

Therese Lie Fundingsland

# Bruksverdien til frysepunktsensorer benyttet til vinterdrift på flyplass

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Alex Klein-Paste

Juni 2019



Therese Lie Fundingsland

# Bruksverdien til frysepunktsensorer benyttet til vinterdrift på flyplass

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk  
Veileder: Alex Klein-Paste  
Juni 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk





---

## Sammendrag

Kunnskap om forholdene på rullebanen er et essensielt bidrag for å gjennomføre sikker og effektiv drift av flyplass. Med tilstrekkelig informasjon kan tiltakene tilpasses etter nødvendighet og tidspunkt slik at andre prosesser ikke blir negativt påvirket. Bruken av kjemikalier har en negativ innvirkning på omgivelser og er en stor utgift for Avinor. Derfor er det ønskelig å benytte seg av nok, men samtidig ikke for mye kjemikalier. Hvor mye kjemikalier som er nok er derimot vanskelig å evaluere uten et komplett beslutningsgrunnlag, hvilket ikke eksisterer i dag. Brøytelederne ansvarlig for å ta operative beslutninger er derfor avhengig av sin erfaring og magefølelse når de vedtar å legge ut kjemikalie.

I forbindelse med et økt fokus på plasstjenesten og ny oppstart av sensorprosjekt på Bergen lufthavn Flesland, har det blitt behov for å videreutvikle prosedyrer og hjelpemidler for kjemikaliebruk. Dette vil hjelpe med å bygge opp kunnskapen og rammeverket for vinterdrift i Avinor. Det er montert åtte sensorer på rullebanen på Flesland; 6 aktive Frensor frysepunktsensorer fra ASFT, og 2 passive DRS511 sensorer fra VAISALA. Disse er fordelt i to tverrsnitt, nord og sør på rullebanen. Sensorene har tidligere ikke vært operative og først under vintersesongen 2018/2019 var det mulig å gjennomføre en evaluering av sensorene. En slik evaluering vil bli et bidrag for å beslutte om slike støtteverktøy utgjør en nytteverdi og om det bør satses videre på. Rapporten vil bygge opp kunnskap om sensorene og evaluere bruksverdien de utgjør for Avinor.

Bruksverdien til sensorene bygger på hvor pålitelig, nøyaktig og brukervennlig systemet er for de som skal benytte det. Eksisterende litteratur viser til at frysepunktsensorer er nøyaktige og effektive i bruk, men det er lite forskning på sensorene under operasjonelle forhold, og hvordan de fungerer i tilknytning til drift av flyplass. Påliteligheten til sensorene er analysert ved å beregne oppetiden under en stabil periode med vinterforhold og utlegg av kjemikalie. Deretter er det analysert totalt 17 caser som evaluerer troverdigheten og variasjonen til frysepunktdata. Casene og en verifisering av sensorene danner grunnlaget for å bedømme nøyaktigheten til sensorene og brukervennligheten av frysepunktdata. For å dekke kunnskapshull og tilføre informasjon om hvordan bruken av sensorene kan optimaliseres er det gjennomført et feltforsøk under normale operasjonelle forhold på Flesland. Forsøket gjør rede for kjemikalieutvikling på rullebanen ved bruk av konduktivitetmåleren SOBO 20. Samlet presenterer rapporten forskning som tidligere ikke er gjennomført og gir verdifull informasjon om videre arbeid knyttet til kjemikalieutvikling og kjemikaliebesparelse.

Resultatene viser at de passive sensorene har en oppetid tilsvarende 100%, men kun ved 1 av 17 caser registrerer sensoren troverdig frysepunkt for deler av perioden. Ved ingen caser registrerer de passive troverdig frysepunkt over en lengre periode. Den passive sensoren i nord viste under feltforsøk at utslaget i frysepunktverdi er påvirket av tilstedeværelsen til væske. De aktive sensorene har en oppetid på 49%-65%. Fra verifisering viser sensorene avvik på  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  fra frysepunkt på testvæsken, men preget av feilmeldinger og skiftende verdier. Ved 1 av 17 caser ble verdiene vurdert som troverdige, og ved 10 av 17 caser var variasjonene i frysepunktdata høyere enn  $15^{\circ}\text{C}$ . Måleinstrumentet SOBO 20 viste like verdier for målinger under like forhold, men store variasjoner i løpet av feltforsøkets periode. Målingene viser ingen synlig reduksjon i kjemikalimengden på rullebanen, da 18% av individuelle målepunkt viser lik mengde som utgangspunktet gjennom forsøksperioden. Det kan ikke påvises påvirkning fra flytrafikk, men

---

det påvises at det legges minst 7,8m med dobbelt kjemikalieutlegg om senterlinjen. Dette utgjør 17% av kjemikalieforbruket på rullebanen.

Det er for høye variasjoner og for lav pålitelighet på frysepunktdata til å påstå at frysepunkt-sensorene er brukervennlige. Det er ikke funnet en løsning på problemene knyttet til datakvaliteten ved sesongslutt 2019. Grunnet forhold som ikke var optimale under feltforsøket kan det ikke konkluderes noe om hvordan sensorene kan optimaliseres på rullebanen. En bevestigjøring og reduisering av dobbelt utlegg kan potensielt spare Avinor for 17% av kjemikaliemengden og derav redusere miljøpåkjenningen. Mer forskning på kjemikalievariasjoner er nødvendig, men da sensorene hverken er pålitelige, gir et nøyaktig bilde av forholdene på rullebanen, eller er brukervennlige, utgjør systemet en liten bruksverdi for plasstjenesten og brøyteleder slik det fungerer i dag.

---

## Abstract

Knowledge about the runway conditions provides an essential contribution in order to carry out safe and efficient operations at the airport. With sufficient information the measures can be adapted according to necessity and time, so that other processes are not adversely affected. The use of chemicals has a negative impact on the environment and is a large expense for Avinor. Therefore it is desirable to use enough, but at the same time not too much chemicals. How much chemicals is considered enough on the other hand is not easy to determine without a complete basis of decision, which does not exist today. The plow managers responsible for making operational decisions are therefore dependent on their experience and gut feeling when they decide on applying chemicals.

Due to an increased focus on the ground crew and a new startup of the sensor project on Bergen airport Flesland, there has been a need to further develop procedures and tools for chemical operations. This will help when building up knowledge and framework for winter operation in Avinor. There are eight sensors installed in the runway at Flesland; 6 active Frensor freezing point sensors from ASFT and 2 passive DRS511 sensors from VAISALA. These are located in two cross sections, in the north and south of the runway. The sensors have previously not been operative and not until the winter season of 2018/2019 was it possible to carry out an evaluation of the sensors. Such an evaluation will be a contribution when deciding if such support systems provide utility value and should be pursued further. This report will develop knowledge of the sensors and evaluate the utility value they provide for Avinor.

The utility value of the sensors is based on how reliable, accurate and user-friendly the system is for those who uses it. Existing literature indicates that freezing point sensors are accurate and effective in use, but there is little research on the sensors during operational conditions, and how they function in connection with operation of an airport. The reliability of the sensors is analyzed by calculating the percentage of reported freezing-point data, during a stable period with winter conditions and chemical outlay. A total of 17 cases have further been analyzed evaluating the credibility and variation of freezing point data. The cases and a verification form the basis for evaluating the accuracy of the sensors and how user-friendly the data is. To cover knowledge gaps and provide information on how to optimized the use of the sensors, a field test has been carried out during normal operational conditions at Flesland. The experiment gives an account of the chemical development on the runway using the conductivity instrument SOBO 20. Overall, the report presents research that has not previously been carried out and provides valuable information on further work related to chemical development and chemical savings.

The results revealed that the passive sensors reports freezing points 100% of the time, but only in 1 of 17 cases does the sensor report credible freezing points a part of the period. In non cases does the passive sensor register credible freezing points for a considerable time. The passive sensor located north showed that the freezing point value is influenced by the presence of liquid. The active sensors reports freezing points 49%-65% of the time. From verification, the sensors showed a deviations of  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  from the freezing point of the test liquid, and characterized by error messages and changing values. The freezing point values were evaluated as credible in 1 out of 17 cases. The variations of the freezing point data were higher than  $15^{\circ}\text{C}$  in 10 out of 17 cases. The measuring devise SOBO 20 gave equal values for measurements car-

---

ried out with equal conditions, yet major variations during the test period. The average of the measurements showed no clear reduction in the amount of chemical on the runway, as 18% of individual measuring-points showed equal amount as the starting amount throughout. The air traffic showed no clear affect on the chemical amount, but it is shown that at least 7.8m of chemicals are added double about the center line. This represents 17% of the chemical consumption on the runway.

There are too high variations and too low reliability on the freezing point data to claim that the freezing point sensors are user-friendly. No solution has been found to the problems associated with the data quality at the end of the season 2019. Due to the conditions that were not optimal during the field trial, it cannot be concluded on how the sensors can be optimized on the runway. Awareness of the extra usage and reduction of the double outlay can potentially save Avinor of 17% of the chemical amount and hence reduce the environmental impact. More research on chemical variations is needed, but since the sensors are neither reliable, provide an accurate picture of the runway conditions, nor are user-friendly, the system provides a low utility value for the ground crew and runway inspector as it operates today.



---

## Forord

Denne rapporten er et resultat av arbeid gjennomført vårsemesteret 2019 i emne TBA4940 Veg, masteroppgave. Rapporten er skrevet i et samarbeid med Avinor AS i et pågående prosjekt i forbindelse med økt fokus på plasstjenesten.

Masteroppgaven har vært svært lærerik og spennende, og ville ikke vært mulig uten støtte og veiledning fra Avinor og spesielt plasstjenesten på Bergen lufthavn. Det vil rettes en stor takk til Driftsleder på Bergen lufthavn, Petter Emblem, for stort engasjement, støtte og veiledning knyttet til oppgaven. Uten bidraget fra plasstjenesten ville det aldri vært mulig å gjennomføre et feltforsøk på rullebanen under operasjonelle forhold. Takk for imøtekommenhet av samtlige ansatte og tilrettelegging fra ansvarlige.

Det ville heller ikke vært mulig å bidra på prosjektet om ikke veileder hadde foreslått oppgaven og tema. Det rettes en takk til veileder på NTNU, Alex Klein-Paste, for nyttige diskusjoner og gode tilbakemeldinger. Det har vært veldig interessant og beundringsverdig å få ta del i så mye kunnskap og arbeidsglede for faget.

Til slutt rettes det en takk til Norconsult for bidrag med mål av avstander til bruk i analysene. Dette gjorde det mulig å gi gode data med korrekte mål, som ellers ikke ville vært mulig å anslå basert på øyemål.



Therese Lie Fundingsland  
Trondheim, 6. juni 2019



---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>v</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>Forord</b>	<b>ix</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b>	<b>xi</b>
<b>1 Introduksjon</b>	<b>1</b>
<b>2 Bakgrunn</b>	<b>3</b>
<b>3 Metode</b>	<b>5</b>
3.1 Evaluering av frysepunktsensorer . . . . .	5
3.1.1 Verifisering av sensorene . . . . .	5
3.1.2 Analyse av frysepunktdata generert under driftsituasjon . . . . .	6
3.2 Feltforsøk for kjemikalieutvikling . . . . .	7
3.2.1 Kalibrering av SOBO 20 . . . . .	7
3.2.2 Lokasjon av målepunkt . . . . .	8
3.2.3 Gjennomførelse av feltforsøk . . . . .	9
3.2.4 Analyse av kjemikalieutvikling . . . . .	9
<b>4 Resultat</b>	<b>11</b>
4.1 Evaluering av frysepunktsensorer . . . . .	11
4.1.1 Verifisering av sensorene . . . . .	11
4.1.2 Analyse av frysepunktdata generert under driftsituasjon . . . . .	13
4.2 Feltforsøk for kjemikalieutvikling . . . . .	17
4.2.1 Kalibreringskurve SOBO 20 . . . . .	17
4.2.2 Passiv sensor . . . . .	18
4.2.3 Troverdigheten til målinger . . . . .	19
4.2.4 Resultat av målinger . . . . .	19
4.2.5 Kjemikalieutvikling . . . . .	22
4.2.6 Kjemikaliebesparelse . . . . .	24
<b>5 Diskusjon</b>	<b>25</b>
5.1 Begrensninger ved prosessering av data . . . . .	25
5.2 Bruksverdien til frysepunktsensorene . . . . .	26
5.3 Feltforsøk . . . . .	28
5.3.1 Begrensninger ved SOBO 20 . . . . .	28
5.3.2 Begrensninger ved forsøket . . . . .	28
5.3.3 Kjemikalieutvikling . . . . .	29
<b>6 Konklusjon</b>	<b>31</b>
<b>7 Anbefalinger</b>	<b>31</b>
<b>Referanser</b>	<b>32</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>33</b>



# 1 Introduksjon

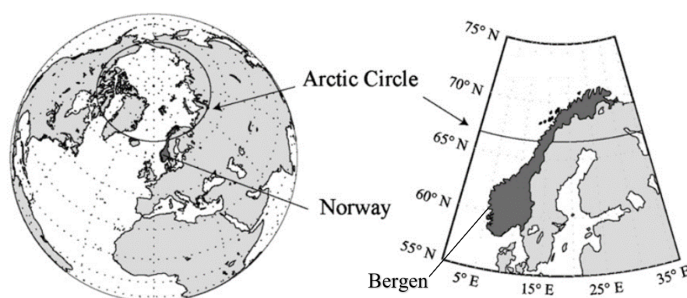
For å kunne drive sikker og effektiv vinterdrift av flyplass er det viktig med riktig og oppdatert informasjon om forholdene på rullebanen. Denne informasjonen benyttes til å avgjøre om det må iverksettes tiltak for å holde banen snø- og isfri, ved utlegg av kjemikalier eller mekaniske operasjoner. Et utlegg av kjemikalier vil medføre et opphold i flytrafikken på rundt 15 minutter og potensielt ha store konsekvenser for trafikken om det legges midt i rushperioden. Tidspunktet og timingen for utlegg er derfor avgjørende.

Overbruk av kjemikalier har en miljøskadelig og økonomisk konsekvens, mens for lavt forbruk kan gi fatale konsekvenser for fly og passasjerer. Konsekvensene av å legge for lite og derav dårlige forhold på rullebanen er ansett som høyere enn å legge for mye, som medfører at kjemikalieforbruket i dag er høyere enn det som er nødvendig. Overforbruket av kjemikalier er skadelig for miljøet og omgivelsene, og det stilles strenge krav internasjonalt for å redusere dette. Bruk av avisningskjemikalier står for høye utgifter for flyplassene, og vintersesongen 2017/2018 brukte Bergen lufthavn 6,5 millioner kroner på kjemikalier.

Evaluering av rullebaneforhold blir gjort av den aktuelle brøytelederen som er på vakt. Vedkommende utleder en SNOWTAM rapport og klassifiserer rullebanen på en 5-punkt skala, fra *poor* til *good*. Kompetansen til brøyteleder og erfaring er derfor veldig viktig. IRIS (Integrated Runway Information System) ble utviklet som et støtteverktøy for operasjonelle beslutninger (Røsjø, 2018), men det er fortsatt behov for verktøy som kan gi et fullstendig og komplett grunnlag for beslutningstaker. Avinor ønsker seg prosedyrer og hjelpemidler for kjemikaliedrift, og en evaluering av ny teknologi slik som frysepunktsensorer kan derfor være med på å gi økt støtte til videre satsning. Om sensorer kan gi et korrekt bilde av forholdene på rullebanen og dermed gi informasjon om når et nytt utlegg er nødvendig, vil dette ta bort mye av ansvaret brøytelederne i dag sitter med og kan spare flyplassene for unødvendig kjemikaliebruk.

## Beskrivelse av Bergen lufthavn - Flesland

Bergen lufthavn ligger på Flesland, ca. 15 km sør for Bergen sentrum. Beliggenheten er vist i figur 1. Flyplassen, heretter omtalt Flesland, har en asfaltert rullebane med lengde 2990m og bredde 45m. Flesland har ca. 330 daglige flybevegelser.



Figur 1: Lokasjon av Bergen flyplass

Beliggenheten nært kysten gjør at Flesland har et mildt kystklima med generelt små temperatursvingninger gjennom året og store mengder nedbør. Flesland opplever kulde under  $0^{\circ}\text{C}$  i perioden november-april, mens gjennomsnittstemperaturen i denne perioden varierer mellom  $0^{\circ}\text{C}$  og  $4^{\circ}\text{C}$ .

---

## Prosjektet

I 2015 ble prosjektet *Rullebanesensorer på Bergen Flyplass* startet opp, og 6 frysepunktmålere av typen Frensor fra ASFT ble montert og installert i rullebanen. Disse er montert tre i bredden ved to lokasjoner, sør for A3 og nord for A7, vist i figur 2. I tillegg til Frensorene er det montert to passive sensorer fra VAISALA, en ved hvert breddesnitt. Sensorene ble montert høsten 2015 og ble operative høsten 2018.



