn av påvirkning fra luftstrømmer i lokalet. Noen dager registreres det også konsentrasjonstopper på to ulike stasjoner samtidig. Dette er tydelig 8. mars der det registreres de høyeste verdiene på utstøping (Tabell 12) og pauserom (Tabell 10). Det samme ser vi på 11. mars for tappedørk oven 2 (Tabell 8) og tappehall (Tabell 11). Dette kan tyde på at konsentrasjonen ikke alltid er en konsekvens av lokale kilder, men kan spre seg i lokalet. En forklaring kan være at luftstrømmer fører med seg UFP fra andre steder da de holder seg suspendert i luften. Luftstrømmene brer seg ved normal drift fra portene og mot ovnene og utstøpingshall. Da luftstrømmene til enhver tid er avhengig av hvilke porter som står åpne, driften på avtrekkene over tappetut, utstøping, og trolig utendørs værforhold vil de være uforutsigbare. Dette gjør det vanskelig å slå fast om dette er årsaken til den økte konsentrasjonen, eller om dette kommer av andre ikke kartlagte grunner.

Konsentrasjonene som er målt er sammenlignbare med andre studier som er gjort på tilsvarende smelteverk. Den mest sammenlignbare studien er (Kero & Jørgensen, 2016) der det ble målt  $2,16E+04$ - og  $7,06E+04$  partikler/cm<sup>3</sup> målt av FMPS under et studie på tappedørken på et silisiumsmelteverk. Også her er det tydelig at konsentrasjonene er svært varierende. På aluminiumsmelteverk er konsentrasjonene for «prebake potroom» ca  $2,00E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>, og har maksverdier opp til  $2,5E+05$  partikler/cm<sup>3</sup>. På «sødeberg potroom» ligger konsentrasjonen mellom  $5,00E+04$  partikler/cm<sup>3</sup> og opp mot nesten  $3,00E+05$  partikler/cm<sup>3</sup> som maksverdier (Thomassen et al., 2005). For silisiumkarbidsmelteverk målt med FMPS på pilotskala oven har de målt en AM på  $4,05E+05$  partikler/cm<sup>3</sup>, og maksverdi på  $3,58E+06$  partikler/cm<sup>3</sup>, mens målt med ELPI på Achelson industrioven er AM  $7,80E+04$  partikler/cm<sup>3</sup>, maksverdi  $3,44E+05$  partikler/cm<sup>3</sup>. ELPI måling på pilotskala oven er AM  $1,62E+05$  partikler/cm<sup>3</sup>, og maksverdi  $1,70E+06$  partikler/cm<sup>3</sup> (Jørgensen & Kero, 2017). På jernsmelteverk i tappeområdet er AM

7.06E+04 partikler/cm<sup>3</sup>, og maksverdi på 2.82E+05 partikler/cm<sup>3</sup> (Cheng et al., 2008). Konsentrasjonene som er målt på Finnfjord er: På tappedorrk ovn 2 måles det i snitt 2,46E+04 partikler/cm<sup>3</sup>, på tappedorrk ovn 3 1,96E+04 partikler/cm<sup>3</sup>, utstøping 2,88E+04 partikler/cm<sup>3</sup> og på tappehall 3,52E+04 partikler/cm<sup>3</sup>. Dette er de kontinuerlige målingene, da disse er de mest sammenlignbare med de andre studiene som er gjennomført. Konsentrasjonene som måles på Finnfjord smelteverk er ikke oppsiktsvekkende høye i forhold til andre smelteverk, både silisiumsmelteverk og andre typer. Det som er verdt å merke seg er de høye konsentrasjonene som er målt på jernsmelteverket (Cheng et al., 2008). Ferrosilisiumet som Finnfjord produserer har 20-25% jern. Det er derfor ikke utenkelig at en betydelig mengde av emisjonen kan komme av jernoksider som har en lavere NRV på 20 000 partikler/cm<sup>3</sup>.

Metodene som er tatt i bruk ved utregningen av eksponering for tapperne er basert på tre ulike fremgangsmåter. Det måtte tas hensyn til at tapperne jobber både 8 og 12 timers arbeidsdager, og sammenligne dette med NRV. Beregningen for 8 timers dager, er tatt fra (Standard Norge, 2018). Mens for 12 timers er NRV redusert etter to ulike metoder NIOSH, og Brief & Scala. Sistnevnte er den mest konservative av disse utregningsmetodene, da den også tar hensyn til redusert hviletid når man jobber 12 timers skift. Som vises i Tabell 13 er eksponeringen under NRV med unntak av tappedorrk ovn 2 ved bruk av Brief & Scala. Under utregningene er det ikke tatt i bruk sikkerhetsfaktor. NRV har oppgitt et sett med referanseverdier men sier ingenting om formelle sammenligninger med normverdier, og har heller ikke opprettet sikkerhetsfaktorer. NS-EN 689:2018 sier at om høyeste verdi er under 0.1 grenseverdi for 3 målinger, og 0.15 for 4 målinger, så er målingen under grenseverdi (Standard Norge, 2018). Derimot om målingen er over dette skal det utføres flere målinger. Denne standarden er beregnet for heldagsmålinger, men er allikevel et godt utgangspunkt for å si at eksponeringen til tapperne bør ligge under en andel på 0.1 av NRV da det er tatt 3 målinger per stasjon, foruten tappedorrk ovn 3, der det er tatt 4 målinger. Dette vil da tilsvare en sikkerhetsfaktor på 10, og ved å sette en slik sikkerhetsfaktor overstiger alle arbeidsgrupper NRV.

Eksponeringen kalkulert ved hjelp av kontinuerlige målinger er marginalt lavere enn oppholdstidsmålingen. Kontinuerlige målinger krever derimot en brøkdel av arbeidsmengden da metoden ikke krever overvåkning av tapperne. Til gjengjeld vil ikke eksponeringsmålinger utført

ved hjelp av utelukkende kontinuerlige målinger si noe om kilder, og gjøre det problematisk å foreslå tiltak.

Arbeidstiden til tapperne er et snitt av tiden som ble observert. Til tross for svært nøyaktig tidtaking de dagene målingene ble utført, varierer tiden brukt på de ulike stasjonene av drift ved ovnene og individuelle ulikheter mellom tapperne. Tiden brukt ute ved ovnene ved god og dårlig drift varierer veldig, og noen tapper bruker betydelig mer tid på tappedørken enn andre. Metoden som er tatt i bruk har en underliggende antagelse av at det er mulig å trekke ut en typisk dag som kan representere eksponeringen for hver tapper på smelteverket (Olsen. & Jensen, 1994). Denne antagelsen krever målinger over lengre tid enn noen dager for å kunne trekke en konklusjon om den stemmer på dette smelteverket.

Å ta stasjonære målinger er generelt ikke anbefalt for å måle eksponeringen til ansatte. Ved smelteverket har det også vist seg å være flere feilkilder som gjør at målingene ikke nødvendigvis fanger opp det som tapperne er eksponert for. Samtidig som denne oppgaven, har det blitt gjennomført en oppgave som sammenligner stasjonære målinger med personbårne prøver for respirabelt støv. De stasjonære målingene er tatt samtidig, og på samme sted som UFP målingene som er gjort i denne oppgaven. Oppgaven har brukt betegnelsen «loggbokmetoden» som tilsvarer oppholdstidsmålinger i denne oppgaven. Resultatene viser at for ovn 3 er eksponeringen for 8 timer  $1.9 \text{ mg/m}^3$  for personbårne, og  $2.2 \text{ mg/m}^3$  for loggbokmetoden. For ovn 2 er resultatene  $3.29 \text{ mg/m}^3$  for personbårne, og  $2.4 \text{ mg/m}^3$  for loggbokmetoden (Grove, 2019). For ovn 2 er resultatene svært like, men for ovn 3 avviker de i større grad. UFP og større partikler blir ikke skapt av de samme prosessene, så det sår tvil om denne sammenligningen er relevant å bruke da andelen UFP i de respirable prøvene vil være svært liten i forhold til større partikler. Den gir uansett et bilde av hvor sammenlignbar en stasjonær prøve er i forhold til en personbåren, og det tyder på at en personbåren prøve ville gitt en høyere estimert eksponering. Da det ikke lar seg gjøre å ta personbårne eksponeringsmålinger av UFP med dagens begrensninger, antas det at stasjonære målinger kombinert med målinger av spesifikk arbeidsoperasjon er den nærmeste tilnærmingen til et eksponeringsestimat av arbeidere på denne typen industri.