**Figur 2:** Oversiktsbilde Bergen lufthavn med plassering av sensorer på rullebanen

Installasjon av en sensor krever et inngrep i asfalten for sensor og ledninger. Dette innebærer kutting i asfaltdekket for deretter å legge kablene og etterfylle med fuger. Fuger er sett på som en svakhet i asfalten og vil kunne forårsake konsekvenser for flyplassen om de løsner og havner i en flymotor. En kommende re-asfaltering på Flesland i 2023 vil gi en mulighet for å installere eventuelle sensorer parallelt med arbeidet, og unngå store inngrep i asfalten. En slik kombinasjon av arbeid ville vært best for flyplassen og en evaluering av sensorene før re-asfalteringen er derfor gunstig.

Prosjektet har som mål å evaluere sensorene for å beslutte om dette skal satses videre på og dermed implementeres hos flere flyplasser i Norge. Prosjektet har stor interesse hos andre flyplasser og en grundig evaluering vil være nødvendig for å unngå satsning på systemer som ikke fungerer, og som er en unødvendig økonomisk utgift for Avinor.

Rapporten er utledet i et tett samarbeid med Avinor og det pågående evalueringsprosjektet. Rapporten vil tilføre økt kunnskap om kjemikalieutviklingen på rullebane og bruke kunnskapen i evalueringen av sensorene. Ved å systematisk analysere data generert av sensorene gjennom vintersesongen 2018/2019, vil rapporten ha som hensikt å belyse bruksverdien til frysepunktsensorene sett opp mot å ta operative beslutninger. Rapporten vil danne en bedre forståelse for hvordan sensorer opererer i reelle forhold og bruken av sensorer som en evalueringsmetode for rullebaneforhold.

---

## 2 Bakgrunn

Sensorer har vært på markedet i flere tiår og bidratt til å gi bedre informasjon om målbare forhold i operasjonelle sammenhenger. Sensorer har lenge vært brukt til å måle temperatur på rullebanen, og i nyere tid kan de også måle frysepunkt. Korrekt kunnskap om disse parametrene er ytterst viktig for å gjennomføre tilstrekkelig vinterdrift for å hindre at snø og is legger seg, og dermed at friksjonen på rullebanen reduseres.

Det eksisterer både aktive og passive sensorer for måling av temperatur og frysepunkt. Den passive sensoren måler konduktiviteten på væsken som er tilstede før deretter å utlede frysepunktet (VAISALA, 2017). I slike målinger er sensoren kalibrert for den type kjemikalie som benyttes, og sensoren vil ikke kunne ta hensyn til kontaminering av væsken (Jonsson, 2009). Den aktive sensoren utleder frysepunktet ved å aktivt varme og kjøle væsken tilstede i syklusen (RAMSYS, 2018). For en aktiv sensor av typen Frensor benyttes et Peltier-element til å danne en varmefluks, og frysepunktet registreres når væsken gir fra seg latent-smeltevarme (Millgard, 1992). En aktiv sensor vil derfor kunne måle frysepunktet uavhengig av hvordan type kjemikalie og mengde kontaminering (Jonsson, 2009), og det påstås at dette gjør den bedre egnet for måling av frysepunkt i reelle situasjoner (RAMSYS, 2018).

Temperatur- og frysepunktsensorer er påvist å være nøyaktige og effektive i bruk, men hvor nøyaktig sensoren er varierer med forsøket som er gjennomført og type sensor som er benyttet. De passive sensorene som testes er i de fleste tilfeller mindre nøyaktig enn de aktive og har større variasjoner i målingene (Fleege et al., 2006). Forsøk på nøyaktigheten til aktive sensorer viser at de kan anslå temperaturer med avvik på  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$  (Fleege et al., 2006; Katz, 1993; RAMSYS, 2018), men viser seg å ha et økende avvik ved økende kjemikaliekonsentrasjoner (Jonsson, 2009). En produsent påstår at passive sensorer ikke påvirker omgivelsene slik aktive sensorer gjør (VAISALA, 2017), men det finnes også forskning som påstår at aktive sensorer ikke påvirker omgivelsene (Katz, 1993).

Sensorer benyttet i operasjonelle sammenhenger byr på andre problemer enn forsøk gjennomført i laboratorier med kontrollerte variabler. I en reell situasjon vil forhold som initial tap, oppløsningstid, avrenning, avblåsning og sprut medføre at den faktiske mengden varierer fra den antatte mengden (Blomqvist et al., 2011; Lysbakken, 2008). Forsøk gjennomført i Sverige tok for seg frysepunktsensorer på et vegstrekke med trafikk, og kom frem til at det tok tid før sensoren rapporterte konsentrasjonen av salt. Den rapporterte konsentrasjonen hadde i tillegg en større variasjon enn modellen de antok (Blomqvist et al., 2011).

Hvordan kjemikaliekonsentrasjonen utvikler seg over tid vil være verdifull informasjon for plasttjenesten. Faktorene som påvirker konsentrasjonen i en operasjonell situasjon vil kunne gi ulike fordelinger over rullebanens lengde, slik som ujevn påvirkning fra flytrafikken, vær og tapskilder. Klutmålinger med høyabsorberende kluter er blitt benyttet i litteraturen til å påvise væskemengde (Blomqvist and Gustafsson, 2012; Lysbakken, 2013) og kontaminering (Skjærbekk, 2017). Et annet redskap som kan benyttes til å se på kontaminering er konduktivitetmåleren SOBO 20. Instrumentet viser  $g/m^2$   $\text{NaCl}$  konsentrasjon på testområdet, og kan ved oppløst  $\text{NaCl}$  påvise konsentrasjonen med god presisjon (Lysbakken and Lalagüe, 2013; Myrup et al., 2005). Ved krystallisert  $\text{NaCl}$  vil derimot avviket mellom reell mengde og målt mengde øke (Lysbakken and Lalagüe, 2013).

Det er ikke funnet litteratur som omhandler bruken av sensorer på rullebane, og bruken av sensorer for et annet kjemikalie enn  $\text{NaCl}$ . I Norge benyttes kjemikalie Aviform som avvisningsvæske på rullebanen og ikke  $\text{NaCl}$  slik som på vegnettet. Aviform er et kjemikalie basert på stoffet Kaliumformiat og er vist å ha større frysepunktreduserende effekt enn  $\text{NaCl}$  (Dahl,

---

2009). Reduksjonen av frysepunkt kommer av at fremmede molekyler er tilstede i løsningen, og en væske med høyt smeltepunkt og lav smelteentalpi vil ha en høy reduksjon i frysepunktet (Atkins and De Paula, 2002). Fase-diagrammet til et stoff presenterer stoffets fysiske endringer i tilstand (Atkins and De Paula, 2002), og tilføres fremmede kjemikalier vil frysepunktet endres i takt med en fryse-kurve i et fasediagram.

Frysepunktet til en væske sett i sammenheng med vinterdrift forteller hvor bestandig væsken er på det aktuelle tidspunktet mot temperaturendringer. Dette kan bli målt ved å ta utgangspunkt i konsentrasjonen av kjemikalier, altså hvor mye kjemikalier som er tilstede per målte volum, og frysepunktet sier da lite om bestandigheten mot endring av vannmengden tilstede (Lysbakken, 2008). Robustheten til en overflate behandlet med kjemikalie er overflatens bestandighet mot frysing. Dette innebærer da både evnen til å takle endring i værforhold og endring i temperatur. For å gi et helhetlig inntrykk av overflateforholdene må informasjon om både mengde kjemikalier per areal [ $g/m^2$ ], og mengden kjemikalie per volum [ $g/L$ ] være kjent. En sensor som kun måler frysepunkt vil derfor ikke gi tilstrekkelig informasjon om forholdene (Lysbakken, 2008).

Et annet problem med frysepunktsensorer er at informasjonen fra sensorene ikke samsvarer med andre informasjonskilder som beslutningstaker er vant med. Frysepunkt oppgis i  $^{\circ}C$  mens tiltakene som gjennomføres under drift, altså bruk av maskiner og mengde dosering, oppgis i  $g/m^2$ . Hvordan frysepunkt skal konverteres til  $g/m^2$  er ikke intuitivt og kan derfor skape forvirring for mennesket som ikke er utdannet til å tolke informasjonen (Lysbakken, 2008).

Frysepunktsensorer er ment som en støtte i vurderingen av når ny kjemikalie skal legges for å forhindre is og rimdannelse. Bruken av disse vil derfor være egnet på store flyplasser med høy trafikk, vekslende klima rundt frysepunkt, og som benytter svartbane-strategi (Klein-Paste, 2018). Her opprettholdes ønsket standard på rullebanen med preventive og reaktive tiltak som omhandler bruken av kjemikalie; Anti-ising, anti-kompaktering og de-ising (Klein-Paste and Dalen, 2018). Dette gjør Bergen til en aktuell flyplass for å teste bruken av frysepunktsensorer.

Tilgjengelig litteratur viser til korte forsøk under kontrollerte omgivelser, og gir ikke et tilstrekkelig grunnlag for å evaluere bruken av frysepunktsensorer. Litteraturen omhandler forsøk på veg og med kjemikalie  $NaCl$ , og tar ikke for seg forsøk på flyplass og med andre kjemikalier. Det er ikke funnet informasjon om mer omfattende forsøk har vært gjennomført, omhandlende nøyaktigheten til aktive sensorer over en lengre tidsperiode, i operasjonelle situasjoner, eller omhandlende rullebane og kjemikalievariasjoner på rullebanen. Hensikten med denne rapporten er å se på bruksverdien til sensorer på rullebane sett opp mot å ta operative beslutninger av bakkepersonalet. Rapporten vil forsøke å evaluere nøyaktigheten til de installerte sensorene på Flesland under operasjonell sammenheng og danne et bilde av hvordan bruken av sensorene passer inn i eksisterende driftsoperasjoner. For å konstantere om nøyaktigheten er tilstrekkelig vil rapporten ta for seg troverdigheten på frysepunktdata og hvor pålitelig systemet er under driftssituasjon. Ved å kartlegge variasjonene som oppstår i kjemikaliemengden etter utlegg vil rapporten presentere hvordan sensorene kan optimaliseres på rullebanen og alternative løsninger for hvordan Avinor kan redusere kjemikalieforbruk. Rapporten vil utfylle eksisterende litteratur som omhandler nøyaktigheten til sensorer, i tillegg til å supplere verdifull informasjon om sensorbruk på rullebane, kjemikalievariasjoner på rullebane og metoder for måling av kjemikaliemengde.



---

## 3 Metode

Det har vært utfordringer med å få systemet i gang, og Avinor, norsk leverandør og svensk leverandør har bidratt i arbeidet for å evaluere sensorene under vintersesongen 2018/2019. Antatte problemer har vært utforsket gjennom vintersesongen og alternative løsninger har vært implementert fortløpende. En oversikt over aktiviteter knyttet til utbedring av sensorene er listet i vedlegg 1.

Denne seksjonen tar for seg ulike analyser knyttet til generering av frysepunktdata, datakvalitet og kjemikalieutvikling, for å gi en utfyllende gjennomgang av sensorene. Frysepunktsensorene er evaluert hovedsaklig med en teoretisk tilnærming, mens feltforsøk tar for seg kunnskap knyttet til kjemikalieutvikling.

### 3.1 Evaluering av frysepunktsensorer

Sensorene er operative 24 timer i døgnet med logging av resultater i minutt oppløsning, derfor er det store mengder data som genereres. Plattformen Power BI er benyttet til å fremstille rådata fra sensorene og illustrere resultatene for plasstjenesten. I tillegg lagrer plattformen historiske data som kan nedlastes i Microsoft Excel format. For å evaluere sensorene er det benyttet følgende datakilder:

- Sensordata tolket i Power BI
- Logging av kjemikalieutlegg

#### 3.1.1 Verifisering av sensorene

I samarbeid med Ramsys og ASFT ble det gjennomført et verifiseringsforsøk på Flesland 24. januar 2019. Forsøket hadde som hensikt å teste nøyaktigheten til de aktive sensorene og bytte batteriet til systemet i nord for å få riktig tidspunkt for loggen. Forsøket var utarbeidet av teknikere fra ASFT og ble utført etter at flyplassen var stengt slik at det kunne gjennomføres uavbrutt.

Testvæsker med ønsket frysepunkt ble laget ved hjelp av et refraktometer og oppbevart i flasker. Totalt ble det benyttet tre testvæsker med frysepunktene;  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $-5^{\circ}\text{C}$  og  $-15^{\circ}\text{C}$ . Hver av væskene ble påført samtlige sensorer i seksjon A og C. Det ble brøytet mellom forsøket i seksjon A og C og mellom testvæske  $0^{\circ}\text{C}$  og  $-5^{\circ}\text{C}$  i seksjon C.

For hvert testutlegg ble sensorene vasket og tørket før testvæske ble påført. For å skape kontrollerte omgivelser ble det plassert porselenstallerkener over sensorene. En ekstern datamaskin ble koplet til nettverket slik at teknikere fra ASFT kunne overvåke forsøket gjennom sin egen datamaskin. Teknikeren hadde da muligheten til å se rådata fra sensorene, mens en representant fra Avinor så rapporteringene i Power BI.

---

### 3.1.2 Analyse av frysepunktdata generert under driftsituasjon

Det har systematisk blitt gjennomført analyser av datagrunnlaget for å få en oversikt over kvaliteten på data som sensorene genererer og graden av generert data. Analysene er gjennomført i Microsoft Excel. Det er underveis blitt utarbeidet grafiske illustrasjoner for både de aktive og de passive sensorene.

Bruksverdien til sensorene belyses med analyse av oppetiden og kvaliteten på frysepunktdata.

#### Sensorenes oppetid

Det er nødvendig at det genereres nok data til å danne et helhetlig og tilstrekkelig bilde av forholdene på rullebanen for å kunne benytte data fra sensorene ved beslutninger. Det betyr at graden av sensorrapporteringer må være høy nok til å gi et sammenhengende beslutningsgrunnlag.

Analyse av oppetiden bygger på data generert i perioden 16.01.19-30.01.19. Denne perioden hadde et godt datagrunnlag for utleggshistorikk og gode forutsetninger værmessig for at sensorene skulle generere data. Totalt ble det loggført 16 utlegg i denne perioden, hvorav to utlegg ikke er tatt med i analysen da det ikke var angitt tidspunkt for utlegget i skjema.

For hvert utlegg er det summert opp hvor høy grad sensorene rapporterer frysepunkt eller feilverdier. De ulike feilverdiene er summert opp hver for seg, og gjennomsnittet beregnet av samtlige 14 utlegg utgjør fordelingen for hver av sensorene.

For hvert utlegg er det satt følgende begrensninger i analysen:

- Beregningen begynner ved angitt utleggstidspunkt i logg og fortsetter til nytt utlegg eller maksimalt over en periode på 24 timer.
- Passiv sensor ved breddesnittet rapporterer forhold tilsvarende fuktig/våt/is på rullebane.
- Passiv sensor ved breddesnittet rapporterer lavere enn 5°C.

#### Kvaliteten på generert frysepunktdata

Kvaliteten på frysepunktdata er viktig om plasttjenesten skal kunne benytte seg av rapporteringene til å foreta beslutninger. Basert på oppetid bygger de videre analysene seg på de utleggene som hadde den høyeste graden av generert data med en samlet oppetid > 70%. Dette utgjør totalt 14 caser. I tillegg analyseres 4 tilfeldige caser fra vintersesongen. Det er utarbeidet illustrasjoner i Microsoft Excel som viser datakvaliteten for samtlige sensorer ved hver case.

For å vurdere casene er det satt følgende begrensninger i analysen:

- Analysen bygger på de samme begrensningene som i analysen om oppetid.
- Det tas hensyn til at utlegg kan ha funnet sted til annet tidspunkt enn oppgitt, målinger som virker troverdige etter en stund kan derfor vurderes som troverdige hele perioden.
- Målinger vurderes som troverdig om de er sammenhengende og konsekvente. Verdien for frysepunktet er nevnt, men ikke like høyt vektlagt.
- Variasjoner i frysepunktverdier må skje hyppig. En økning eller reduksjon av og til er ikke tatt hensyn til når variasjon vurderes.

---

## 3.2 Feltforsøk for kjemikalieutvikling

I samarbeid med Flesland ble det gjennomført et feltforsøk for å se på utviklingen i kjemikalie mengde ved normal drift. Forsøket ble konstruert for å etterligne et kjemikalieutlegg på tørr bane med kunstig påvirkning av vær. Oppsettet for forsøket ble utarbeidet i samarbeid med kontaktperson på Flesland og veileder på NTNU. Forsøket ble tilpasset operasjonelle forhold og utført slik at det skulle fungere best mulig med normal drift. For å analysere resultatene fra forsøket er det benyttet følgende datakilder:

- Sensordata tolket i Power BI
- Lokal trafikk-rapport for flybevegelser ved Flesland

Da flyavganger er rapportert med en nøyaktighet på  $\pm 1$  minutt og flylandinger er rapportert med en nøyaktighet på  $\pm 5$  minutter, er det antatt at avganger og landinger har funnet sted da de er registrert. Dersom avgangen og landingen har funnet sted på samme tidspunkt som den registrerte målingen, er målingen antatt å ha funnet sted etter flybevegelsen.

Til forsøket er det benyttet konduktivitetsmåleren SOBO 20. SOBO 20 måler kjemikaliekonsentrasjon i  $g/m^2$   $NaCl$ , og for å kunne benytte instrumentet på Aviform ble det utledet en kalibreringskurve fra  $NaCl$  til Aviform.

### 3.2.1 Kalibrering av SOBO 20

Kalibreringskurven for SOBO 20 fra  $NaCl$  til Aviform er utledet ved å teste kjente mengder av Aviform i laboratoriet, og registrere målt mengde  $NaCl$  av instrumentet.

Formel (1) er benyttet til å kalkulere mengde Aviform i  $mL$  for en ønsket mengde i  $g/m^2$ . I utregningene er det benyttet en tetthet for Aviform på  $1,35$   $g/ml$  (ADDCON, 2018) og en diameter for måleområdet på  $5,6$   $cm$  (Lysbakken and Lalagüe, 2013). I testvæsken er det benyttet 15% aceton.

$$mengde_{mL} = \frac{mengde_{\frac{g}{m^2}} * areal_{m^2}}{Tetthet_{\frac{g}{mL}}} \quad (1)$$

Hver måling ble gjennomført ved å påføre en kjent mengde Aviform i en testbeholder og måle mengden  $NaCl$  med SOBO 20. Mikropipette ble benyttet for å få riktig mengde Aviform i  $\mu l$ . Det ble gjennomført tre repetisjoner for hver kjent mengde Aviform, og konsentrasjonene  $0$   $g/m^2$  til  $90$   $g/m^2$  ble testet med et intervall på  $5$   $g/m^2$ . Mellom hver repetisjon ble testbeholderen vasket med springvann og tørket av for å unngå rester av tidligere målinger. Kalibreringskurven fra  $NaCl$  til Aviform ble utledet med lineærregresjon av gjennomsnittet til målingene.

### 3.2.2 Lokasjon av målepunkt

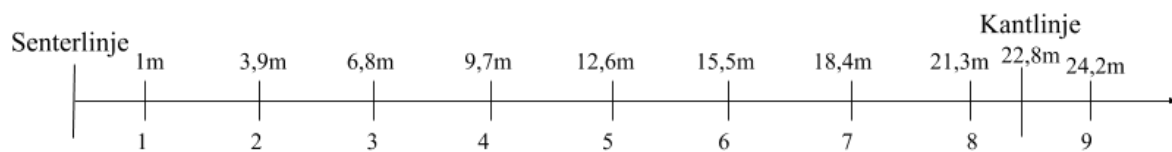
Lokasjonen for målepunkt ble valgt på bagrunn av hvor det er størst påvirkning fra flytrafikken, for å måle utvikling ved flyavgang og flylanding. Det ble antatt at flytrafikken ville gå fra nord mot sør da dette er mest vanlig. Seksjon A representerer da påvirkning fra flyavgang og seksjon B representerer påvirkning fra flylanding. For hver seksjon ble det gjennomført målinger ved ti tverrsnitt ved forskjellige tidspunkt, hver med 8 målepunkt for å dekke hele bredden av rullebanen.

I området mellom A2 og A3 vil fly benytte seg av motorkraft for å komme opp i fart, mens mellom A4 og A5 vil motorbrems benyttes av større fly for å redusere fart. Første tverrsnitt ble derfor valgt til opplysningsskiltet for A3 i seksjon A og for A5 i seksjon B. De neste 9 tverrsnittene ble valgt ut nord for foregående tverrsnitt for å minimere påvirkningen fra tidligere målinger på nye målinger. Figur 3 viser lokasjonen for alle tverrsnitt ved begge seksjonene. Som figuren viser ble tverrsnitt  $A_9$  og  $B_9$  gjennomført midt mellom opplysningsskiltene i strekningen, og  $A_{10}$  og  $B_{10}$  ved opplysningsskilt A2 og A4.



Figur 3: Illustrasjon av tverrsnitt for målinger

Målinger er gjennomført på vestsiden av rullebanen og det er antatt symmetri om senterlinjen. Skrittlengde ble benyttet som metode for måling av avstand mellom hvert målepunkt. Figur 4 viser målepunktene med avstand i bredden.



Figur 4: Tverrprofil med nummerering av målepunkt og tilhørende breddeprofil fra senterlinje

### 3.2.3 Gjennomførelse av feltforsøk

Sammen med personell på Flesland ble det utviklet et oppsett for når alle aktivitetene i forsøket var mulig å gjennomføre. Det ble bestemt at det skulle legges kjemikalie fra A1 til A5, og i hele rullebanens bredde for å gi like forhold for flyene. Tabell 1 viser når alle målinger og aktiviteter i forsøket ble gjennomført basert på tid fra utlegget.

Det ble gjennomført tre repetisjoner før utlegg for å se hva SOBO 20 måler på asfalt uten kjemikalie. I tillegg ble det utført to repetisjoner for målepunktene på tverrsnitt  $A_7$  og  $B_7$ . Dette for å se på variasjoner i hva SOBO 20 registrerte ved lik bredde og samme tid. Gjennomsnittsverdi fra de to målingene er benyttet i videre arbeid med tverrsnitt  $A_7$  og  $B_7$ . Forsøket ble utført med assistanse fra plasttjenesten på Flesland. For hvert målepunkt som ble testet ble resultatet annonsert slik at forsøksassistenten noterte ned mengden på utskrevet skjema. Figur 5 viser hvordan målingene ble utført og den praktiske anvendelsen av instrumentet SOBO 20. Etter hver måling av de ulike tverrsnittene ble resultatene overført til Microsoft Excel for videre prosessering. Målinger som er utført feil eller som i senere tid har vist seg å ikke være teoretisk mulig er fjernet fra resultatene og i tabell 1.



Figur 5: Måling av kjemikaliemengde på rullebane under feltforsøk

### 3.2.4 Analyse av kjemikalieutvikling

Kalibreringskurven utledet på laboratoriet ble benyttet til å konvertere mengden  $NaCl$  til mengde Aviform. Ved analyse av kjemikalieutviklingen er det benyttet gjennomsnittsverdier for kjemikalie mengden for å eliminere spredning i verdiene. Gjennomsnittsverdiene er brukt til å analysere kjemikalieutviklingen opp mot tid etter utlegg og ved påvirkningen fra flytrafikk. Resultater fra forsøket gjorde det i tillegg mulig å beregne potensiell kjemikaliebesparelse ved reduksjon av dobbelt utlegg. Dette ved å se på hvor stor andel av rullebanen som legges dobbelt og deretter se det i sammenheng med kostnadene knyttet til kjemikaliebruk.

Tabell 1: Aktiviteter under feltforsøk

Dato	Tid etter utlegg [time:min]	Område	Tverrsnitt	Kommentar
Oppstart forsøk				
11. april	Før forsøk	Sør for A1	Test	Base-line forsøk for SOBO 20 på upåvirket asfalt. 3 repetisjoner.
	00:00	A1-A5		Utlegg av $30g/m^2$ Aviform *
	00:00		$A_1$	Måling parallelt med utlegg sørover på rullebanen
	00:19		$B_1$	Målepunkt 1
	00:31		$B_1$	Målepunkt 2, 3, 4, 8, 9
	1:31		$A_2$	
	01:39		$B_2$	Målepunkt 1-4
	01:42		$B_2$	Målepunkt 5-8
	02:38		$A_3$	Målepunkt 1, 3-8
	02:48		$B_3$	
	03:06-03:21	A1-A5		La vann med gammel kjemikaliebil, $100g/m^2$ **
	03:16		$A_4$	***
	03:22		$B_4$	
	04:28		$A_5$	
	04:36		$B_5$	Måling 1-2
	04:40		$B_5$	Måling 3, 4, 5, 6, 7
	04:51-09:51			Rushperiode på flyplassen. Alle målinger satt på vent midlertidig
	10:02		$A_6$	
	10:05		$B_6$	
	11:06		$B_7$	Måling 1-8 første repetisjon, 1-7 andre repetisjon. Repetisjon gjennomført på samme bredde 30cm fra hverandre.
11:13		$A_7$	Måling 1-7, to repetisjoner per måling. Repetisjon gjennomført på samme bredde 30cm fra hverandre.	
13:07		$A_8$		
13:09		$B_8$	Måling 1-7	
14:53-20:45			Rullebane stengt/upåvirket	
12. april	20:03		$A_9$	
	20:06		$B_9$	
	26:29		$A_{10}$	Målepunkt 1-3
	26:33		$B_{10}$	
Forsøk avsluttet				

\*  $30g/m^2$  medfører  $60g/m^2$  noen meter over senterlinje etter måling  $A_1$  og  $B_1$ .

\*\* Bilen kan bare legge  $50g/m^2$  vann hver overkjøring, som gir to overkjøringer på vestsiden og to på østsiden. Begynte ved A5 og kjørte nordover på vestsiden, deretter østsiden tilbake. Prosessen ble så repetert.  $100g/m^2$  vann medfører  $200g/m^2$  noen meter over senterlinjen.

\*\*\* Kjemikaliebil hadde kun kjørt tre av fire overkjøringer.  $150g/m^2$  vann noen meter fra senterlinjen.

---

## 4 Resultat

Videre presenteres resultater fra arbeidet gjennomført under vintersesongen 2018/2019. Resultater knyttet til evalueringen av sensorene presenteres først, deretter resultater fra feltforsøket.

### 4.1 Evaluering av frysepunktsensorer

Resultatene fra arbeidet knyttet til utbedring av sensorene er listet i vedlegg 1.

#### 4.1.1 Verifisering av sensorene

Verifiseringen beviste at rådata fra sensorene samsvarer med data presentert i Power BI, hvilket betyr at Avinor tolker rådata riktig. Dette ble bevist ved at teknikere fra ASFT leste resultatene fra rådata, mens Avinor leste resultatene fra tolket Power BI data.

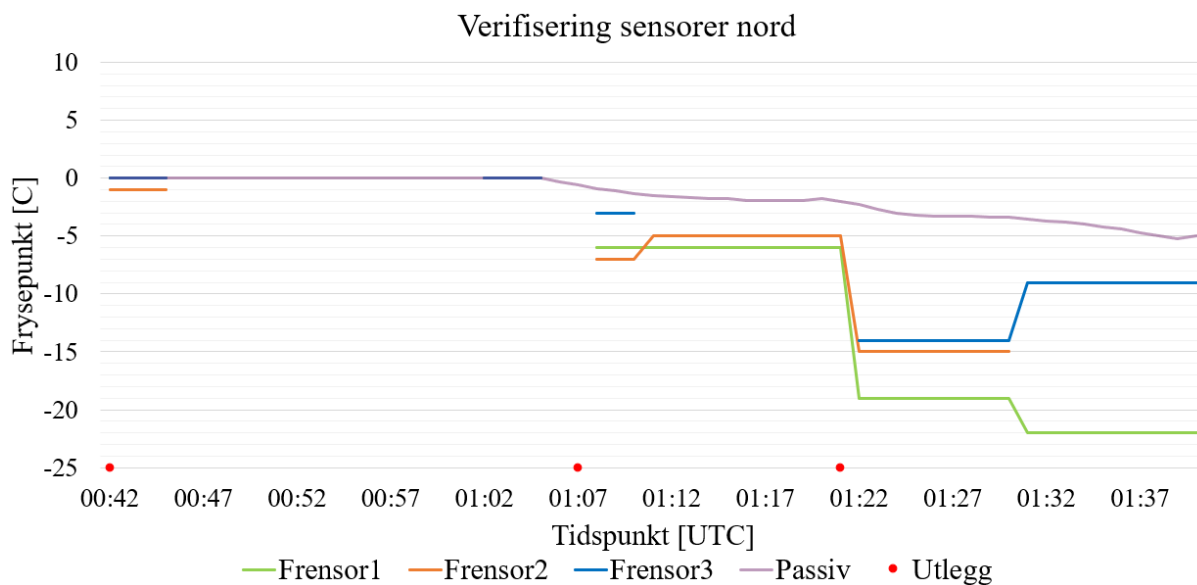
Resultatene fra verifiseringen er presentert både i tabell og grafisk. Tabellen inneholder den rapporterte frysepunktverdien og eventuelle feilmeldinger som oppsto før frysepunktverdi eller ved neste syklus. Den grafiske presentasjonen viser tidsperioden forsøket ble utført og resultatene til sensorene slik plasttjenesten ville fått det presentert. Hvert punkt for utlegg i figurene representerer testvæske med stigende frysepunkt, 0°C, -5°C og -15°C.

#### Sensorer i nord

Resultatene fra verifiseringen i nord er listet i tabell 2 og presentert grafisk i figur 6.

Tabell 2: Resultater fra verifiseringsforsøk i nord

Testvæske frysepunkt [°C]	Sensor	Sensor frysepunkt [°C]	Kommentar
0	Frensor 1	0	Feilverdien: <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> etter fire minutter
	Frensor 2	-1	Feilverdien: <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> etter fire minutter
	Frensor 3	0	Feilverdien: <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> etter fire minutter
	Passiv	0	
-5	Frensor 1	-6	
	Frensor 2	-7	Steg til -5°C etter tre minutter
	Frensor 3	-3	Feilverdien: <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> etter tre minutter
	Passiv	-0,3	Synkende frysepunkt med ca. -0,2°C hvert minutt
-15	Frensor 1	-19	Sank til -22°C ved andre syklus
	Frensor 2	-15	<i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> ved andre syklus
	Frensor 3	-14	Økte til -9°C ved andre syklus
	Passiv	-2,3	Synkende frysepunkt med ca. -0,2°C hvert minutt



**Figur 6:** Rapporteringer fra sensorer i nord under verifisering

Resultatene i nord viser at de aktive sensorene er relativt nøyaktige med en gang kjemikalie er påført. Etter fire minutter viste alle de aktive sensorene feilverdier ved testvæske med 0°C. Dette var også tilfelle for Frensor 3 ved -5°C og Frensor 2 ved -15°C. Resultatene viser at de aktive sensorene registrerte nye frysepunkt for hver målesyklus som ikke ga feilverdi, selv om det ikke var ytre påvirkning eller endringer i testen. Av de første frysepunktene som rapporteres har verdiene ett maksimalt avvik på  $\pm 4^\circ\text{C}$  fra testvæsken. Den passive sensoren viser en trend mot lavere frysepunkt, men med en stor forsinkelse fra når utlegget er lagt.

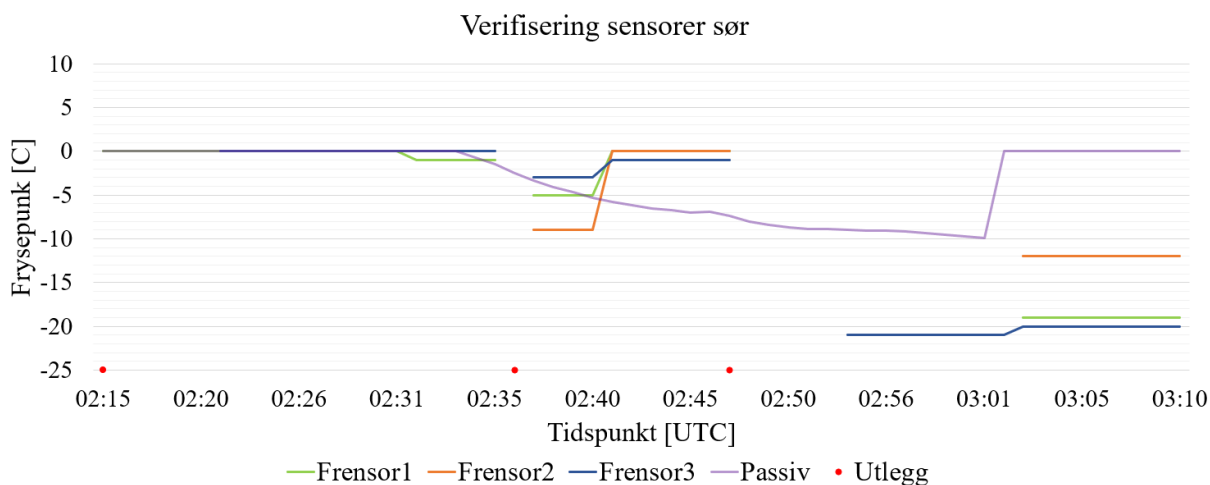
### Sensorer i sør

Resultatene fra verifiseringen i sør er listet i tabell 3 og presentert grafisk i figur 7.

**Tabell 3:** Resultater fra verifiseringsforsøk i sør

Testvæske frysepunkt [°C]	Sensor	Sensor frysepunkt [°C]	Kommentar
0	Frensor 1	0	
	Frensor 2		Feilverdi <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i>
	Frensor 3	(0)	Feilverdien: <i>Temperatur over måleområde (&gt; +10C)</i> ved første syklus, 0°C ved andre syklus
	Passiv	0	
-5	Frensor 1	-5	Øker til 0°C ved andre syklus
	Frensor 2	-9	Øker til 0°C ved andre syklus
	Frensor 3	-3	Øker til -1°C ved andre syklus
	Passiv	-3,3	Synkende frysepunkt med ca. -0,5°C hvert minutt
-15	Frensor 1	(-19)	Feilverdi -9990, deretter -9998. Ved tredje syklus -19°C
	Frensor 2	(-12)	Feilverdi -9990, deretter <i>Operasjon stoppet</i> . Ved tredje syklus -12°C
	Frensor 3	(-21)	Feilverdi -9990, deretter -21°C
	Passiv	-7,4	Synkende frysepunkt med ca. -0,3°C hvert minutt





Figur 7: Rapporteringer fra sensorer i sør under verifisering

Den passive sensoren i sør viser i likhet med den passive i nord en trend mot lavere frysepunkt, men ikke momentant den frysepunktverdien som er lagt. Klokket 03:01 øker den passive sensoren frysepunktet til  $0^{\circ}\text{C}$  på tross av kontrollerte omgivelser. Ved testvæske med  $0^{\circ}\text{C}$  viser kun Frensor 1 riktig frysepunkt momentant, mens ved testvæske  $-15^{\circ}\text{C}$  viser ingen riktig frysepunkt momentant. Av de første frysepunktene som rapporteres har verdiene ett maksimalt avvik på  $\pm 6^{\circ}\text{C}$  fra testvæsken.