Måleinstrumentet NSMPS som er brukt i denne oppgaven er valgt ut fra mobilitet, batterikapasitet, og mulighet til oppdeling i fraksjoner ved å bruke mobilitetsdiameteren til partikkelen. For sammensatte partikler vil aerodynamisk diameter være mindre enn mobilitetsdiameter. Partikler som tolkes som UFP for aerodynamisk diameter vil derfor kunne bli tolket som større partikler for utstyr som benytter mobilitetsdiameter for oppdeling i størrelsesfraksjoner. På grunn av at NSMPS bruker mobilitetsdiameteren til partiklene vil det potensielt føre til et lavere antall UFP enn et tilsvarende instrument som måler aerodynamisk diameter (Sioutas et al., 2005). Dette har vist seg å kunne gi store utslag på målinger (Kero & Jørgensen, 2016). Da NRV ikke har oppgitt en «foretrukken diameter» vil det ved bruk av denne standarden være problematisk å sammenligne resultatene med de oppgitte referanseverdiene om ikke de samme forutsetningene er lagt i grunn.

## 6 Konklusjon

Dette er det første estimatet som er gjort på tappernes eksponering for UFP på et smelteverk. Ved bruk av NRV 40 000 partikler/cm<sup>3</sup> og ingen sikkerhetsfaktor, er tapperne under NRV, med unntak av 12 timers skift på ovn 2 beregnet ved bruk av Brief & Scala. Det eksisterer ingen etablert sikkerhetsfaktor, men på grunnlag av den store usikkerheten i arbeidstider, variasjon i konsentrasjoner fra dag til dag, og de få målingene gjort per stasjon, er det naturlig å innføre en sikkerhetsfaktor på minimum 10. Dette vil da føre til at eksponeringen for tapperne både på ovn 2 og 3 er over NRV.

Metoden som er brukt for å utføre målingene krever kontinuerlig overvåkning av målerne, og tapperne. Dette fører til svært detaljert logging av dagen, og gir et godt grunnlag til å identifisere kilder og estimere eksponering. Metoden er derimot svært arbeidskrevende. Ønskes det ikke å identifisere kilder, vil kontinuerlige målinger uten observasjon gi et marginalt lavere estimat av UFP eksponeringen, men vil kreve en brøkdel av arbeidsmengden.

Konsentrasjonene er generelt høy i hele lokalet foruten pauserommet. Det som skaper de største konsentrasjonstoppene er nærhet til øse, utstøping, og åpning av ny tappetut. Det er også betydelige konsentrasjoner på tappehall, uten åpenbar årsak, men mistenkes å komme fra enten utstøpingen eller knuseriet. Det kan ikke utelukkes at varierende luftstrømmer i lokalet skaper det uforutsigbare konsentrasjonsmønsteret på smelteverket.

### 6.1 Videre anbefalinger

Det anbefales å ta prøver av emisjonen i smelteverket for å undersøke om det er amorf SiO<sub>2</sub> som tapperne hovedsakelig eksponeres for, eller er en blanding av andre stoffer. De store utslagene ved tappehall, som kan være et produkt av knuseriet vil ha en annen sammensetning enn partiklene som dannes fra varmeprosesser. Ved å kartlegge dette kan det tas en vurdering om knuseriet bør flyttes fra samme lokalet som resten av smelteverket. Det anbefales også en analyse av luftstrømmer, og som konsekvens av dette, en prosedyre i hvilke porter som er åpne for å potensielt begrense eksponeringen for UFP. Videre så burde årsaken til eksponeringstoppen 8. mars på pauserommet bli kartlagt.

## 7 Referanser

- Arbeidstilsynet. (2014). *Trygg håndtering av nanomaterialer - For arbeidsplasser som produserer, importerer, bruker eller bearbeider nanomaterialer*. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/nanomaterialer-og-arbeidsmiljo/>
- Arbeidstilsynet. (2018). Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske og biologiske forurensninger. Retrieved from <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/kartlegging-og-vurdering-av-eksponering-for-kjemiske-og-biologiske-forurensninger/>
- Aztatzi-Aguilar, O., Valdés-Arzate, A., Debray-García, Y., Calderón-Aranda, E., Uribe-Ramirez, M., Acosta-Saavedra, L., . . . De Vizcaya-Ruiz, A. (2018). Exposure to ambient particulate matter induces oxidative stress in lung and aorta in a size- and time-dependent manner in rats. *Toxicology Research and Application*, 2, 239784731879485. doi:10.1177/2397847318794859
- Bourdon, J. A., Saber, A. T., Jacobsen, N. R., Jensen, K. A., Madsen, A. M., Lamson, J. S., . . . Vogel, U. B. (2012). Carbon black nanoparticle instillation induces sustained inflammation and genotoxicity in mouse lung and liver. *Particle and fibre toxicology*, 9(1), 5. doi:10.1186/1743-8977-9-5
- Cheng, Y.-H., Chao, Y.-C., Wu, C.-H., Tsai, C.-J., Uang, S.-N., & Shih, T.-S. (2008). Measurements of ultrafine particle concentrations and size distribution in an iron foundry. *Journal of Hazardous Materials*, 158(1), 124-130. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.036
- Crosera, M., Bovenzi, M., Maina, G., Adami, G., Zanette, C., Florio, C., & Filon Larese, F. (2009). Nanoparticle dermal absorption and toxicity: a review of the literature. *Int Arch Occup Environ Health*, 82(9), 1043-1055. doi:10.1007/s00420-009-0458-x
- Daigle, C. C., Chalupa, D. C., Gibb, F. R., Morrow, P. E., Oberdörster, G., Utell, M. J., & Frampton, M. W. (2003). Ultrafine Particle Deposition in Humans During Rest and Exercise. *Inhalation Toxicology*, 15(6), 539-552. doi:10.1080/08958370304468
- DeCarlo, P. F., Slowik, J. G., Worsnop, D. R., Davidovits, P., & Jimenez, J. L. (2004). Particle Morphology and Density Characterization by Combined Mobility and Aerodynamic Diameter Measurements. Part 1: Theory. *Aerosol Science and Technology*, 38(12), 1185-1205. doi:10.1080/027868290903907
- Dudeja, J. P. (2018). Health hazards of ultrafine or nanoparticles in ambient air: Necessity for their standardization for air quality index (AQI). *International Journal of Academic Research and Development*, 3(1), 576-580.
- Evenstad, S. a. (2017). *Rapport støvmåling Finnfjord AS*. Retrieved from
- Finnfjord. (2019). Ferrosilisium. Retrieved from <http://www.finnfjord.no/no/produkter/24-ferrosilisium>
- Grove, E. E. (2019). *Personlige heldagsmålinger og Loggbok-metoden: En sammenligning av strategier for kartlegging av eksponering for respirabelt støv i FeSi-smelteverk*. (Master in occupational health and safety), NTNU,
- Hendriks, B., & van Broekhuizen, P. (2013). Nano reference values in the Netherlands. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft*, 73(10), 407-414.
- Hougaard, K. S., Jackson, P., Kyjovska, Z. O., Birkedal, R. K., De Temmerman, P. J., Brunelli, A., . . . Vogel, U. (2013). Effects of lung exposure to carbon nanotubes on female fertility