### Konklusjon fra ASFT

Teknikere fra ASFT konkluderte etter forsøket at det må være støy på kablene som forårsaker avviket, da det er et for stort og utbredt avvik til at det kan være en sensorfeil. Både den norske og den svenske leverandøren var enig i at systemet ikke fungerte som det skulle. Da kablenes lengde er innenfor kravene kunne ikke teknikerene påpeke den konkrete feilen, og videre testing ble sett på som nødvendig fra deres side.

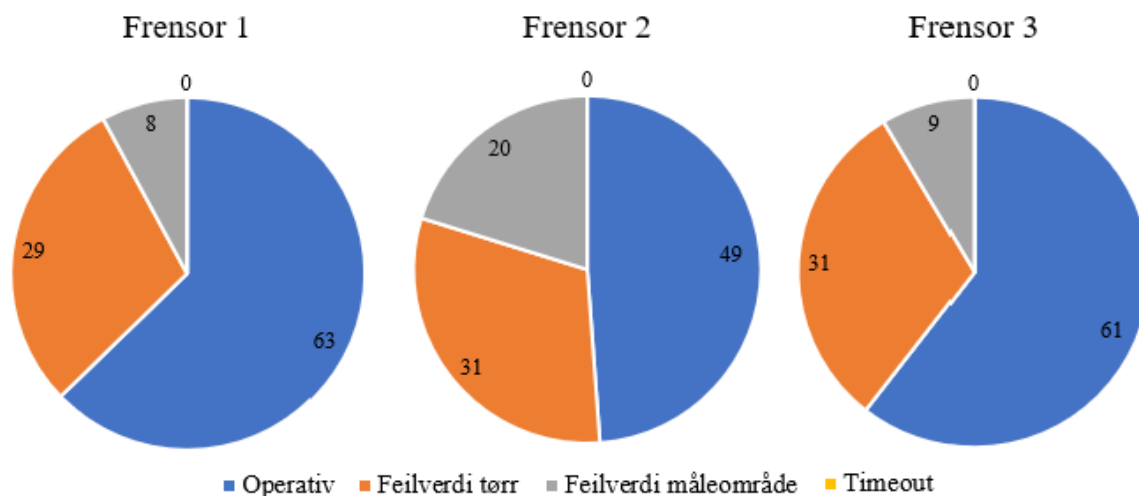
#### 4.1.2 Analyse av frysepunktdata generert under driftsituasjon

Resultatene viser at det er store forskjeller på frysepunktverdiene som sensorene rapporterer etter hvert utlegg og gjennom vintersesongen. Videre presenteres resultatene for analysen om oppetid og deretter kvaliteten på frysepunktdata.

#### Sensorenes oppetid

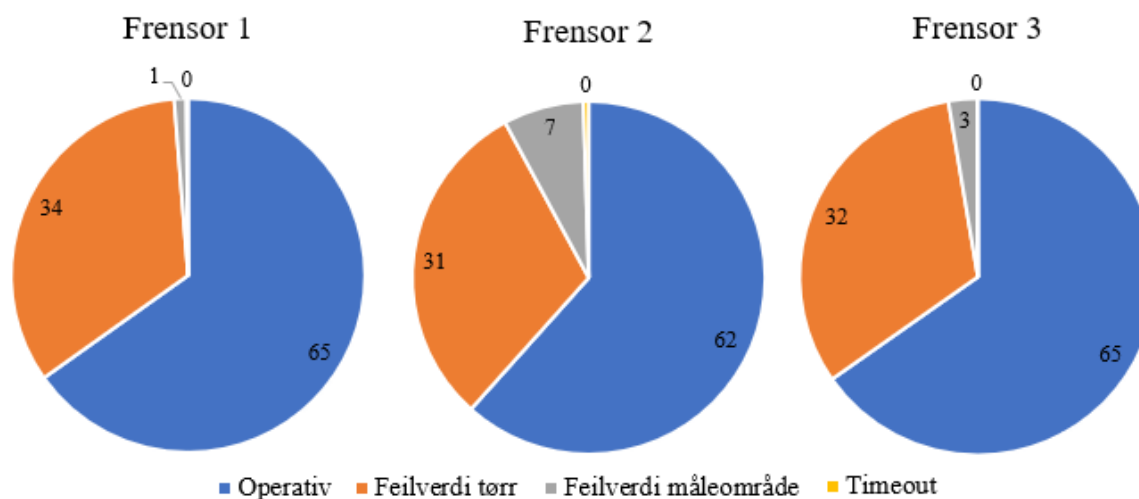
De passive sensorene registrerte verdier gjennom hele perioden og var 100% operative under alle de 14 utleggene, både i nord og i sør. De aktive sensorene derimot hadde høyere grad av feilverdier, og figur 8 og figur 9 presenterer resultatene av analysen og fordelingen over hva sensorene rapporterte. Oppetiden viser når sensorene har generert data for frysepunkt.

Resultater for de aktive sensorene i nord er presentert i figur 8.



Figur 8: Oppetid sensorer i nord

Resultater for de aktive sensorene i sør er presentert i figur 9.



Figur 9: Oppetid sensorer i sør

Samtlige sensorer viser feilverdien *Frysepunktsensor muligens tørr* rundt 30% av perioden etter utlegg. Denne andelen er konstant for alle sensorene, mens forskjellen i oppetid ligger i variasjonen i andel som viser feilverdien *Temperatur over måleområde* ( $> +10C$ ). Denne feilverdien forekommer i mindre grad i sør enn i nord. For begge seksjonene viser resultatene at sensoren i midten av rullebanen, Frensor 2, har en høyere andel av feilverdien *Temperatur over måleområde* ( $> +10C$ ) enn sensorene til vest og øst for senterlinjen.

Figur 8 og figur 9 viser at Frensor 2 i nord har lavest oppetid av alle de aktive sensorene, med en oppetid på 49%. Resten av sensorene ligger på en oppetid rundt 63%. Oppetiden ved individuelle utlegg varierer fra 0% til 100%. Totalt to utlegg i nord og ett utlegg i sør har en samlet oppetid  $> 90\%$ , mens fire utlegg i nord og seks utlegg i sør har en samlet oppetid mellom 70% og 90%. Utleggene som fikk høye oppetider i nord samsvarer med utleggene som fikk høye oppetider i sør. Tilsvarende samsvarer utlegg som fikk lav oppetid i nord, med utlegg som fikk lav oppetid i sør.

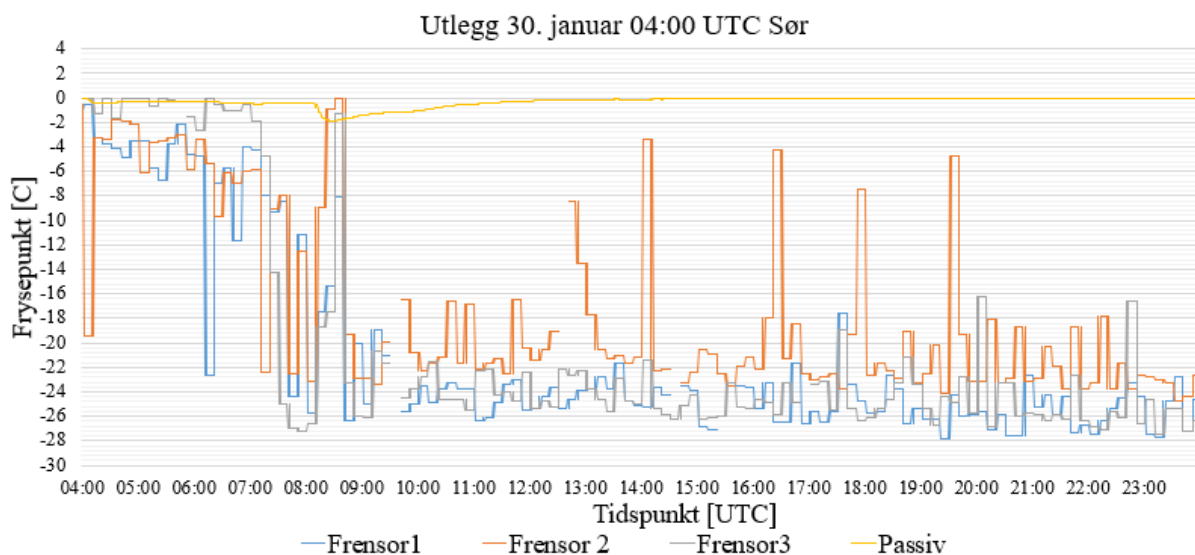
## Kvaliteten på generert frysepunktdata

Videre presenteres en samlet vurdering av alle 17 caser basert på troverdigheten på målingene og variasjonen i frysepunktdata. Oppsummert resultat er listet i tabell 4 og en samlet oversikt over alle 17 caser er presentert i vedlegg 2. Videre presenteres tre eksempler fra resultatene med de casene som hadde en oppetid høyere enn  $> 90\%$ .

**Tabell 4:** Oppsummerte resultater for kvaliteten på frysepunktdata

	Sensor	Antall	Case nummer
Caser som vurderes troverdige	Passiv	0	
	Aktive	1	1
Caser som vurderes troverdige deler av perioden for 1 eller flere sensorer	Passiv	1	4
	Aktive	6	1, 2, 3, 11, 16 og 17
Caser hvor 1 eller flere sensorer viser frysepunktdata som varierer over $15^{\circ}\text{C}$	Passiv	0	
	Aktive	11	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 og 13

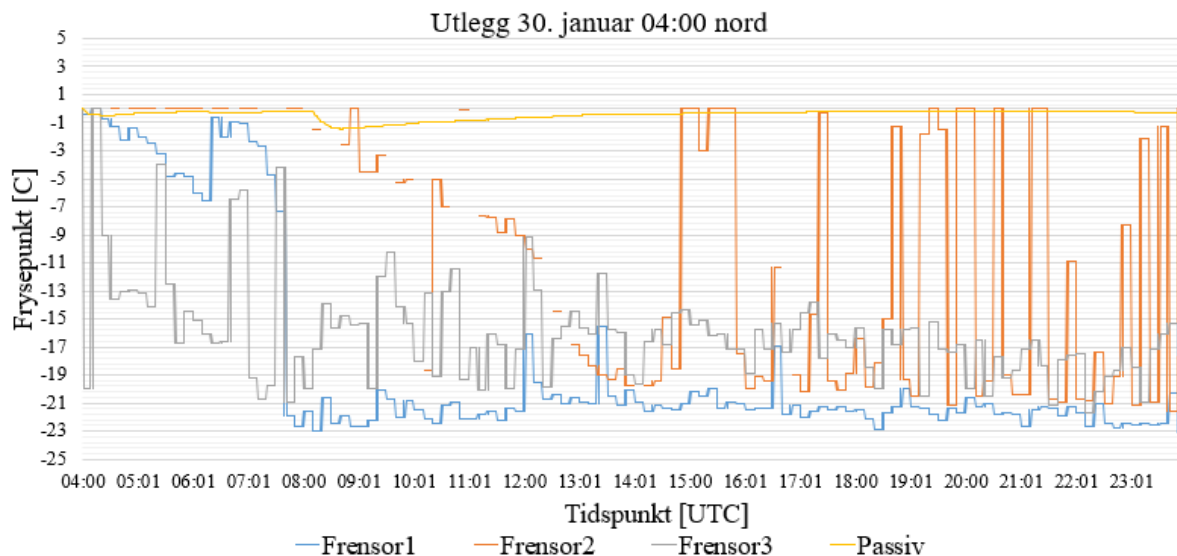
Casen med høyest samlet oppetid på 99% er presentert i figur 10. Situasjonen er fra sensorene i sør ved utlegg den 30. januar.



**Figur 10:** Målinger gjort av sensorer i sør ved utlegg 30. januar klokken 04:00 UTC

Figur 10 viser frysepunktverdier som varierer i ulik grad, og det er til tider store forskjeller. Frensor 2 viser ikke et lavere frysepunkt enn de to andre aktive sensorene, og viser derfor ikke antydning til dobbelt utlegg. Ved å se bort fra passiv sensor virker frysepunktverdiene relativt troverdige mellom 09:00 og 23:00. Sammenliknet med de aktive sensorene gir den passive sensoren verdier som ikke representerer forholdene på rullebanen da den rapporterer frysepunkt på rundt  $0^{\circ}\text{C}$ , mens de aktive rapporterer rundt  $-24^{\circ}\text{C}$ .

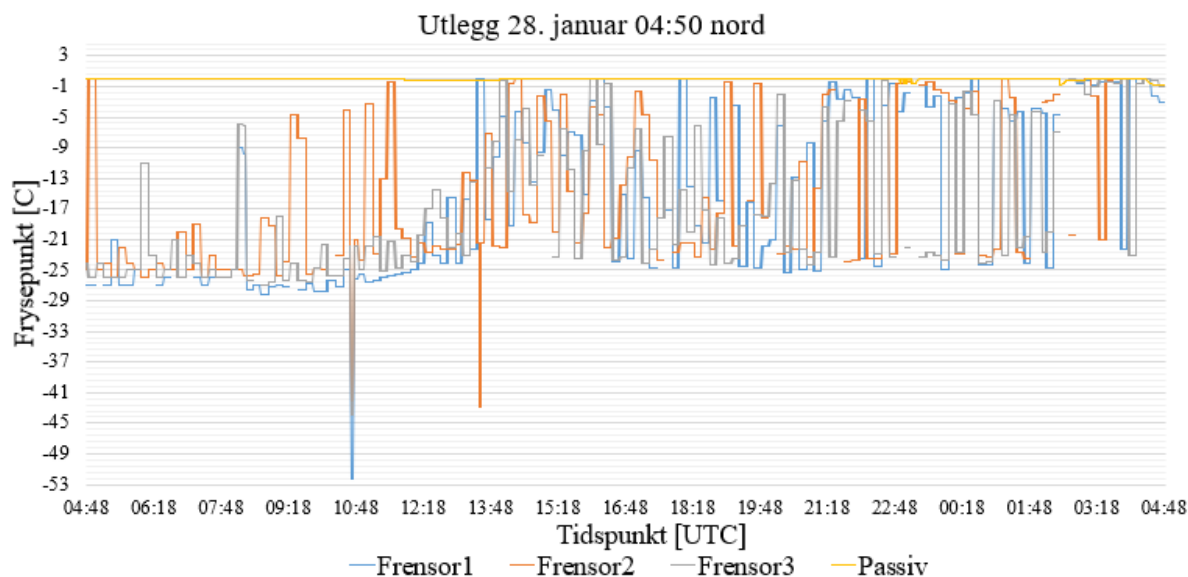
Den neste casen hadde en samlet oppetid på 94% og er presentert i figur 11. Situasjonen er fra sensorene i nord ved utlegg den 30. januar.



**Figur 11:** Målinger gjort av sensorer i nord ved utlegg 30. januar klokken 04:00 UTC

Figur 11 viser en liknende trend som sensorene i sør, men med større forskjeller og variasjoner i frysepunktdata. Frensor 2 viser frysepunkt som hopper mellom  $0^{\circ}\text{C}$  og  $-20^{\circ}\text{C}$  etter 15:00, og viser ingen tegn til dobbelt utlegg sammenliknet mot de to andre aktive sensorene. Ved å se bort fra den passive sensor og Frensor 2, virker frysepunktverdiene å være relativt troverdige etter 14:00. Sammenliknet med de aktive sensorene gir den passive verdier som ikke representerer forholdene da den rapporterer frysepunkt på rundt  $0^{\circ}\text{C}$ , langt høyere enn de aktive.

Den tredje casen er presentert i figur 12 og hadde en samlet oppetid på 91%. Situasjonen er fra sensorene i nord ved utlegg den 28. januar.



**Figur 12:** Målinger gjort av sensorer i nord ved utlegg 28. januar klokken 04:50 UTC

Figur 12 viser høy spredning i verdiene slik de tidligere casene også har vist. Det er tendenser til troverdige målinger i starten, men deretter verdier som varierer med rundt  $20^{\circ}\text{C}$  fra 13:48. Frensor 2 gir ikke antydninger til dobbelt utlegg sammenliknet med de to andre aktive sensorene, og den passive sensoren viser  $0^{\circ}\text{C}$ .