- and pregnancy. A study in mice. *Reprod Toxicol*, 41, 86-97.  
doi:10.1016/j.reprotox.2013.05.006
- hygienists, A. i. o. o. (2016). Adjustment of workplace exposure standards for extended work shifts. In.
- ISO. (2014). ISO/TR 16197. In *Nanotechnologies - compilation and description of toxicological screening methods for manufactured nanomaterials*.
- Johnsen, H. L., Soyseth, V., Hetland, S. M., Benth, J. S., & Kongerud, J. (2008). Production of silicon alloys is associated with respiratory symptoms among employees in Norwegian smelters. *Int Arch Occup Environ Health*, 81(4), 451-459. doi:10.1007/s00420-007-0237-5
- Jørgensen, R. B., & Kero, I. T. (2017). Real-Time Measurements and Characterization of Airborne Particulate Matter from a Primary Silicon Carbide Production Plant. *Int J Environ Res Public Health*, 14(12). doi:10.3390/ijerph14121611
- Kero, I., Grådahl, S., & Tranell, G. (2016). Airborne Emissions from Si/FeSi Production. *Jom*, 69(2), 365-380. doi:10.1007/s11837-016-2149-x
- Kero, I., & Jørgensen, R. B. (2016). Comparison of Three Real-Time Measurement Methods for Airborne Ultrafine Particles in the Silicon Alloy Industry. *Int J Environ Res Public Health*, 13(9). doi:10.3390/ijerph13090871
- Kero, I., Næss, M. K., & Tranell, G. (2015). Particle size distributions of particulate emissions from the ferroalloy industry evaluated by electrical low pressure impactor (ELPI). *J Occup Environ Hyg*, 12(1), 37-44. doi:10.1080/15459624.2014.935783
- Lafuente, J. V., Sharma, A., Patnaik, R., Fior Muresanu, D., & Sharma, H. S. (2012). Diabetes Exacerbates Nanoparticles Induced Brain Pathology. *CNS & Neurological Disorders - Drug Targets*, 11(1), 26-39. doi:10.2174/187152712799960808
- Liu, Y., Li, W., Lao, F., Liu, Y., Wang, L., Bai, R., . . . Chen, C. (2011). Intracellular dynamics of cationic and anionic polystyrene nanoparticles without direct interaction with mitotic spindle and chromosomes. *Biomaterials*, 32(32), 8291-8303.  
doi:10.1016/j.biomaterials.2011.07.037
- Mari, K. N. (2013). Mechanisms and kinetics of liquid silicon oxidation. In: Unpublished.
- Maricq, M. M., Podsiadlik, D. H., & Chase, R. E. (2000). Size Distributions of Motor Vehicle Exhaust PM: A Comparison Between ELPI and SMPS Measurements. *Aerosol Science and Technology*, 33(3), 239-260. doi:10.1080/027868200416231
- Nemmar, H. M. A., Hoet, F. P., Vanquickenborne, F. B., Dinsdale, F. D., Thomeer, F. M., Hoylaerts, F. M., . . . Nemery, F. B. (2002). Passage of Inhaled Particles Into the Blood Circulation in Humans. *Circulation: Journal of the American Heart Association*, 105(4), 411-414. doi:10.1161/hc0402.104118
- Norsk Yrkeshygienisk Forening. (2009). *W501 Prøvetaking av helsefarlige kjemikalier*. Retrieved from  
<https://www.norskoljeoggass.no/globalassets/dokumenter/drift/arbeidsmiljo/kjemisk-arbeidsmiljo/fagtema/prosjektrapporter/provetaking-av-helsefarlige-kjemikalier-ohta.pdf>
- Oberdorster, G., Ferin, J., & Lehnert, B. (1994). CORRELATION BETWEEN PARTICLE-SIZE, IN-VIVO PARTICLE PERSISTENCE, AND LUNG INJURY. *Environ. Health Perspect.*, 102, 173-179.
- Oberdorster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., . . . Yang, H. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from

- exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy. *Part Fibre Toxicol*, 2, 8. doi:10.1186/1743-8977-2-8
- Oberdorster, G., Oberdorster, E., & Oberdorster, J. (2005). Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environ Health Perspect*, 113(7), 823-839. doi:10.1289/ehp.7339
- Olsen., E., & Jensen, B. (1994). On the Concept of the “Normal” Day: Quality Control of Occupational Hygiene Measurements. 9(4).
- Park, M. V. D. Z., Verharen, H. W., Zwart, E., Hernandez, L. G., Van Benthem, J., Elsaesser, A., . . . De Jong, W. H. (2011). Genotoxicity evaluation of amorphous silica nanoparticles of different sizes using the micronucleus and the plasmid lacZ gene mutation assay. *Nanotoxicology*, 5(2), 168-181. doi:10.3109/17435390.2010.506016
- Reddy, A. R. N., Reddy, Y. N., Krishna, D. R., & Himabindu, V. (2012). Pulmonary toxicity assessment of multiwalled carbon nanotubes in rats following intratracheal instillation. *Environmental Toxicology*, 27(4), 211-219. doi:10.1002/tox.20632
- Regjeringen. (2012). *Regjeringens FoU-strategi for nanoteknologi 2012-2021*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/regjeringens-fou-strategi-for-nanoteknologi/id696397/>:
- Scheuplein, R. J. (1967). Mechanism of Percutaneous Absorption. *Journal of Investigative Dermatology*, 48(1), 79-88. doi:10.1038/jid.1967.11
- Sioutas, C., Delfino, R. J., & Singh, M. (2005). Exposure assessment for atmospheric ultrafine particles (UFPs) and implications in epidemiologic research. *Environ Health Perspect*, 113(8), 947-955. doi:10.1289/ehp.7939
- Skubacz, K., Wojtecki, L., & Urban, P. (2017). Aerosol concentration and particle size distributions in underground excavations of a hard coal mine. *Int J Occup Saf Ergon*, 23(3), 318-327. doi:10.1080/10803548.2016.1198553
- Standard Norge. (1993). NS-EN 481. In *Arbeidsluft - Definisjoner av partikkelstørrelse for måling av luftbårne partikler*.
- Standard Norge. (2018). NS-EN 689. In *Arbeidsplassluft - Måling av eksponering for kjemiske stoffer ved innånding - Strategi for prøving av samsvar med yrkeshygieniske grenseverdier*.
- Tangstad, M. (2013). *Metal production in Norway*. Oslo: Akademika Publ.
- Teknologirådet. (2008). *Nanomaterialer, risiko og regulering*. Retrieved from <https://docslide.net/download/link/rapport-nanomaterialer-risiko-og-regulering>
- Thomassen, Y., Koch, W., Dunkhorst, W., Ellingsen, D., Skaugset, N. P., Jordbekken, L., . . . Weinbruch, S. (2005). Ultrafine particles at workplaces of a primary aluminium smelter. *Journal of Environmental Monitoring*, 2006(8), 127-133. doi:10.1039/b514939h
- Tsai, C. S. (2015). Characterization of Airborne Nanoparticle Loss in Sampling Tubing. *J Occup Environ Hyg*, 12(8), D161-167. doi:10.1080/15459624.2015.1019077
- TSI. (2012). *NanoScan SMPS Nanoparticle Sizer model 3910*. Retrieved from [http://www.tsi.com/uploadedFiles/\\_Site\\_Root/Products/Literature/Spec\\_Sheets/NanoScan%20SMPS%203910\\_5001411.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Spec_Sheets/NanoScan%20SMPS%203910_5001411.pdf)
- Warheit, D. B., Webb, T. R., Colvin, V. L., Reed, K. L., & Sayes, C. M. (2006). Pulmonary Bioassay Studies with Nanoscale and Fine-Quartz Particles in Rats: Toxicity is Not Dependent upon Particle Size but on Surface Characteristics. *Toxicological Sciences*, 95(1), 270-280. doi:10.1093/toxsci/kfl128



- Wick, P., Malek, A., Manser, P., Meili, D., Maeder-Althaus, X., Diener, L., . . . von Mandach, U. (2010). Barrier capacity of human placenta for nanosized materials. *Environ Health Perspect*, 118(3), 432-436. doi:10.1289/ehp.0901200
- Yamashita, K., Yoshioka, Y., Higashisaka, K., Mimura, K., Morishita, Y., Nozaki, M., . . . Tsutsumi, Y. (2011). Silica and titanium dioxide nanoparticles cause pregnancy complications in mice. *Nat Nanotechnol*, 6(5), 321-328. doi:10.1038/nnano.2011.41

## 8 Vedlegg

### Vedlegg A: Støvfraksjoner

Table 1. Numerical values of the conventions, as percentages of the inhalable convention or of total airborne particles							
As percentage of inhalable				As percentage of total			
Aerodynamic diameter $D$ $\mu\text{m}$	Inhalable convention $E_I$ %	Thoracic convention $E_T$ %	Respirable convention $E_B$ %	Inhalable convention $E_I$ %	Thoracic convention $E_T \times E_I$ %	Respirable convention $E_R \times E_I$ %	Aerodynamic diameter $D$ $\mu\text{m}$
0	100	100	100	100	100	100	0
1	100	100	100	97,1	97,1	97,1	1
2	100	100	96,8	94,3	94,3	91,4	2
3	100	100	80,5	91,7	91,7	73,9	3
4	100	99,6	55,9	89,3	89,0	50,0	4
5	100	98,1	34,4	87,0	85,4	30,0	5
6	100	94,9	19,8	84,9	80,5	16,8	6
7	100	89,5	10,9	82,9	74,2	9,0	7
8	100	82,2	5,9	80,9	66,6	4,8	8
9	100	73,7	3,2	79,1	58,3	2,5	9
10	100	64,6	1,7	77,4	50,0	1,3	10
11	100	55,5	0,9	75,8	42,1	0,7	11
12	100	47,0	0,5	74,3	34,9	0,4	12
13	100	39,3	0,3	72,9	28,6	0,2	13
14	100	32,4	0,2	71,6	23,2	0,2	14
15	100	26,6	0,1	70,3	18,7	0,1	15
16	100	21,6	0,1	69,1	15,0	0	16
18	100	14,1	0	67,0	9,5		18
20	100	9,1		65,1	5,9		20
25	100	3,0		61,2	1,8		25
30	100	1,0		58,3	0,6		30
35	100	0,3		56,1	0,2		35
40	100	0,1		54,5	0,1		40
50	100	0		52,5	0		50
60	100			51,4			60
80	100			50,4			80
100	100			50,1			100

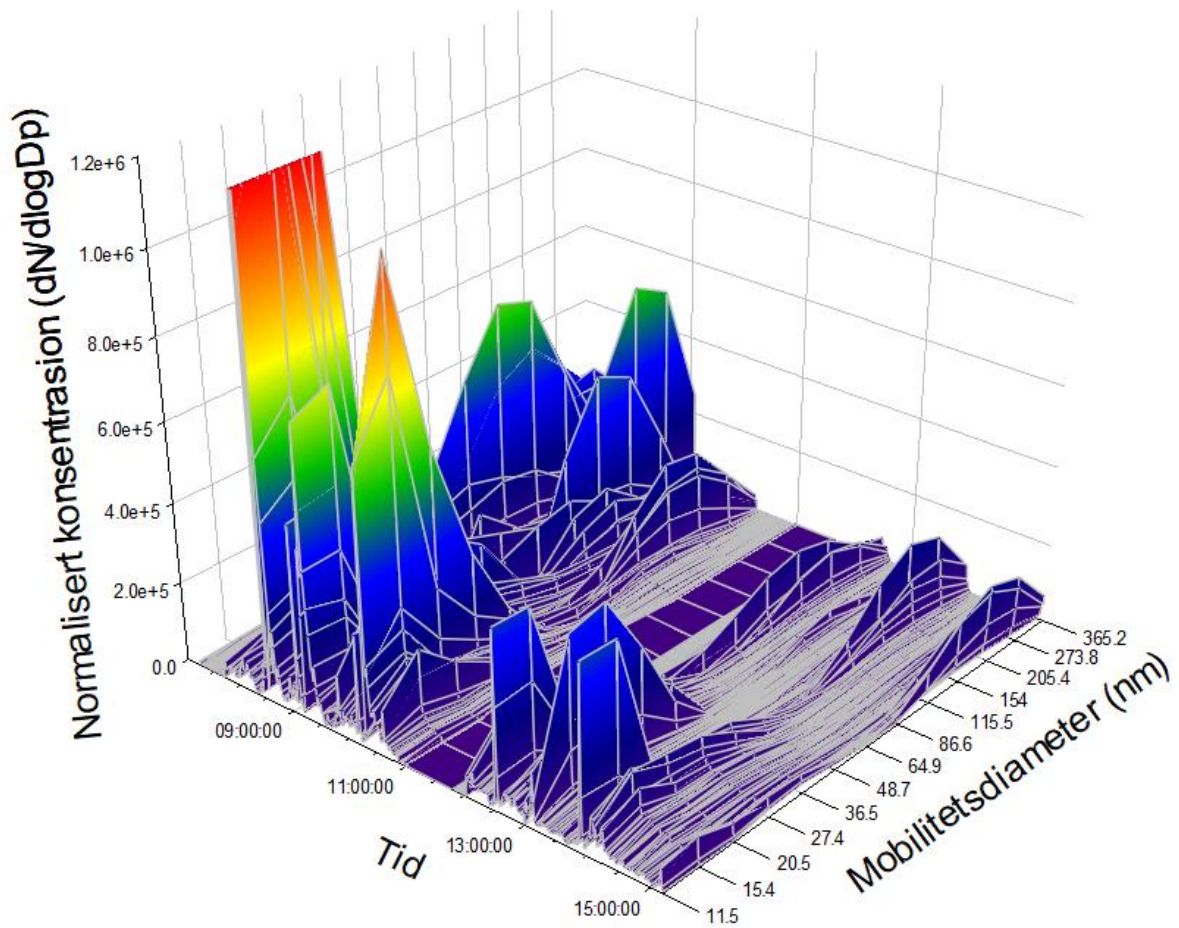
Figur 31 Støvfraksjoner (Standard Norge, 1993)