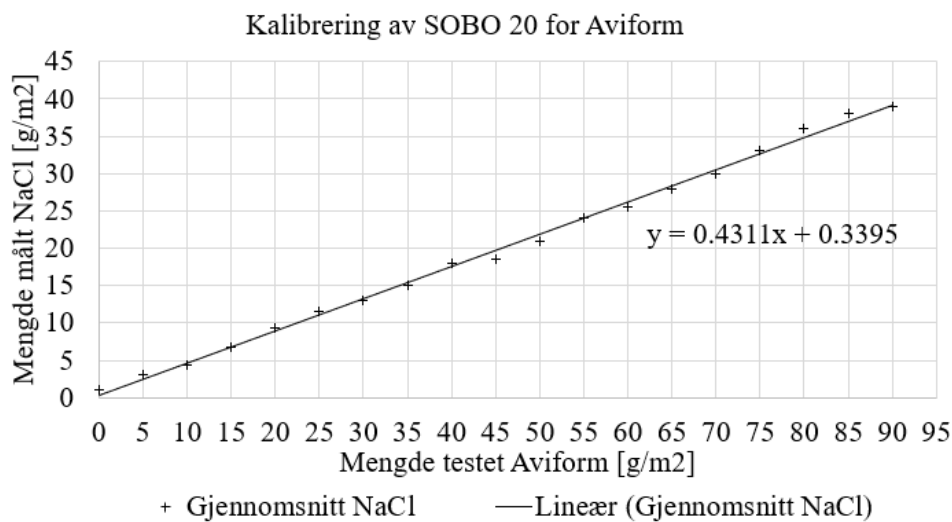
---

## 4.2 Feltforsøk for kjemikalieutvikling

Forsøket fant sted i seksjon A og B av rullebanen, se figur 3, og sensorer i sør er derfor utenfor testområdet. De aktive sensorene i nord viser kun feilmelding og rapporteringer fra disse er derfor ikke relevante. Under forsøket var det lite vind, lett overskyet vær, og lufttemperatur mellom  $5-7^{\circ}\text{C}$  på dagtid 11. april, og ned i  $-1^{\circ}\text{C}$  natt til 12. april.

### 4.2.1 Kalibreringskurve SOBO 20

Resultatet fra kalibreringen er vist i figur 13. Grafen viser gjennomsnittsverdien fra tre repetisjoner for hver testede konsentrasjon Aviform. Ved lineær regresjon ga målingene en kalibreringskurve for  $y = \text{NaCl}[\text{g}/\text{m}^2]$ ,  $x = \text{Aviform}[\text{g}/\text{m}^2]$  på  $y = 0,4311x + 0,3395$ .



**Figur 13:** Kalibreringskurve for Aviform utledet fra SOBO 20 målinger av NaCl

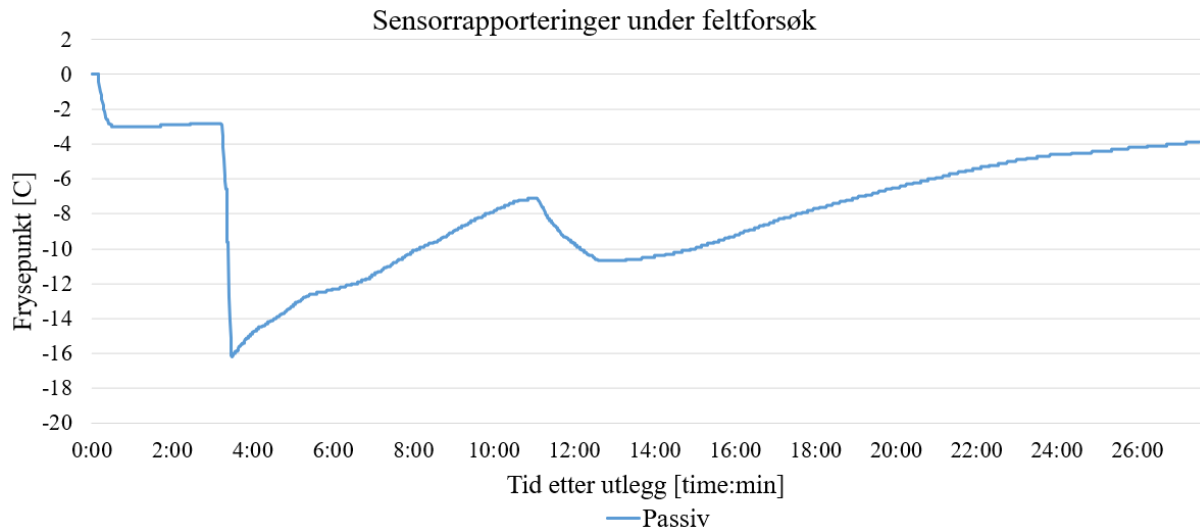
Ved å måle konsentrasjonen av NaCl på rullebanen kan mengden Aviform utledes med formel 2.

$$x = \frac{y - 0,3395}{0,4311} \quad (2)$$

---

#### 4.2.2 Passiv sensor

I figur 14 er det vist data for frysepunkt generert av den passive sensoren under forsøkets periode.



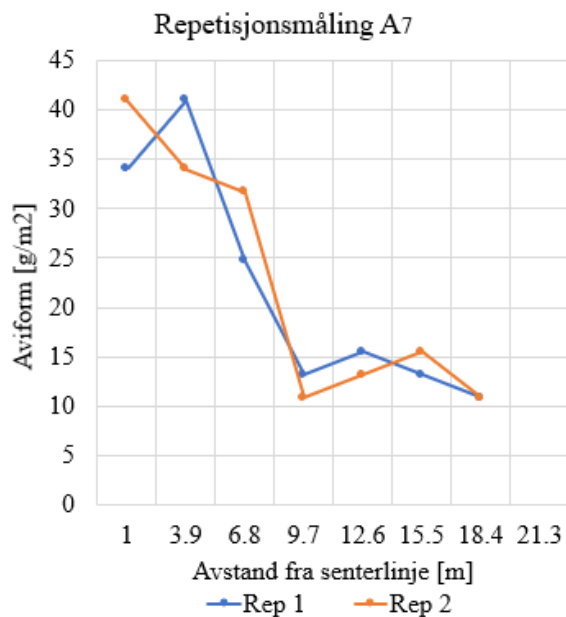
**Figur 14:** Frysepunktsverdier målt av den passive sensoren under feltforsøk

Som figuren viser registrerer sensoren utlegget når det finner sted. Den registrerer så et dropp i frysepunktet når det tilføres  $100g/m^2$  vann over testområdet 3 timer etter utlegg av kjemikalie. Sensoren registrerer en ny reduksjon i frysepunktet ca. 11 timer etter utlegg som ikke kan forklares med tilførsel av vann. Det at sensoren kun registrerer et frysepunkt på  $-3^{\circ}C$  ved utlegg viser at sensoren ikke klarer å registrere riktig frysepunkt ved  $30g/m^2$  Aviform med forutsetningene som var tilstede. At sensoren videre melder en reduksjon til  $-16^{\circ}C$  ved tilførsel av vann viser at mengden væske er en viktig faktor for å måle riktig konduktivetsverdi.

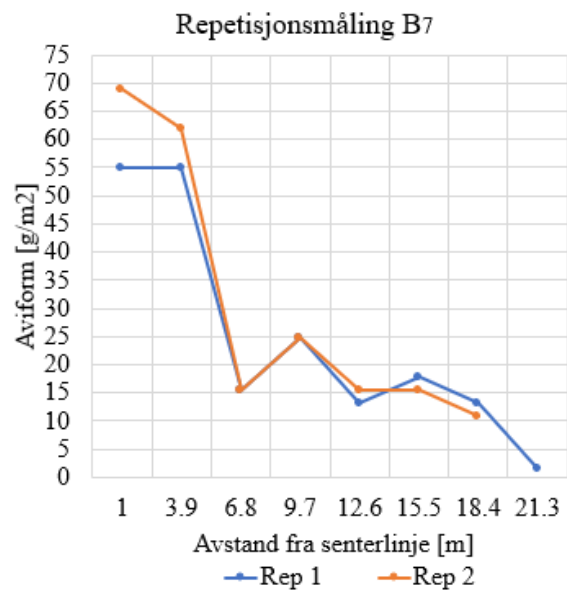
### 4.2.3 Troverdigheten til målinger

Før det ble lagt kjemikalie på rullebanen ble SOBO 20 testet på upåvirket rullebane. Resultatet ble  $1 \text{ g/m}^2$  NaCl tilsvarende  $1,4 \text{ g/m}^2$  Aviform med kalibreringskurven, gitt i figur 13. Dette er det samme resultatet som instrumentet målte på testområdet uten kjemikalie på laboratorium, hvilket betyr at SOBO 20 registrerer at rullebanen er upåvirket før forsøk.

Resultatet fra repetisjonsmålinger ved tverrsnitt  $A_7$  og  $B_7$  er vist i figur 15 og figur 16. Det er kun ved måling 3 for tverrsnitt  $A_7$  og måling 1 for tverrsnitt  $B_7$ , at måleverdien varierer mer enn ett steg på måleskalaen.



Figur 15: Repetisjonsmåling for seksjon A tverrsnitt  $A_7$



Figur 16: Repetisjonsmåling for seksjon B tverrsnitt  $B_7$

Som det fremkommer av resultatene er variasjonen i målt mengde Aviform høyere ved verdier over  $34 \text{ g/m}^2$ . Dette kommer av at funksjonen for 3-ganger verdi er skrudd på. Grafene viser at instrumentet måler relativt like mengder Aviform ved samme bredde og tid. Det må antas litt variasjon i hva SOBO 20 registrerer, men resultatene viser at troverdigheten på målingene er høy.

### 4.2.4 Resultat av målinger

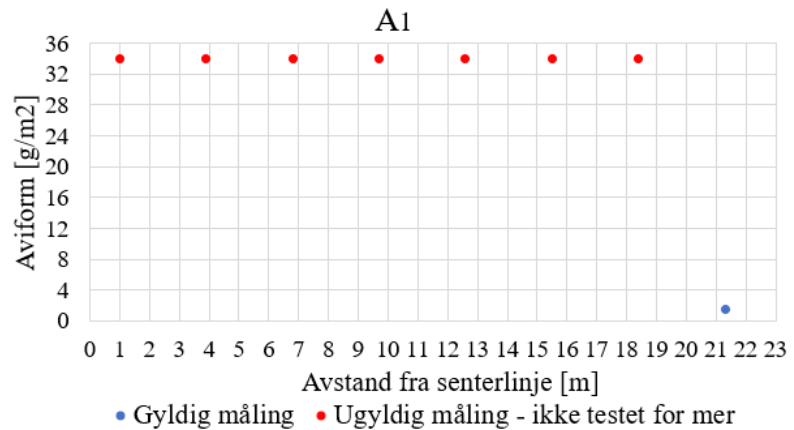
Videre presenteres tre utvalgte tverrsnitt fra hver av seksjonene A og B. For å gi et bilde av utviklingen over hele perioden presenteres de første målingene, målingene utført midt i forsøksperioden og de siste målingene. Tverrsnitt  $A_9$  er benyttet som siste tverrsnitt fra seksjon A da tverrsnitt  $A_{10}$  inneholdt mange feilmålinger som er utelatt fra resultatene. Tverrsnitt  $B_1$  har ingen målinger for målepunkt 5, 6 og 7, grunnet mangel på tid. Fullstendige oversikter som inkluderer alle tverrsnitt er vedlagt i vedlegg 3 og vedlegg 4. Vedlegg 3 viser resultater fra seksjon A, og vedlegg 4 viser resultater fra seksjon B.

## Seksjon A

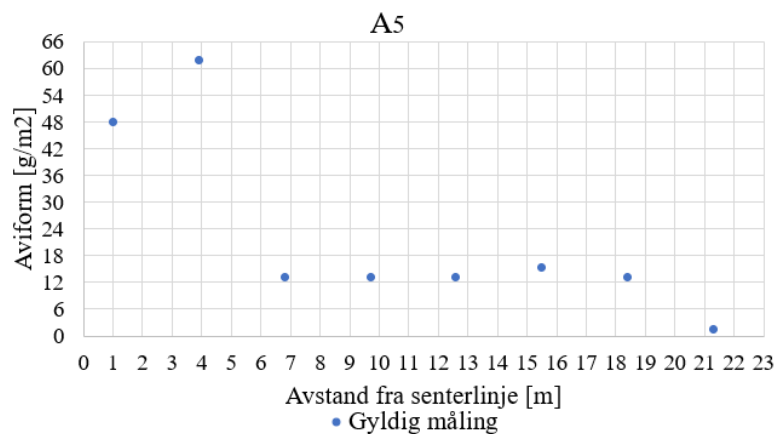
Figur 17 viser resultater for de første målingene som ble gjennomført, parallelt med utlegg mot sørsiden. Da det ikke ble sjekket for høyere verdier er det mulig at instrumentet ville vist høyere enn hva som ble registrert på punktene markert med rødt. Resultatene viser at den initiale mengden som legges ved innstilling  $30\text{g}/\text{m}^2$  på kjemikaliebilen er litt høyere enn hva som er forventet. Utenfor utlegg måler SOBO 20 verdien  $1\text{g}/\text{m}^2\text{ NaCl}$ , som tilsvarer upåvirket rullebane.

Figur 18 viser resultater fra måling like før rushperioden. Her har verdiene for målepunkt 3-7 sunket sammenliknet med figur 17, men målepunkt 1-2 viser høyere verdier grunnet dobbelt utlegg om senterlinjen, som fant sted etter målingene ved  $A_1$ . Målingene viser fortsatt at det utenfor utleggsområdet ikke er påvirkning fra kjemikalie.

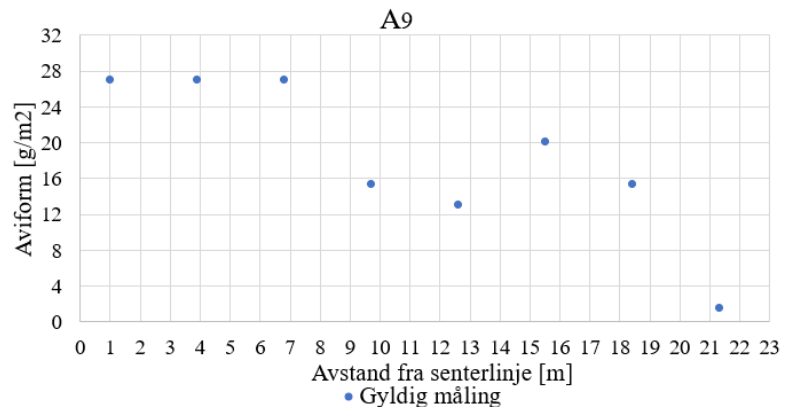
Figur 19 viser målinger gjennomført på natt før flytrafikken ble gjenopptatt. Som det fremkommer av resultatene har målepunkt 1-2 sunket, mens målepunkt 3, 4, 6 og 7 har steget, sammenliknet med tverrsnitt  $A_5$ , figur 18. Tilsvarende som figur 17 og figur 18 viser resultatene at det ikke er påvirkning fra kjemikalie utenfor utleggsområdet.



Figur 17: Resultater fra målinger ved tverrsnitt  $A_1$ , 00:00 etter utlegg



Figur 18: Resultater fra målinger ved tverrsnitt  $A_5$ , 04:28 etter utlegg



Figur 19: Resultater fra målinger ved tverrsnitt  $A_9$ , 20:03 etter utlegg

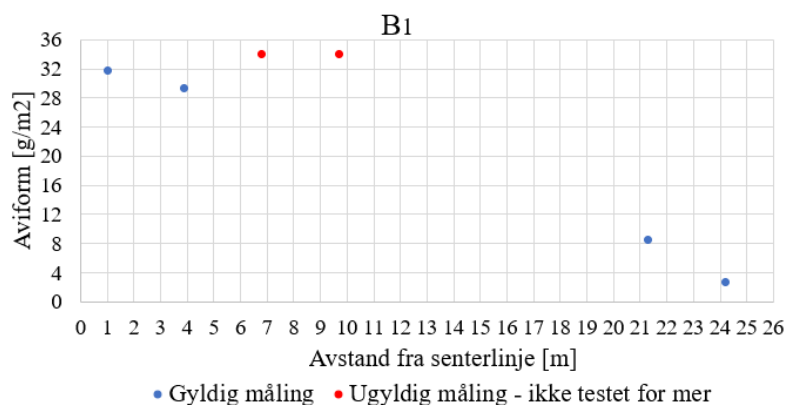


## Seksjon B

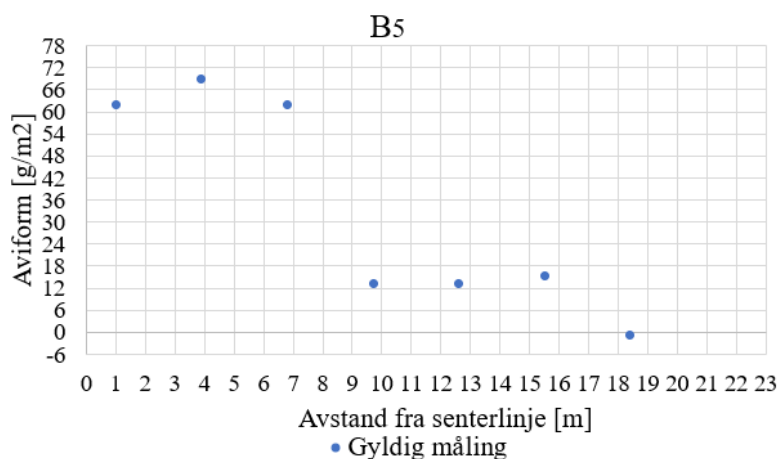
Figur 20 viser resultater fra første måling gjennomført i seksjon B. Målepunkt 1 og 2 viser verdier innenfor 1x-måleskalaen, og resultatet gir grunnlag for å tro at initiell mengde ikke er mye høyere for målepunktene som ikke ble testet for høyere verdi. Målingene utenfor området med kjemikalie viser at SOBO 20 registrerer lave mengder kjemikalie. Dette kan indikere at det er avblåsning ved utlegg.