## Vedlegg B: Måleplan

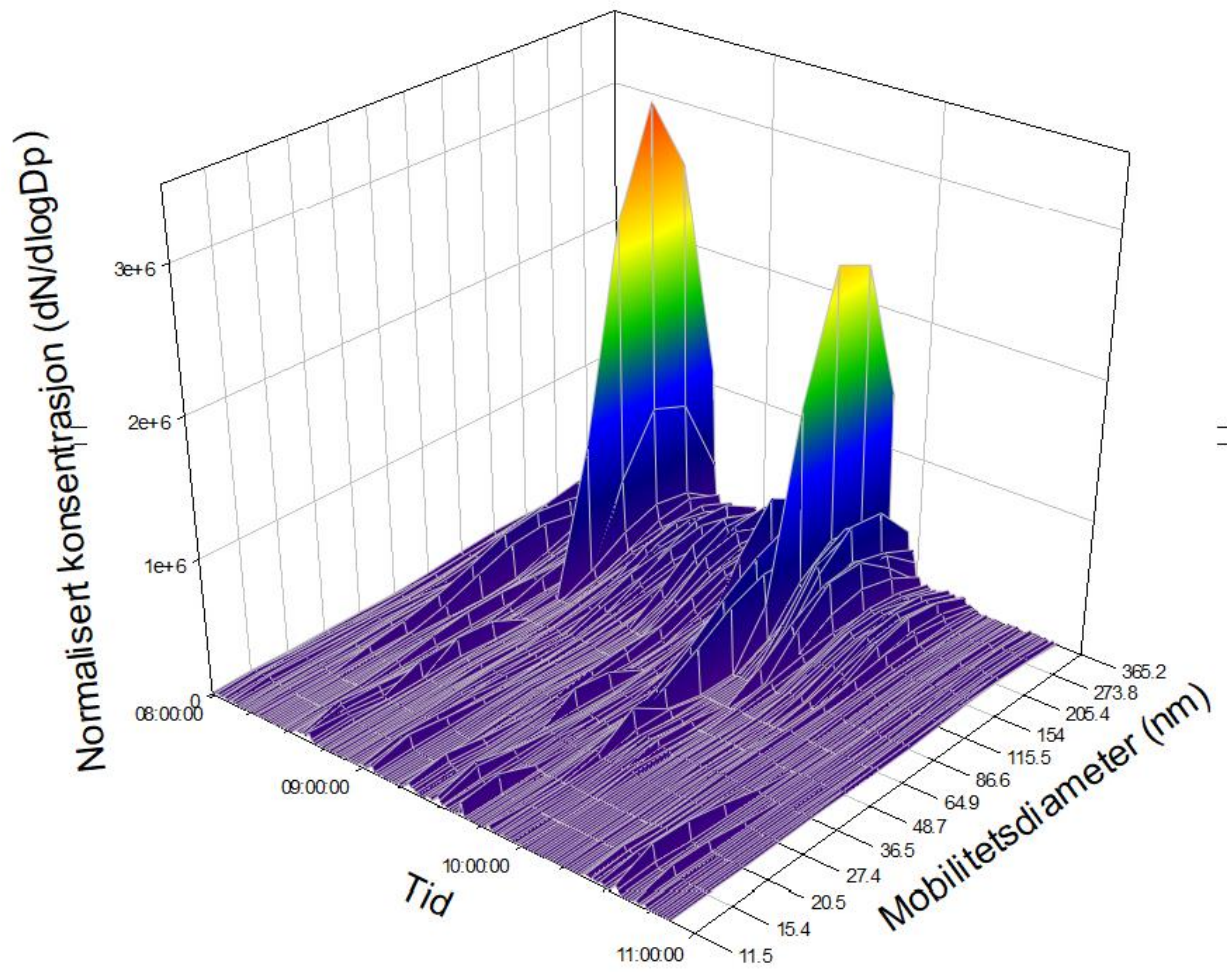
Tabell 14 Måleplan

Dag		Pumpe 1	Pumpe 2	Pumpe 3/ SanoStan 1	Pumpe 4/ SanoStan 2	Pumpe 5/ SanoStan 1 med sikren	Pumpe 6/ SanoStan 1 og Pumpe 3
Onsdag 6.3	Måling	Personbåren pårveis	Personbåren pårveis	Stasjoner pårveis	Stasjoner tappedorck gvm 3		
	Kassetter	1	2	3	4	5	6
Torsdag 7.3	Måling	Personbåren pårveis	Personbåren pårveis	Stasjoner pårveis	Bakerunnsmåling pårveis		
	Kassetter	9	10	11	12	13	14
Fredag 8.3	Måling	Personbåren gvm 3	Personbåren gvm 3	Stasjoner tappedorck gvm 3 (07:00-15:00) (07:00-11:00)	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)	Bakerunnsmålinger påuserom (15:30-19:00) (12:00-18:30)	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)
	Kassetter	17	18	19	20	21	22
Lørdag 9.3	Måling	Personbåren gvm 3	Personbåren gvm 3	Stasjoner tappedorck gvm 3	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)	Bakerunnsmålinger påuserom (15:30-19:00)	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)
	Kassetter	26	27	28	29	30	31
Søndag 10.3	Måling	Personbåren gvm 3	Personbåren gvm 3	Stasjoner tappedorck gvm 3	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)	Bakerunnsmålinger påuserom (15:30-19:00)	Bakerunnsmålinger stoppeball (07:00-15:00)
	Kassetter	35	36	37	38	39	40
Mandag 11.3	Måling	Personbåren gvm 1/2	Personbåren nedsettning	Bakerunnsmåling tappeball (08:00-15:00)	Stasjoner tappedorck gvm 2		
	Kassetter	44	45	46	47	48	49
Tirsdag 12.3	Måling	Personbåren gvm 1/2	Personbåren nedsettning	Bakerunnsmåling tappeball (08:00-15:00)	Stasjoner tappedorck gvm 3		
	Kassetter	52	53	54	55	56	57
Onsdag 13.3	Måling	Personbåren gvm 1/2	Personbåren gvm 1/2	Bakerunnsmåling tappeball	Stasjoner tappedorck gvm 2		
	Kassetter	60	61	62	63	64	65
Torsdag 14.3	Måling			Stasjoner avrundert gvm 1	Stasjoner Tappedorck gvm 2		
	Kassetter						
						Disp.	