Figur 21 viser seksjon B like før rushperioden. Resultatene viser kun 7 målepunkt, hvorav siste viser upåvirket rullebane og de tre første indikerer dobbelt utlegg. Dette er det eneste tverrsnittet som indikerer at dobbelt utlegg er bredere enn 3,7m. Som tabell 1 viste ble målingene avbrutt ved andre måling. Resultatene kan derfor antyde at lokasjonen for de siste målepunktene er forskjøvet mot senterlinjen.

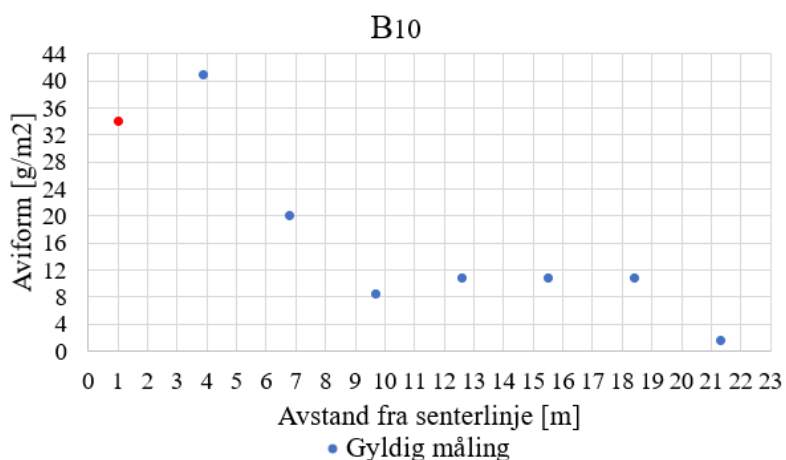
Figur 22 viser den siste målingen som ble gjennomført før forsøket ble avsluttet. Resultatene viser at etter 26 timer og 33 minutter er det fortsatt en betydelig mengde kjemikalie igjen på rullebanen. At SOBO 20 registrerer betraktelig mindre kjemikalie 1 time etter utlegg og videre relativt konstant med store variasjoner, øker grunnlaget for å tro at SOBO 20 har utfordringer med å måle kjemikalie utover forsøksperioden.



Figur 20: Resultater fra målinger ved tverrsnitt B<sub>1</sub>, 00:19/00:31 etter utlegg



Figur 21: Resultater fra målinger ved tverrsnitt B<sub>5</sub>, 04:36/04:40 etter utlegg



Figur 22: Resultater fra målinger ved tverrsnitt B<sub>10</sub>, 26:33 etter utlegg

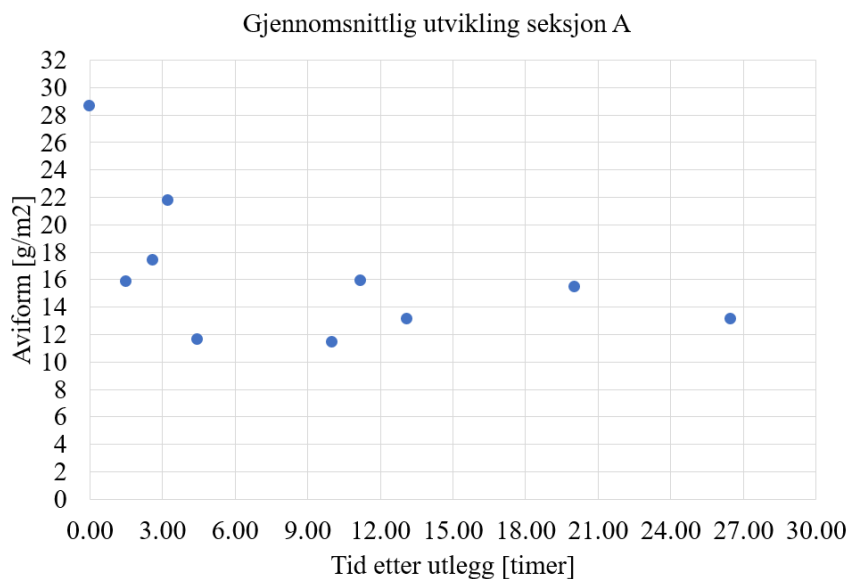
## 4.2.5 Kjemikalieutvikling

Tidligere resultater viser at det er et dobbelt utlegg om senterlinjen slik at målepunkt 1 og 2 har høyere mengde kjemikalie enn resten av rullebanebredden. Denne doble mengden var ikke lagt ved første måling ved  $A_1$  og  $B_1$ , og ble ikke tatt hensyn til ved  $A_2$  og  $B_2$ . Av den grunn er de utregnede gjennomsnittene basert på tverrsnitt uten målepunkt 1 og 2, slik at det ikke blir gitt et feilaktig bilde av resultatene.

### Påvirkning over tid

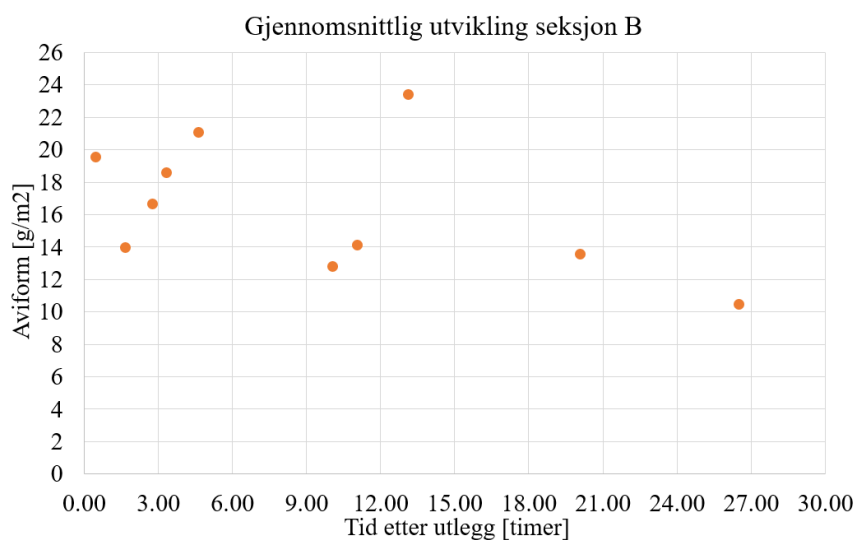
Figur 23 og figur 24 viser gjennomsnittene for alle tverrsnitt plottet mot tid etter utlegg. Som resultatene viser er det lite som tyder på en reduksjon i kjemikalie mengden i hverken seksjon A eller B, men det fremkommer store variasjoner i gjennomsnittsverdiene.

Figur 23 viser at gjennomsnittene fra de to siste målingene er like høye som målingene gjort 4-14 timer etter utlegg. Den første verdien er den eneste som skiller seg klart ut fra de andre verdiene. Sett bort fra den gjennomsnittlige mengden ved 00:00 er det ingen tydelig reduksjon i mengden kjemikalie.



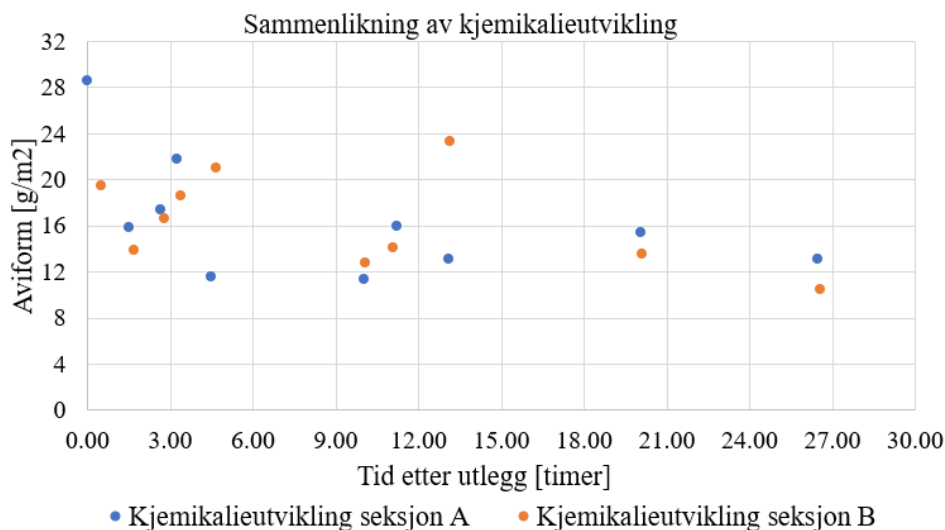
Figur 23: Gjennomsnittlig utvikling seksjon A

Figur 24 viser en liknende trend som for seksjon A, men med verdier som er litt lavere for de to siste målingene. Derimot viser måling gjort 13 timer etter utlegg at det fortsatt er store mengder kjemikalie igjen på rullebanen. Sett bort fra målingen 13:00 kan det virke som en liten reduksjon i mengden kjemikalie.



Figur 24: Gjennomsnittlig utvikling seksjon B

Figur 25 viser en sammenlikning av resultatene fra begge seksjonene. Resultatene viser en lik trend for begge seksjonene, men også at det er stor spredning i verdiene.

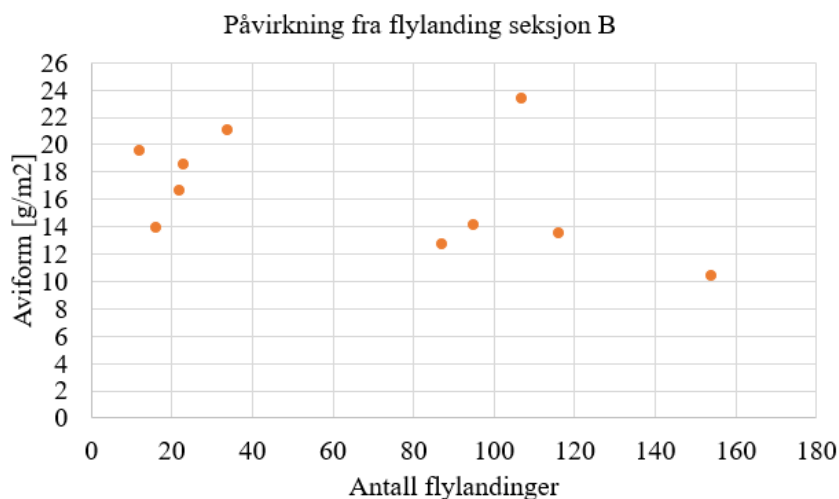


Figur 25: Gjennomsnittlig utvikling for seksjon A og B

### Påvirkning fra flybevegelser

Forsøket ble satt opp for flybevegelser i retning nord til sør, men grunnet en endret vindretning vil seksjon A være lite berørt av motorkraft fra flyavgangene. Resultatene som viser påvirkning fra flybevegelser tar derfor kun for seg påvirkning i seksjon B fra flylandinger.

Figur 26 viser kjemikaliemengden plottet mot antall flylandinger som har funnet sted siden utlegg av kjemikalie.



Figur 26: Påvirkning fra flylandinger på kjemikaliemengden i seksjon B

Som resultatene viser er det lite som tyder på at flytrafikken har hatt en påvirkning på kjemikaliemengden. Sett bort fra måling ved 110 flylandinger kan det virke som en liten reduksjon, men målinger mellom 10 og 40 flylandinger gir ingen tegn til påvirkning på gjennomsnittet.

#### 4.2.6 Kjemikaliebesparelse

Av forsøket fremkommer det at det doble utlegget tilsvarer en avstand på mellom 3,9m og 6,8m fra senterlinjen, altså mellom målepunkt 2 og 3. Dette gir et dobbelt utlegg på totalt mellom 7,8m og 13,6m, da det antas symmetri om senterlinjen.

I formel 3 er det beregnet hvor stor prosentandel det doble utlegget utgjør av total kjemikaliemengden på rullebanen, [U]. I formel 4 er det beregnet hvor mye dette kostet i vintersesongen 2017/2018. Det er benyttet verdier gitt av Avinor for kostnad (6,5 millioner kroner vintersesongen 2017/2018) og kjemikalieforbruk på rullebane (90% av totalt forbruk). Da det er påvist minimum 3,9m dobbelt utlegg, er det benyttet totalt 7,8m som bredde på det doble utlegget.



**Figur 27:** Illustrasjon av dobbelt utlegg under feltforsøk

$$U = \frac{B_{Dobbelt}}{B_{Utlegg}} = \frac{7,8m}{45m} = 17\% \quad (3)$$

$$Kostnad_{2017/2018} = Kostnad_{Total} * Andel_{Rullebane} * U = 6,5mill * 0,90 * 0,17 = 0,99mill \quad (4)$$

---

## 5 Diskusjon

Vintersesongen 2018/2019 har bestått av et unormalt varmt klima, og hatt færre dager hvor kjemikalie har vært nødvendig sammenliknet med tidligere år. Temperaturen har store deler av februar, mars og april vært høyere enn måleområdet til de aktive sensorene, og kan være en årsak til at det er få rapporteringer. Færre utlegg under vintersesongen medfører også at det er færre resultater å analysere, og derfor svakere grunnlag for de konklusjoner som denne rapporten kommer frem til.

Den korte vintersesongen kan være en underliggende faktor for mangelfull interesse fra leverandørene sin side i arbeidet med å finne en løsning på sensorproblemene. Generelt har kommunikasjonen mellom Avinor, norsk leverandør og svensk leverandør vært krevende, og det har vært vanskelig å finne informasjon på hva som faktisk har vært gjort i forsøket på å få systemet til et brukbart nivå. Aktivitetene listet i vedlegg 1 kan derfor inneholde mangelfull informasjon og misoppfatninger. Den manglende innsatsen fra leverandørene kan også skyldes at Avinor kun har kjøpt sensorene, men valgt å tolke data selv. Dette gir Avinor høyere kontroll på hva som skjer, men kan samtidig senke interessen fra leverandørene for å finne årsaken til problemene.

### 5.1 Begrensninger ved prosessering av data

Analysene som er gjennomført baserer seg på data produsert av samtlige sensorer gjennom hele den operative perioden i vintersesongen 2018/2019, uavhengig av eksterne prosesser. Under denne perioden har det blitt gjennomført forbedringer av de aktive sensorene slik at data hentet før, mellom og etter disse endringene ikke nødvendigvis har de samme forutsetningene. Da det ikke har vært tegn til forbedring ved noen av endringene er dette ikke tatt hensyn til ved drøfting av resultatene. Datamengden som ligger til grunn for analyser er stor og det har ikke blitt sett like grundig på all data. Det er forsøkt å få et overblikk over det mest relevante, og trekke ut gode eksempler for å illustrere status på sensorene i tilfeller hvor ytre forhold tilsier at sensorene burde være operative.

Utleggsdata formidlet av kontaktpersonen på Flesland angir ett tidspunkt for når utlegg fant sted, og ikke en periode for når kjemikalie ble lagt på området. I praksis vil dette være et tidsintervall som varierer med størrelse og tidspunkt for utlegget, og verdien brukt i analysene samstemmer derfor ikke nødvendigvis med når kjemikallet ble lagt over sensor, og derav når sensorene viser sterk reduksjon i frysepunkt. Viktigheten av at utlegg blir registrert korrekt i utleggskjema har vært presisert for plasttjenesten, men det kan være tilfeller hvor det er registrert feil i både føring og videresending av skjema. Sensorene har ved flere anledninger vist store reduksjoner i frysepunkt på tidspunkt hvor det ikke er registrert utlegg i logg. Dette kan forklares av manglende utleggsrapportering, eller at et testutlegg har funnet sted som ikke er informert om i datagrunnlaget brukt i denne rapporten.

Analysen av de 17 casene som er presentert bygger på en egen vurdering av frysepunktdata. For å gi en best mulig vurdering av data ble to av casene presentert for kontaktpersonen på Flesland. Dette ble gjort for å bekrefte egen vurdering av frysepunktdata gitt av casene.

---

## 5.2 Bruksverdien til frysepunktsensorene

Bruksverdien til sensorene bygger på hvor pålitelig, nøyaktig og brukervennlig systemet er for de som skal benytte det. Eksisterende litteratur konkluderer blant annet med at sensorene er nøyaktige og presise i bruk, men nevner at passive og aktive sensorer rapporterer forskjellig i graden av nøyaktighet. Det vil videre bli diskutert i hvilken grad denne rapporten kan bekrefte eksisterende litteratur og hvor brukervennlig systemet som er installert på Flesland er.