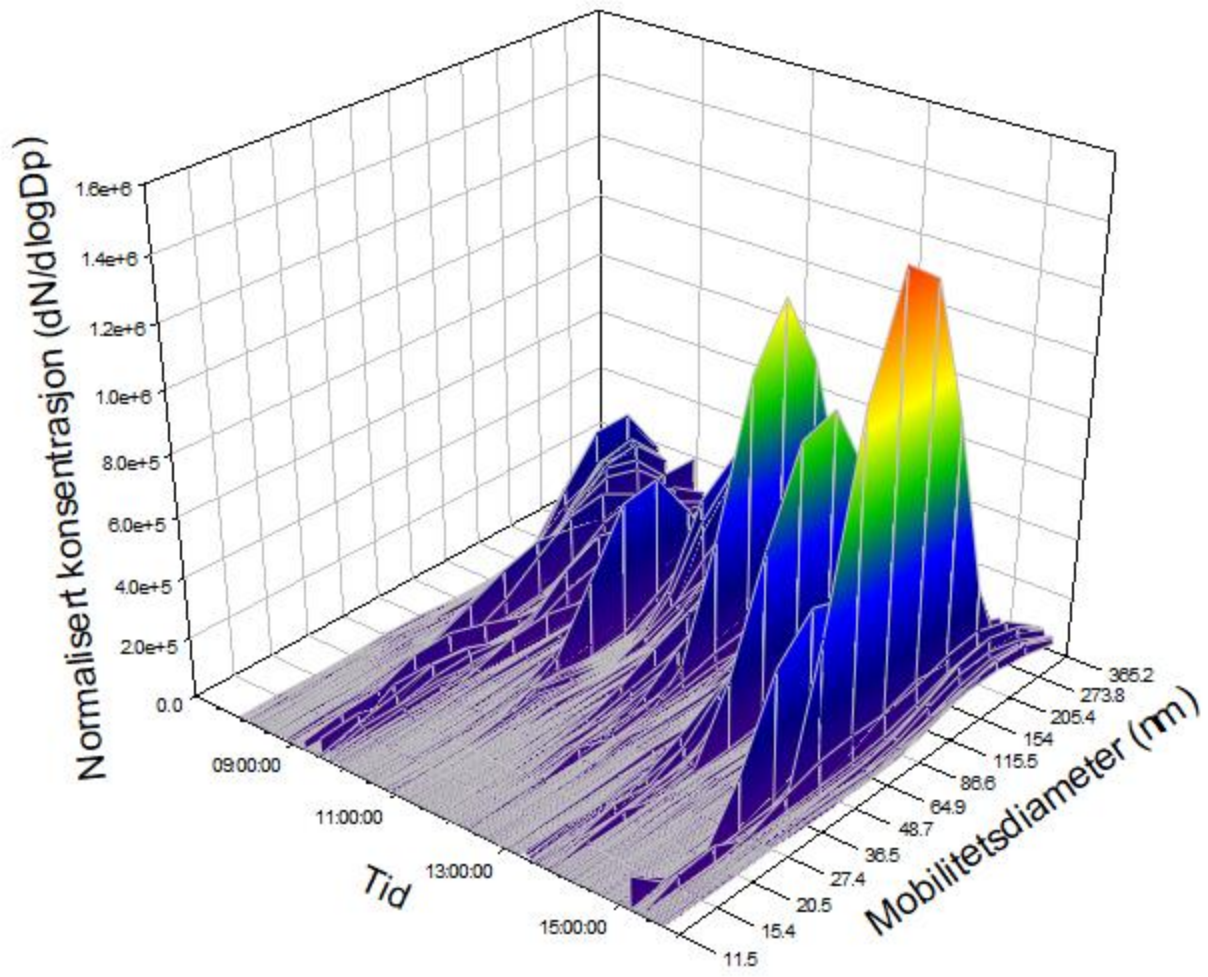
## Vedlegg C: 3d modeller av målinger



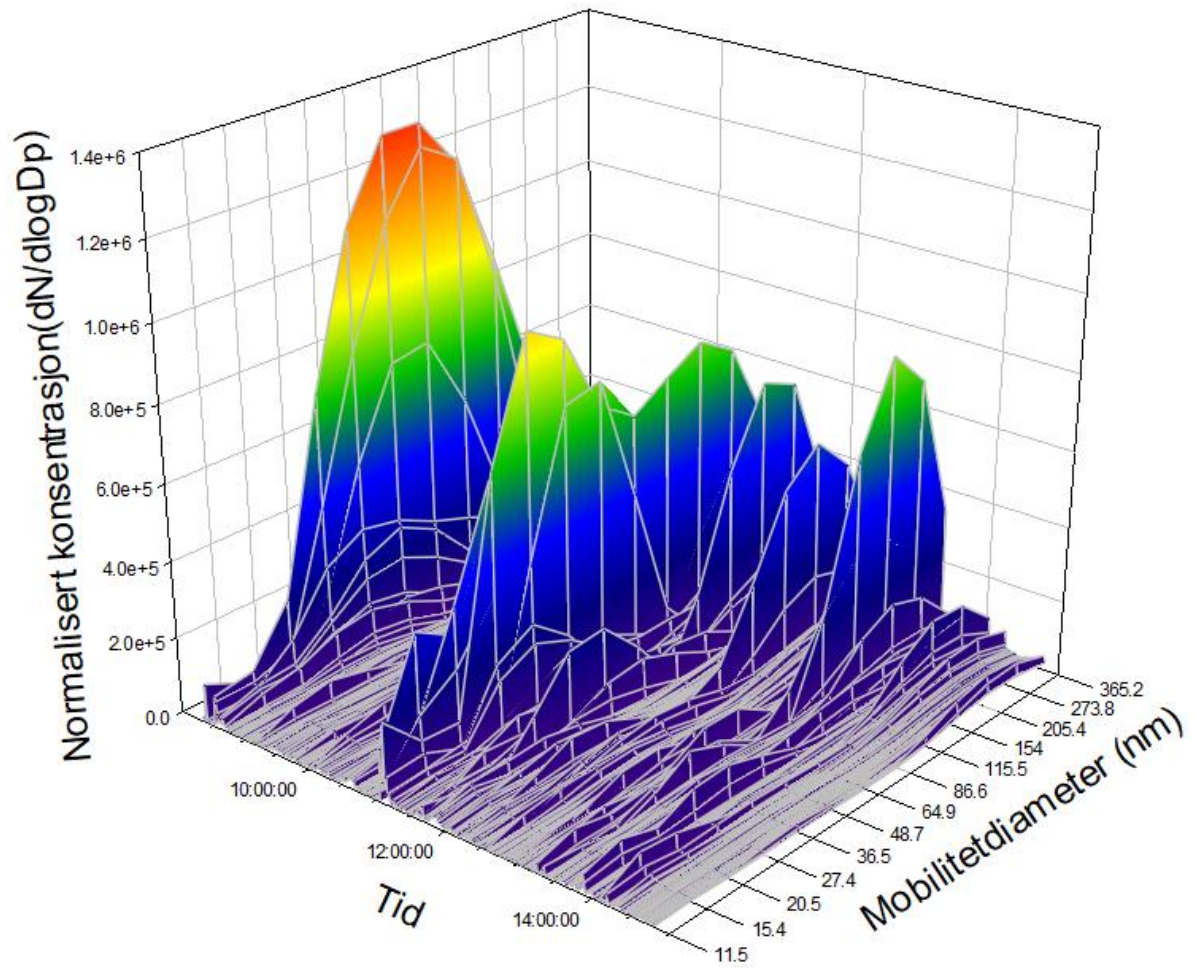
Figur 32 3d modell av måling på utstøping 8. mars



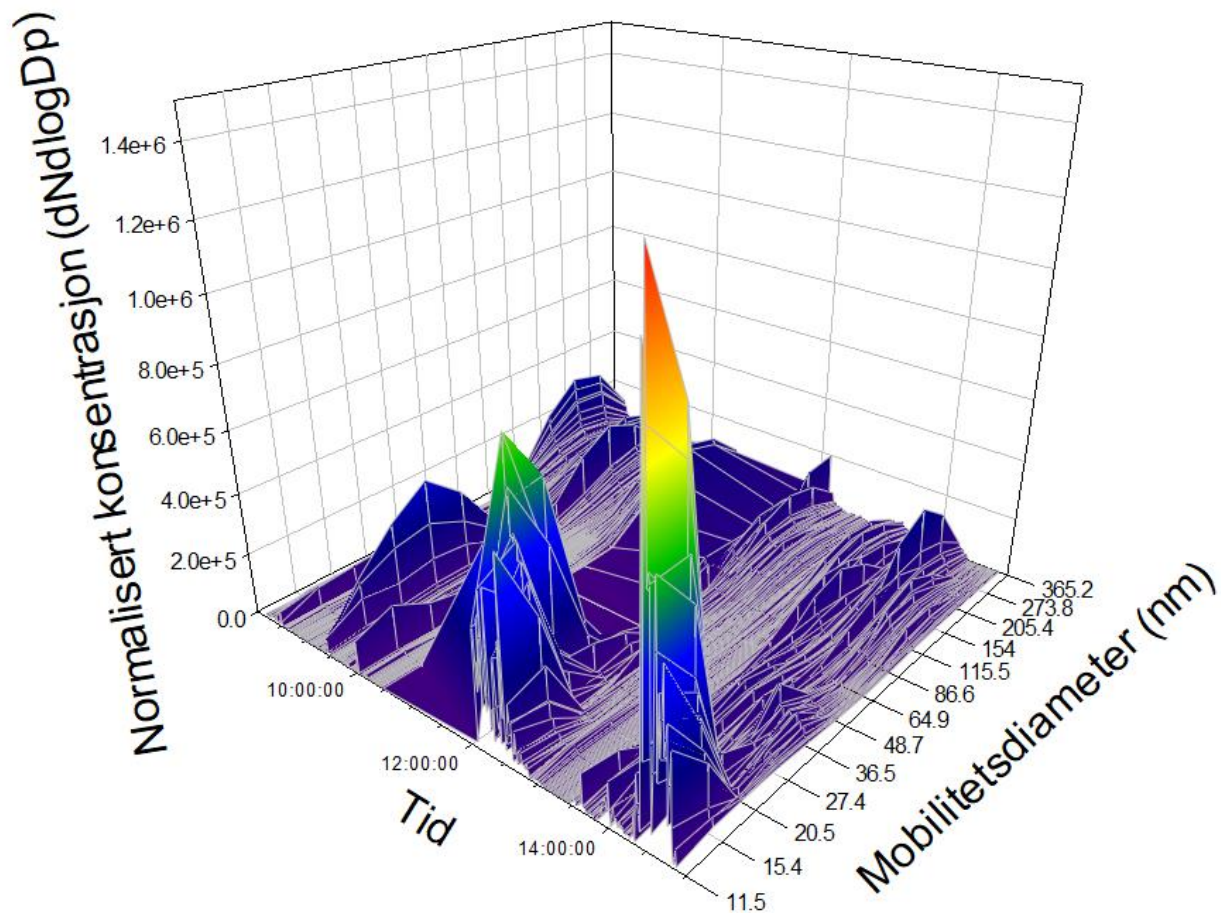
Figur 33 3d modell av måling på tappedorvk oven 3 8. mars.