De aktive sensorene har gjennom vintersesongen vist høye variasjoner i frysepunktdata, men også potensiale for troverdige verdier. Ved verifiseringsforsøk i nord viste sensorene at de er relativt nøyaktige under et forsøk med kontrollerte omgivelser og ved én målingssyklus, med avvik på  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . Nøyaktigheten var ikke like god som produsenten oppgir på  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ , men god nok til å danne en oppfatning av forholdene på rullebanen. For de aktive sensorene i sør var det problemer knyttet til første målesyklus for testvæske  $0^{\circ}\text{C}$  og  $-15^{\circ}\text{C}$ , men ved begge væskene viser sensorene troverdige verdier etter hvert med tilsvarende nøyaktighet som i nord med avvik på  $\pm 6^{\circ}\text{C}$ . Verifiseringen gir derfor grunnlag for å tro at de aktive sensorene har potensiale. På den andre siden registrerer sensorene et nytt frysepunkt ved neste syklus, eller registrerer en feilverdi slik at det ikke vises frysepunktdata. Dette skjer på tross av kontrollerte omgivelser hvor forholdene er konstante. Liknende resultater er også presentert for de 17 utvalgte casene. Sensorene viser høye variasjoner i frysepunkt og ved 10 av 17 caser varierer frysepunktdata med mer enn  $15^{\circ}\text{C}$  i deler av perioden. Dette gjør frysepunktdata lite troverdig og brukervennlig for beslutningstaker. Kun ved 1 av 17 caser vurderes data fra de aktive sensorene som troverdig, og ved 6 av 17 caser vurderes deler av verdiene som troverdig for en eller flere av sensorene. Resultatene gir en tydelig indikasjon på at ingen av de aktive sensorene på Flesland er nøyaktige og troverdige nok for beslutningstaker, men bekrefter at de har potensiale.

De passive sensorene har gjennom vintersesongen og verifisering vist tendenser til utlegg og tendenser til troverdige frysepunktverdier, men casene viser at frysepunktdata ikke er tilstrekkelig. Under verifisering viser resultatene at de passive sensorene registrerer testutleggene med en sammenhengende kurve som synker mot lavere verdier. Sensorene viser derimot ikke frysepunktet momentant, og det fremkommer ikke i verifiseringen sin tidsperiode om riktig frysepunkt for siste testvæske oppnås. Fra de analyserte casene viser 1 av 17 caser troverdige data rett etter utlegg, men deretter øker frysepunktet raskt mot  $0^{\circ}\text{C}$ . Ved de 16 andre casene synker frysepunktet aldri ned til samme nivå som for de aktive sensorene, og øker raskt til  $0^{\circ}\text{C}$  i samtlige av casene hvor de aktive sensorene også er operative. I flere tilfeller observeres det at de passive sensorene har plutselige endringer i hvilken retning frysepunktskurven beveger seg. Dette kan knyttes opp mot resultater presentert fra feltforsøket. Resultatene fra feltforsøket viser at den passive sensoren i nord hadde utfordringer med å vise et troverdig frysepunkt etter utlegg på  $30\text{g}/\text{m}^2$  Aviform, men at en tilførsel på  $100\text{g}/\text{m}^2$  vann endret forutsetningene og dermed ga synkende frysepunkt. De passive sensorene måler i likhet med SOBO 20 konduktiviteten til væsken, og fra resultatene fra feltforsøk fremkommer det at også SOBO 20 har utfordringer med å måle opptørket kjemikalie. Dette tyder på at væskemengden på rullebanen er en viktig faktor for hvor nøyaktig de passive sensorene registrerer frysepunktet, og gjør det vanskelig for plasttjenesten å benytte disse rapporteringene. På den andre siden viser ikke resultatene fra feltforsøket noen økning i mengden kjemikalie etter tilførselen av vann. Dette kan skyldes at Aviform bruker tid på å oppløses, men det er uklart hvorfor SOBO 20 ikke registrerer en økning, når den passive sensoren i nord viser en tydelig økning. Frysepunkt registrert av de passive sensorene er inkludert i gjennomsnittsmålingene som daglig vises til plasttjenesten for alle fire sensorer i hver seksjon. Da de passive sensorene ikke registrerer troverdig frysepunktdata og tiltak for å bedre dataene ikke gjennomføres, vil disse påvirke gjennomsnittsmålingene på en feilaktig måte.

---

I litteraturen påstås det at de aktive sensorene ikke påvirkes av kontaminering og gir høyere nøyaktighet på frysepunktdata enn de passive sensorene. Som resultatene viser i denne rapporten er det lite grunnlag for å påstå at de aktive sensorene er nøyaktige, men det bekreftes at de har en høyere nøyaktighet enn de passive sensorene. Ved verifisering viste sensorene tendenser til nøyaktige verdier, men ved gjennomgang av datakvaliteten viser resultatene store variasjoner. Dette er resultater som ikke bekrefter en nøyaktighet på frysepunkt med  $\pm 0,7^{\circ}\text{C}$ , som er det leverandøren oppgir. Sensorene viste for store variasjoner under vintersesongen til å evaluere hvordan data og presentasjon av frysepunktdata fungerer i operasjonell drift. Det kan derfor ikke bekreftes om koplingen mellom frysepunkt og tiltak i  $\text{g}/\text{m}^2$  utgjør et problem for plasstjenesten, eller om fungerende frysepunktsensorer utgjør et positivt bidrag i beslutningsprosessen.

Nøyaktighet er en viktig faktor for å bestemme bruksverdien til sensorene, men vil ikke være tilstrekkelig som datagrunnlag dersom systemet ikke er pålitelig. Under perioden med vinter og mange utlegg av kjemikalie viser resultatene en oppetid mellom 49% og 65% for de aktive sensorene. Dette betyr at ca. 40% av tiden etter utlegg vil ikke beslutningstaker ha data om forholdene på rullebanen fra hver av sensorene. De passive sensorene har en oppetid på 100%, men med alt for lav troverdighet til at frysepunktdata kan benyttes i utgangspunktet og være en støtte for beslutningstaker når data fra de aktive sensorene forsvinner. Av den ikke-operative perioden gir omlag 30% av målingene feilmeldingen; *Frysepunktsensor muligens tørr*. Denne feilmeldingen rapporteres i høy grad selv om de passive sensorene rapporterer at rullebanen er *våt med kjemikalie* og temperaturen er under  $0^{\circ}\text{C}$ . Dette gir grunnlag for å påstå at sensorene har påvirkning på måleområdet, hvilket bekrefter og avkrefter hva litteraturen påstår. Verifiseringen viste at de aktive sensorene, både i nord og i sør, varierte mellom verdier på frysepunkt og feilverdier. Dette selv under kontrollerte omgivelser med like forhold. Feilverdiene vil ved første syklus kunne forklares ved at det ble benyttet kranvann med høyere temperatur enn måleområdet. Vanntemperaturen vil på den andre siden reduseres raskt grunnet kald overflate og lav lufttemperatur, slik at det ikke forklarer flere minutter med feilverdien *temperatur over måleområde ( $> +10\text{C}$ )*, eller at feilverdien kommer ved neste syklus. Resultatene viser flere tilfeller hvor de aktive sensorene genererer troverdige målinger, men hvor data plutselig forsvinner grunnet feilverdi. Når frysepunktdata så blir gjenopptatt har frysepunktet økt betraktelig. Om plasstjenesten skulle fulgt denne utviklingen ville det vært nødvendig med et nytt utlegg like etter det forrige, før frysepunktet igjen synker til gode forhold. Uansett om de rapporterte verdiene er troverdige gjør den begrensede oppetiden at forholdene er vanskelige å forutse for beslutningstaker. Lav oppetid gir et lite pålitelig system og mangel på frysepunktverdier vil kreve at dataene må tolkes, hvilket skaper et lite brukervennlig system.

Den svenske leverandøren anbefaler å bytte kabler i rullebanen som løsningen på problemene som Flesland opplever. Dette da alle andre løsninger har blitt forsøkt og problemene har vedvart. Hvis systemet skal ha høy bruksverdi burde systemet være operativt store deler av dagen og vise troverdige frysepunkt for beslutningstaker. Verdien på kabelresistansen er målt godt innenfor de verdiene som er anbefalt. Hvorvidt bytte av kabler vil løse problemene knyttet til oppetid, eller kun problemene knyttet til kvaliteten på frysepunktdata, er vanskelig å diskutere med bakgrunn i resultatene.

---

## 5.3 Feltforsøk

Forholdene under det gjennomførte forsøket var ikke tilsvarende vinterforhold, altså forhold hvor det er nødvendig å legge kjemikalie. Selv om det ble tilført vann på rullebanen for å fremkalle avrenning og flypåvirkning, vil det grunnet høy temperatur være mulig at denne væskemengden fordampet før påvirkningen ble et faktum. Med bakgrunn i resultatene gir forsøket verdifull informasjon om bruken av SOBO 20 under andre forutsetninger enn tidligere kjent, men lite om hvordan kjemikaliemengden endres under vinterdrift.

### 5.3.1 Begrensninger ved SOBO 20

Resultatene fra feltforsøket viser at det i liten grad forsvinner kjemikalie fra rullebanen, allikevel er det store variasjoner i mengdene som måles. Det nevnes i litteraturen at SOBO 20 ikke registrerer riktige verdier på mengden kjemikalie ved uoppløst  $NaCl$ , altså krystallisert  $NaCl$ . De store variasjonene tyder på at instrumentet også kan ha utfordringer med å måle riktig mengde opptørket Aviform, selv om Aviform ikke krystalliseres. Resultatene tyder på at det tar tid å løse opp opptørket Aviform og dermed måle riktig konduktivitet. Det er derfor grunnlag for å påstå at et forsøk på tørr asfalt med varmt oppholdsvær ikke er det ideelle tidspunktet for å måle kjemikaliemengde og påvirkning fra flytrafikk.

Resultatene fra feltforsøket viser at flere målinger er markert som ugyldig grunnet at målepunktene ikke ble sjekket for høyere eller lavere verdi. Da SOBO 20 kun viser opp til 15 verdier er det lagt ved en funksjon for 3 ganger måleverdi som gjør det mulig å vise opp til 25 verdier og  $45 g/m^2$ . Dette medfører at instrumentet gir alle verdier fra 1-15, og videre 18, 21, 24 opp til 45. Ved oppstart av forsøket og første måling for  $A_1$  og  $B_1$  var det ikke forventet at instrumentet ville vise mer enn  $30 g/m^2$  med kjemikalie. Derfor ble det ikke sjekket for en høyere verdi da resultatet viste 15, altså  $34 g/m^2$  Aviform. Det ble heller ikke sjekket for høyere verdier ved andre måling for  $A_2$  og  $B_2$ . I likhet med at det ikke ble sjekket for høyere verdier, vil enkelte målinger ikke ha blitt sjekket for lavere verdier om SOBO 20 har vist lavere enn  $15 g/m^2$  når 3 ganger måleverdi har vært skrudd på. Instrumentet mister i disse tilfellene alle verdier som ikke er delelig på 3, som igjen gir lavere nøyaktighet på målingene. Dette kan gi et uriktig inntrykk av at verdiene er lengre fra hverandre, slik det kan oppfattes ved repetisjonsforsøket på tverrsnitt  $A_7$  og  $B_7$  når verdiene er over  $34 g/m^2$ . Ved rask måletaking og begrensede lysforhold kan funksjonen ha medført at feil verdi ble registrert, enten ved å ikke være skrudd på ved høy verdi, eller ikke skrudd av ved lav verdi.

### 5.3.2 Begrensninger ved forsøket

Forsøket ble planlagt for en vindretning fra nord mot sør. Selv om dette er det vanligste var ikke dette tilfellet under hele forsøksperioden. Grunnet den planlagte vindretningen fra nord ble det satt opp tester i seksjon A for påvirkning fra flyavganger, og i seksjon B for påvirkning fra flylandinger. Under forsøket endret vindretningen seg til sør mot nord, hvilket medførte at flytrafikken ble dirigert i motsatt retning fra hva som var antatt. Seksjon A sto av den grunn delvis uberørt fra rundt rushtid på torsdagen til forsøket ble avsluttet. Grunnet innskrenkninger på rullebanen i den sørlige enden er det fortsatt antatt at seksjon B har hatt samme potensielle påvirkning fra motorbrems som ved motsatt vindretning.

Da tidsaspektet er svært uforutsigbart, og tid på rullebanen svært strengt regulert, ble avstander beregnet med øyemål. Dette medfører at alt av avstander oppgitt i forsøket inneholder



---

usikkerhet og feilmargin. Dårlig tid medførte i tillegg at målinger ved enkelte tverrsnitt ble avbrutt, og det ble her nødvendig å forlate rullebanen inntil et nytt vindu i flytrafikken oppsto. Usikkerheten med øyemål kan da ha medført at forsøket ble fortsatt på feil plassering, og kan ha forårsaket færre eller flere målinger på det aktuelle tverrsnittet. Dette er en mulig årsak til at noen tverrsnitt kun har 7 målinger, og målepunktene vil da kunne avvike fra antatt målepunktlokasjon.

### 5.3.3 Kjemikalieutvikling

Målet med feltforsøket var å finne resultater om hvordan kjemikalie utvikler seg på rullebane, for å knytte kunnskapen opp mot hvordan bruken av sensorer kan optimaliseres. Da det er lite eksisterende kunnskap om kjemikalieutvikling under vinterdrift er det lite informasjon som kan brukes for å tilpasse sensorene best mulig til rullebanen.

For å diskutere resultatene fra forsøket på en best mulig måte var det nødvendig å se på troverdigheten til målingene. Ved å teste for kjemikalie på upåvirket rullebane var det mulig å bekrefte at SOBO 20 viser riktig før oppstart. Da resultatet fra alle de tre målepunktene ble  $1g/m^2$  NaCl, tilsvarende  $1,4g/m^2$  Aviform, kunne dette brukes videre som en antakelse om at rullebanen er upåvirket. Resultatet på upåvirket rullebane bekrefter målinger gjort under kalibrering av SOBO 20, som ga  $1g/m^2$  NaCl for  $0g/m^2$  Aviform. Videre fra repetisjonsforsøk på  $A_7$  og  $B_7$  viser resultatene at SOBO 20 måler mengder som i liten grad varierer ved like forhold. På den andre siden viser resultatene at avstanden mellom to målepunkt blir høy når 3 ganger måleverdi funksjonen er påskrudd. Det er da vanskelig å si om verdiene i realiteten er så ulike som figur 15 og figur 16 kan antyde, eller om de er nokså like, bare at repetisjon 1 for målepunktet tippet oppover og repetisjon 2 tippet nedover på skalaen. Repetisjonsforsøket gir grunn for å tro at SOBO 20 gir like verdier for tilsvarende forhold, men at endrede forhold gjør at målingene varierer i stor grad.

Resultatene viser at det er store variasjoner i målinger, men antyder at kjemikaliemengden ikke reduseres betydelig i løpet av varigheten på forsøket. Selv om det ikke ble tatt høyde for høyere verdier for målinger ved  $A_1$  og  $B_1$ , antyder resultatene at kjemikaliemengden er tilsvarende konstant. Resultatene som sammenlikner utviklingen for begge seksjonene viser en nokså lik trend, og begge grafer viser at gjennomsnittene varierer uavhengig av hva som har vært målt tidligere. Det kan fra resultatene virke som en trend mot redusert kjemikaliemengde, men individuelle målepunkt fra hvert tverrsnitt antyder motstridende resultater. Sett bort fra målinger ved  $A_1$  og  $B_1$ , er det totalt 15 målepunkt som viser en mengde kjemikalie  $\geq$  måleverdien som er nærmest  $60g/m^2$  i området med dobbelt utlegg. For området som ikke har hatt dobbelt utlegg er det 11 målepunkt som viser  $30 \pm 3 g/m^2$  Aviform. Det vil si at ca. 18% av målingene ikke viser en reduksjon  $> 3g/m^2$  Aviform. Da de målte verdiene forekommer gjennom hele forsøksperioden, styrker det grunnlaget for å tro at mengden kjemikalie er tilsvarende konstant, men at det er forholdene som begrenser SOBO 20 sin nøyaktighet. Med bagrunn i kjemikalieutviklingen er det grunnlag for å påstå at SOBO 20 har utfordringer med å måle riktig konduktivitet for Aviform ved tørr rullebane, slik konduktivitetmåleren på den passive sensoren også viser indikasjoner til.