Figur 34 3d modell av måling på tappedørk oven 3 9. mars

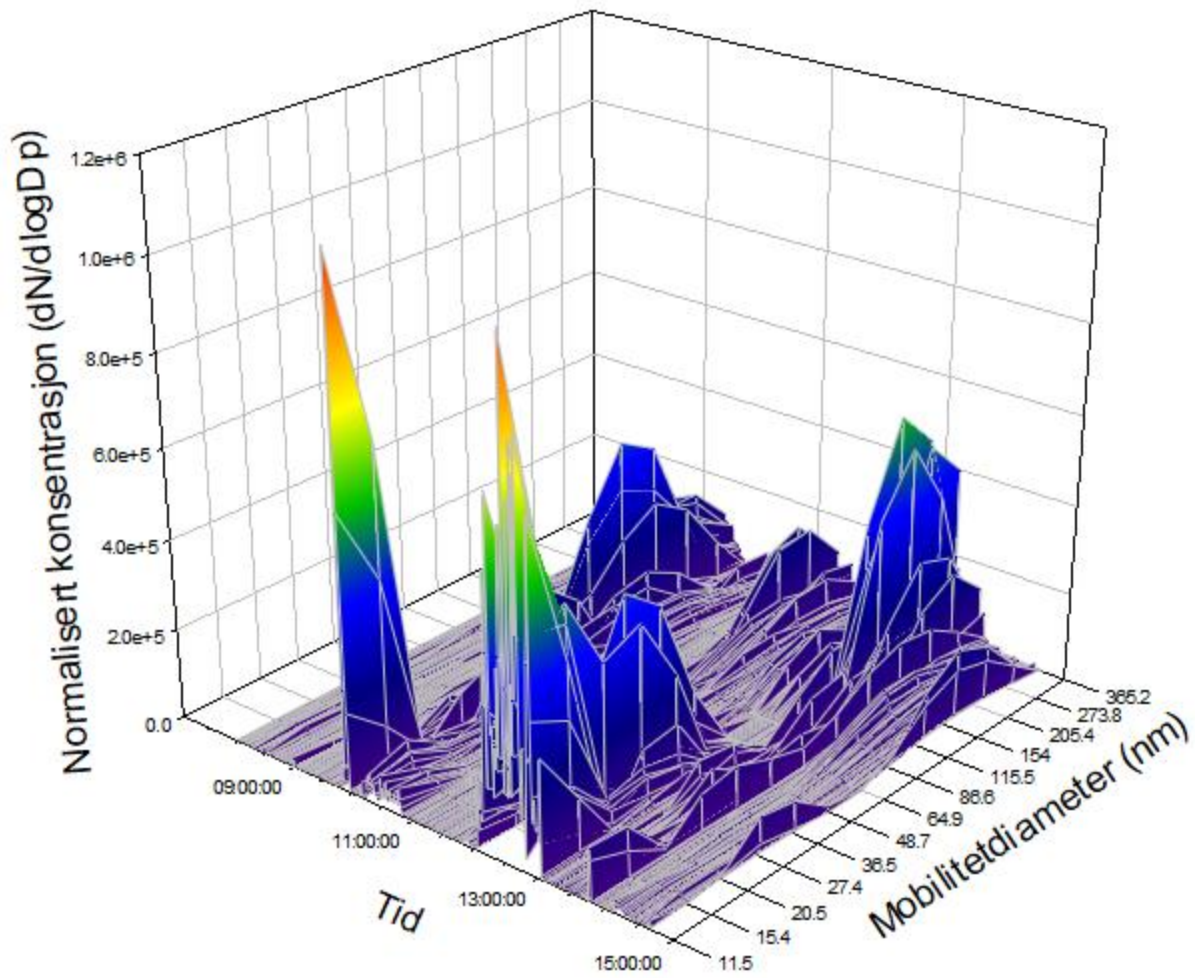


Figur 35 3d modell av måling på tappedorrk oven 3 12. mars.

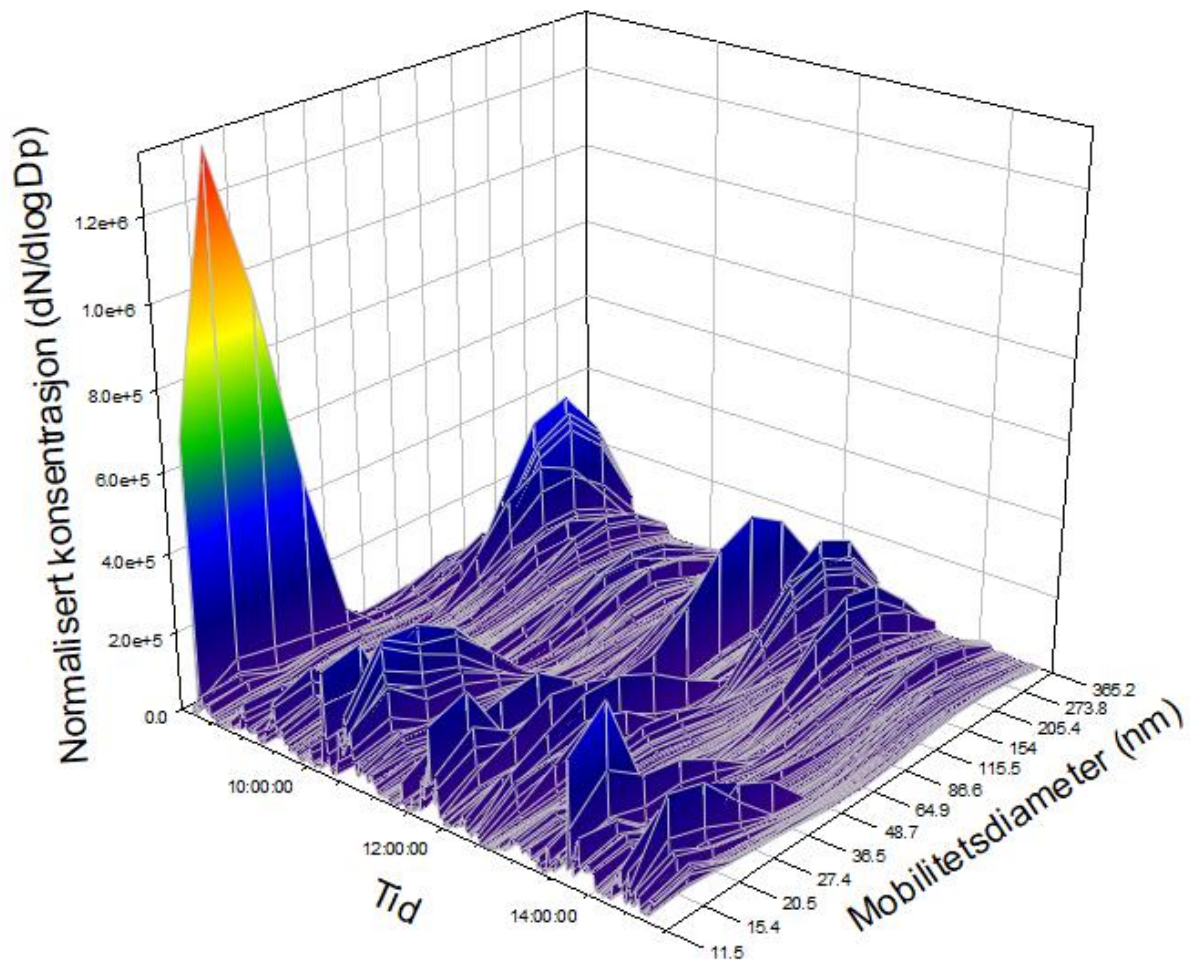


Figur 36 3d modell av måling på tappedorrk oven 2 11. mars

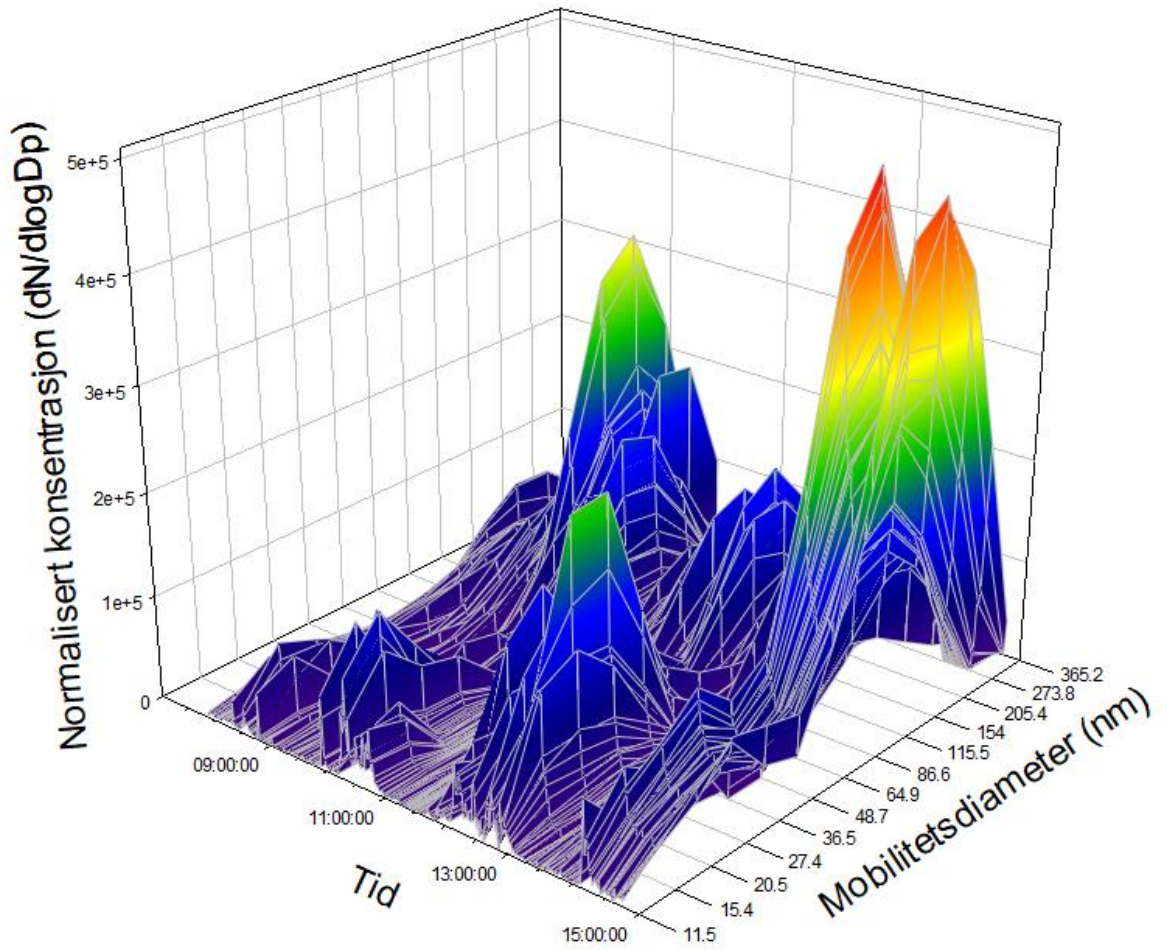




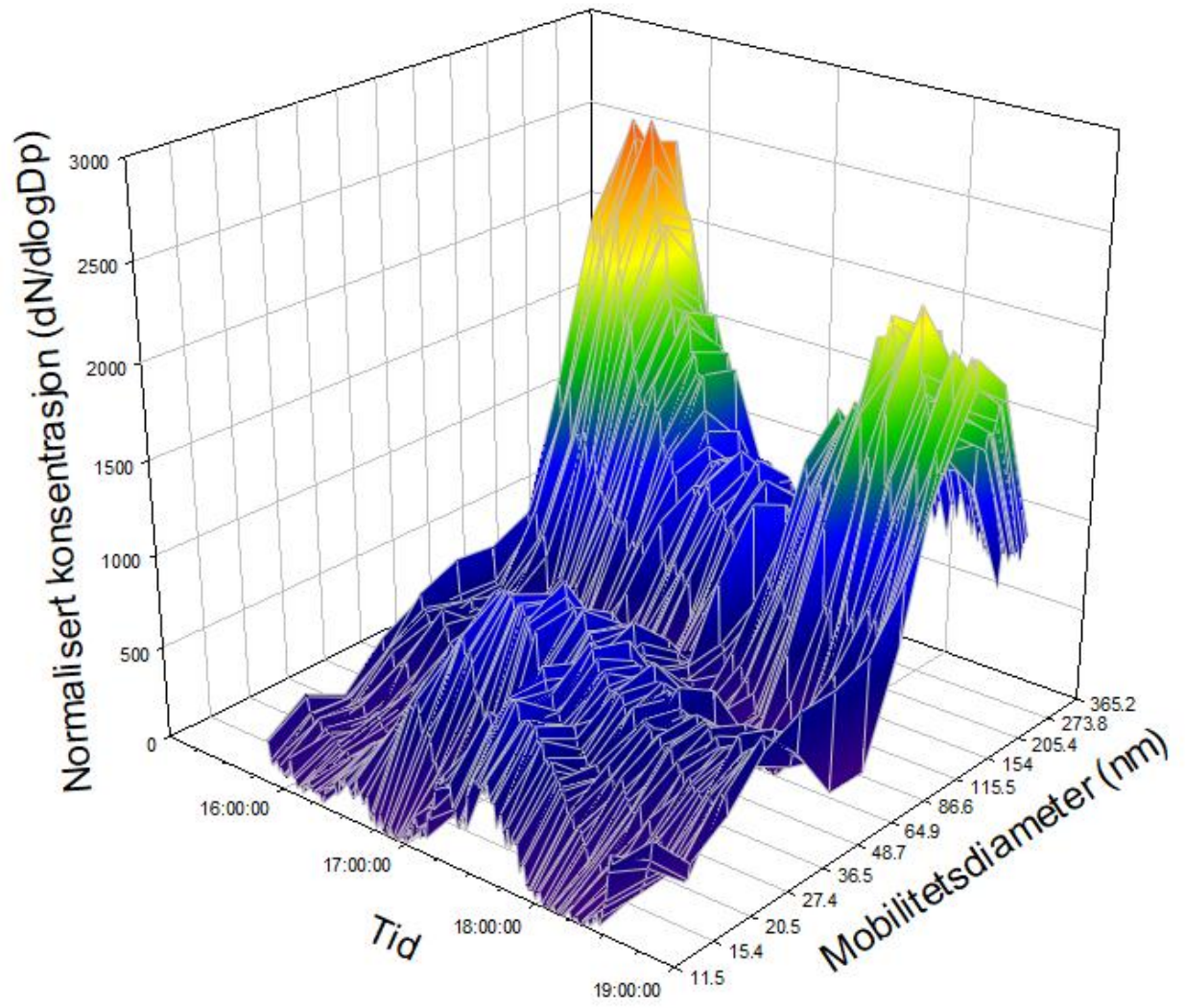
Figur 37 3d modell av måling på tappedorrk oven 2 13. mars



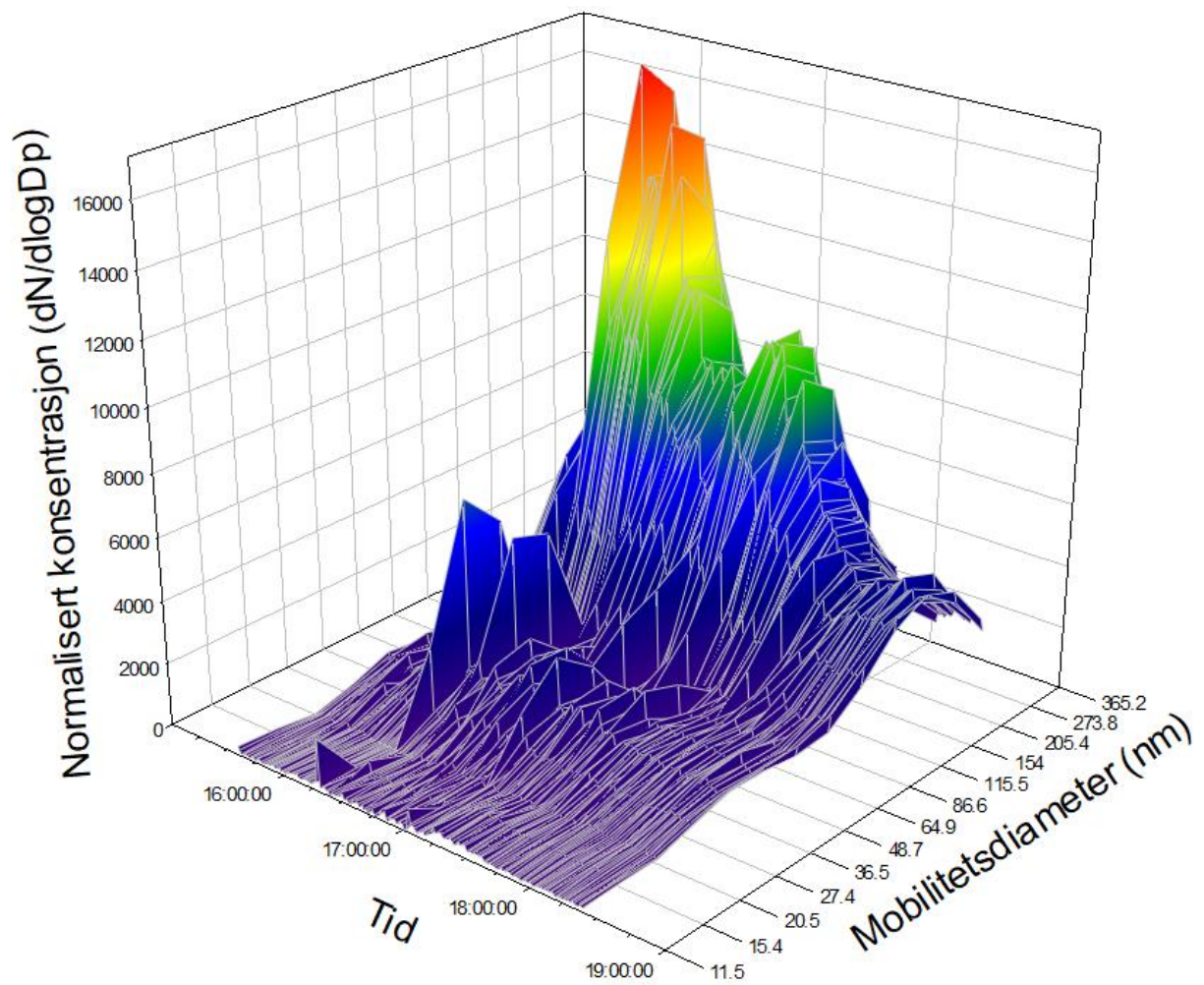
Figur 38 3d modell av måling på tappehall 12.mars



Figur 39 3d modell av måling på tappehall 13. mars



Figur 40 3d modell av måling på pauserom 9.mars



Figur 41 3d modell av måling på pauserom 10.mars