Det har ikke blitt observert tydelige resultater som omhandler flypåvirkning, eller annen type påvirkning som forårsaker tap av kjemikalie. Med unntak av tverrsnitt  $B_1$  har resultatene for målepunkt utenfor rullebanen vært konsekvent på verdien  $1,4g/m^2$ , altså samme verdi som for upåvirket rullebane. Da det i tillegg hverken observeres en reduksjon under flymotorene eller en økning i mengden utover mot sidekanten, antyder dette at det ikke er avblåsning fra flytrafikken. Resultatene viser at den gjennomsnittlige målte kjemikaliemengden ved ca 20 flylan-

---

dinge tilsvarer kjemikaliemengden etter 90 flylandinger. Forventning om at tilførsel av vann ville vise en ekstra påvirkning virker ikke å stemme med resultatene, da det er lite som antyder at kjemikaliemengden går betydelig ned etter målingen ved 22 landinger. Det var kun én flylanding under de 30 minuttene mellom tilførsel av vann og måling av kjemikaliemengde. For å øke sannsynligheten for at resultatene ville vise en påvirkning, burde det ha vært et høyere antall flylandinger tett opp mot vanntilførsel, da vannet raskt vil ha fordampet og kjemikali- et vil ha tørket opp. Resultatene som tidligere er diskutert antyder at konduktiviteten måles bedre med høyere tilstedeværelse av væske og oppløst kjemikalie. Dette kan forklare hvorfor gjennomsnittsverdiene øker rett etter tilførsel av vann og at det ikke fremkommer om flylan- dingene har hatt en påvirkning. På den andre siden vil ikke dette forklare hvorfor verdiene på kjemikaliemengde senere også økes både for seksjon A og B. Resultatene viser derfor hverken om det er påvirkning fra flytrafikk eller om det er påvirkning fra andre kilder.

Som et resultat av målingene på kjemikaliemengde fremkommer det at det legges dobbelt ut- legg om senterlinje. Dette påvirker resultatene og gir samtidig nye resultater. Grunnet dobbelt utlegg burde den midterste sensoren i begge seksjoner registrere høyere frysepunkt enn de to andre aktive sensorene plassert lengre ut fra senterlinjen. Det doble utlegget er ikke registrert av Frensor 2 ved noen av de analyserte casene. Det er i tillegg fra denne sensorplasseringen at det vises størst feilverdi *temperatur over måleområde* ( $> +10C$ ) og det er antatt at flytrafikken vil ha størst påvirkning her. Grunnet avstanden mellom målepunkt og forholdene på rullebanen under forsøket, kommer det ikke frem i resultatene om det er en forskjell i kjemikaliemengde i området med dobbelt utlegg.

Det doble utlegget over senterlinjen utgjør over 7,8m, som vil si over 17% av bredden på ut- legget. Basert på kostnaden for kjemikalie fra vintersesongen 2017/2018 kunne Flesland ha redusert utgiftene sine med 1 million kroner om de kun hadde lagt ett lag kjemikalie i den bredden som de i dag legger ut mot kantlinjen. For plasstjenesten vil det være vanskelig å unn- gå ekstra utlegg om senterlinjen slik maskinene opererer i dag, og noe dobbelt utlegg kan være praktisk for å sikre at rullebanen har tilstrekkelige forhold. På den andre siden er 7,8m en bety- delig andel av rullebanens bredde, og bevisstgjøring rundt en reduksjon av dobbelt utlegg vil potensielt kunne spare Avinor for unødvendig kjemikaliebruk. Dette betyr både en reduksjon i kostnader for flyplassene, og en lavere påkjenning for miljøet. Hvorvidt det doble utlegget kan reduseres slik maskinene i dag fungerer, eller om høy flypåvirkning gjør det nødvendig med dobbelt utlegg, er ikke mulig å diskutere med bakgrunn i resultatene fra denne rapporten. Re- sultatene finner heller ikke forskjeller i kjemikaliemengde mellom seksjonene på rullebanen og det er derfor ikke mulig å diskutere hvordan sensorene kan optimaliseres med tanke på kjemikalieutvikling.

---

## 6 Konklusjon

For at sensorene skal oppfylle ønsket om et komplett og grundig beslutningsgrunnlag vil det kreve en høyere datakvalitet enn det som leveres. Da sensorene hverken er pålitelige, gir et nøyaktig bilde av forholdene på rullebanen eller er brukervennlige, utgjør systemet en liten bruksverdi for plasttjenesten og brøyteleder slik det fungerer i dag.

Med bakgrunn i hva denne rapporten har kommet frem til er det for høye variasjoner og for lav pålitelighet på frysepunktdata til å kunne kalle frysepunktsensorene brukervennlige. Selv om det kan påvises at nøyaktigheten er god ved enkelte anledninger er en variasjon på over 15°C i 10 av 17 caser for høyt til at denne dataen kan evalueres som troverdig. Kun 1 av 17 caser viser frysepunktdata som vurderes som troverdig over en lengre periode. Kvaliteten på frysepunktdata og oppetiden på mellom 49% og 65% for de aktive sensorene tilsier at sensorene ikke vil gi et godt bidrag for vinterdrift. Tross gjentatte forsøk på å forbedre data fra de aktive sensorene fungerer de ved sesongslutt 2019 ikke på et tilstrekkelig nivå.

Forholdene under det gjennomførte feltforsøket var ikke optimale og gir ikke et riktig bilde av kjemikalieutvikling under vinterforhold. Med tilsvarende forhold vil det være lite tap i kjemikalie mengde, men rapporten kan ikke konkludere om hvordan flytrafikken påvirker kjemikalie, eller om andre kilder forårsaker tap under vinterforhold. Det er derfor ikke mulig å konkludere hvordan bruken av sensorene kan optimaliseres på rullebanen. Høy opptørking av kjemikalie vil gi utfordringer for SOBO 20 i målingen av riktig mengde Aviform, men instrumentet er konsekvent i hva den måler under like forhold, som gir høy troverdighet på målingene.

Ved utlegg av kjemikalie blir det lagt et dobbelt utlegg på minst 7,8m over senterlinjen. Dette utgjør 17% av det totale kjemikalieforbruket på rullebanen, og det er et stort potensiale for å redusere kjemikaliebruk ved å redusere mengden dobbelt utlegg.

## 7 Anbefalinger

Dersom Avinor beslutter å bytte kablene i rullebanen anbefales det at de er oppmerksom på at dette må forbedre både oppetiden til sensorene, altså høyere grad av generert data, og kvaliteten på den data som genereres. Dette er nødvendig for å gi et forutsigbart datagrunnlag som kan benyttes som beslutningsgrunnlag for brøytelederen. Da det kun er de aktive sensorene som er under forbedring, anbefales det at de passive sensorene utelates fra gjennomsnittsmålinger av frysepunktet på rullebanen, dersom forholdene fortsatt skal illustreres i Power BI på samme måte som i dag.

Det anbefales å gjennomføre undersøkelser under vinterføre for å vise aktuell påvirkning fra flytrafikk og andre kilder, samt hvordan SOBO 20 måler mengden Aviform under slike forhold. Denne kunnskapen er nødvendig for å optimalisere utbytte av sensorenes frysepunktdata.

Ved å bevisstgjøre plasttjenesten på det doble utlegget og tilpasse utstyret så dobbelt utlegg ikke finner sted, kan Avinor spare høye kostnader og unngå unødvendig miljøpåkjønning. Da det doble utlegget ikke registreres av de aktive sensorene plassert på senterlinjen, anbefales det ved videre evaluering å være oppmerksom på dette.

---

## Referanser

- ADDCON, 2018. De-icing aviform 150. . URL: <http://www.addcon.com/no/de-icing/de-icer/aviform-150/>.
- Atkins, P. W., De Paula, J., 2002. Physical chemistry. Vol. 7. Oxford university press, Oxford UK.
- Blomqvist, G., Gustafsson, M., 2012. Residual salt and road surface wetness: Comparison of field techniques. Tech. rep., (No. WM-STW12-140).
- Blomqvist, G., Gustafsson, M., Eram, M., Ünver, K., 2011. Prediction of salt on road surface: tool to minimize use of salt. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (2258), 131–138.
- Dahl, G., 2009. Utprøving av alternative kjemikalier for vinterdrift av veger. Master's thesis, NTNU.
- Fleege, E. J., Scott, B., Minge, E., Gallagher, M., Sabie, J., Petersen, S., Kruse, C., Han, C., Larson, D., Maplewood, M., et al., 2006. Test methods for evaluating field performance of rwis sensors. NCHRP Web-only Document 87 (Project 6-15) Contractor's Final Report and Field Manual.
- Jonsson, P., 2009. Road status sensors: A comparison of active and passive sensors. In: Proc. 16th ITS World Congr. Exhibit. Intell. Transp. Syst. Services. No. 01149593.
- Katz, D. I., 1993. Frensor: A new smart pavement sensor. Transportation Research Record (1387).
- Klein-Paste, A., 2018. Seks prinsipper om fornuftig kjemikalebruk. Foredrag Avinor.
- Klein-Paste, A., Dalen, R., 2018. The fundamentals of plowing, anti-icing, de-icing and sanding. Sustainable Winter Road Operations, 82–100.
- Lysbakken, K. R., 2008. Measuring salt on road surfaces—a discussion of salt concentration versus salt amount. In: 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic.
- Lysbakken, K. R., 2013. Salting of winter roads: the quantity of salt on road surfaces after application.
- Lysbakken, K. R., Lalagüe, A., 2013. Accuracy of sobo 20 in the measurement of salt on winter pavements. Transportation Research Record 2329 (1), 24–30.
- Millgard, L. O., Sep. 1 1992. Method to measure a temperature with a peltier element. US Patent 5,143,451.
- Myrup, N. V., Odense, H. J., Vergod, J., Pojezny, L., Fonnesbech, J. K., Pedersen, B. J., Madsen, F. S., Nygaard, H., 2005. Restsaltmåleren sobo 20.
- RAMSYS, 2018. Frensor® aktiv frysepunktmåler fra asft. . URL: <https://www.mowic.no/vei/category/frensor>.
- Røsjø, B., 2018. Landing på glatt rullebane blir tryggere med matematikk og big data.
- Skjærbekk, K. H., 2017. Varighet av salttiltak med befuktet salt-effekt av ulike befuktningsvæsker og kornstørrelse på salttap fra vegbanen. Master's thesis, NTNU.
- VAISALA, 2017. Road and runway sensor drs511. . URL: <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/DRS511-Datasheet-B010115EN-C.pdf>.

---

## **Vedlegg**

**Vedlegg 1:** Aktiviteter knyttet til utbedring av de aktive sensorene

**Vedlegg 2:** Fullstendig analyse av frysepunktdata generert av sensorene

**Vedlegg 3:** Kjemikalieutvikling seksjon A

**Vedlegg 4:** Kjemikalieutvikling seksjon B

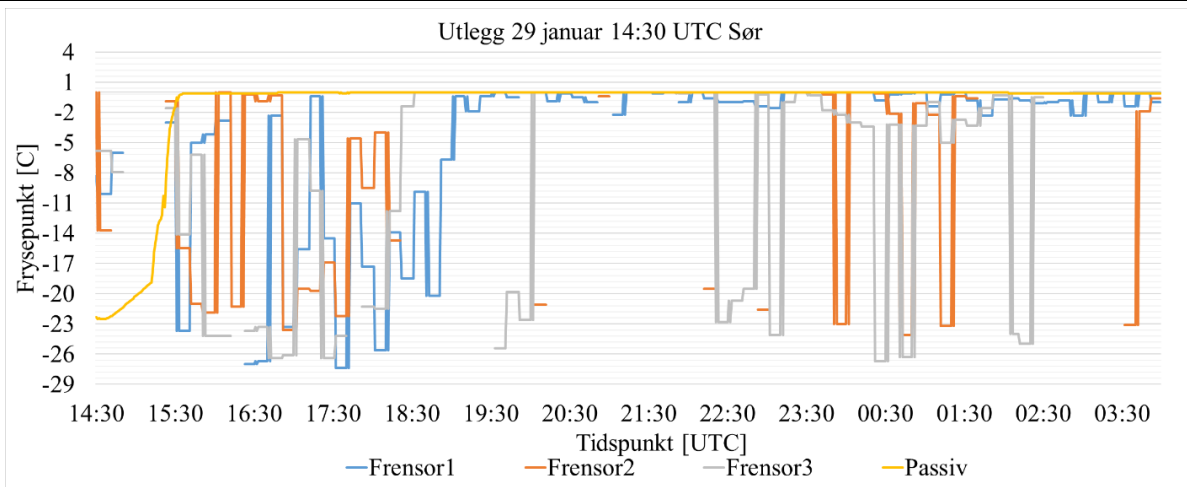
## Vedlegg 1: Aktiviteter knyttet til utbedring av de aktive sensorene

Dato	Aktivitet	Systemstatus
Høst 2018	Oppstart prosjekt	Sensorene har tidligere ikke vært operative og målinger fra tidligere år eksisterer ikke.
29.11.18	Power BI registrerer sensordata	De aktive sensorene er operative av og til, men ingen troverdige målinger. Passive sensorer registrerer lite.
06.12.18	Testutlegg sensorer nord	Hverken de aktive eller de passive sensorene viser riktig frysepunkt.
09.12.18		Sensorer i nord viser loggertid i 2004-verdier og starter å rapportere i kolonne for <i>Frysefeil</i> .
Desember 2018		Sensorene viser store variasjoner i målinger. Aktive rapporterer av og til, men stopper etter få sykluser. Noen ganger feilmelding, andre ganger uten rapportert grunn. Passiv viser tendenser.
Januar 2019		Sensorene viser store variasjoner i målinger. Aktive rapporterer høye frysepunkt for så å vise feilmelding om tørr etter noen sykluser. Kommer tilbake med lave frysepunkt rett etter. Passiv viser tendenser, men sjeldent høyere enn $-5^{\circ}\text{C}$ .
24.01.19	Verifiseringsforsøk	Sensorene gir ikke tilfredsstillende data. Loggertid i nord blir satt til 2019-verdier. ASFT setter i gang med å finne en løsning.
08.02.19	Sjekk på kabelresistans	Verdier blir målt til å være innenfor godkjent resistans og de aktive sensorene i seksjon A og C fungerer korrekt. Konklusjonen er at sekslederkabel fungerer bedre enn eksisterende firelederkabel og at noe i koblingen forstyrrer resultatene.
08.02.19 - 07.03.19	Feil med passiv nord	Passiv sensor i nord viser kun feilverdier, blankt for <i>surfstate</i> og $0^{\circ}\text{C}$ i frysepunkt.
18.02.19- 20.02.19	Kablene testes på AFST sine kontorer	Firelederkabler skal fungere bare resistansen blir tatt hensyn til. Denne resistansen må beregnes hver gang det skjer en endring i sensorinstallasjon.
23.02.19- 28.02.19	Flyplassinstallasjon	Testing av mulige løsninger og alternative metoder for beregning av kabelresistans som må kompenseres for. Sensorene fungerer fortsatt ikke.
25.02.19	Etter flyplassinstallasjon	Sør viser 2004 logger verdier
07.03.19- 08.03.19	Implementering av resultater	Kompensering for kabelresistans implementeres og nytt verifiseringsforsøk gjennomføres. De aktive sensorene går over til å vise feilverdier i nord. Sensorer i sør viser riktig loggertid før de forsvinner helt.
07.03.19 - d.d	Etter implementering av resultater	Nord viser kun feilverdier.
08.03.19- 18.03.19	Etter implementering av resultater	Sensorer i sør viser ingen rapporteringer i Power BI. Loggertid er tilbake i 2004-verdier når rapporteringer starter opp.
Mars/april 2019		Aktive sensorer i nord viser feilverdi. Sør viser ingen forbedring. Passiv sensor viser fortsatt tendenser.
01.05.19	Avslutning	Sensorene skrus av da vintersesongen er ferdig.

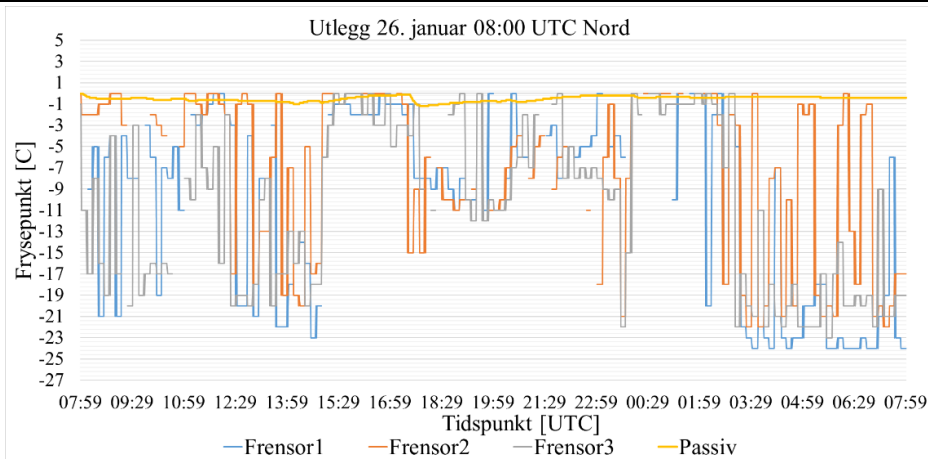
## Vedlegg 2: Fullstendig analyse av frysepunktdata generert av sensorene

Case	Gir sensorene troverdige målinger?	Ja	Beskrivelse
1 (Oppetid >90%)			<p><u>Passiv:</u> Liten tendens til utlegg, men raskt 0°C</p> <p><u>Aktive:</u> Reduserende frysepunkt i starten, troverdige målinger fra 09:00 med små variasjoner</p>
<p>Utlegg 30. januar 04:00 UTC Sør</p>			
Case	Gir sensorene troverdige målinger?	Nei	Beskrivelse
2 (Oppetid >90%)			<p><u>Passiv:</u> Liten tendens til utlegg, men raskt 0°C</p> <p><u>Aktive:</u> Tendenser til troverdige målinger av Frensor 1 og Frensor 3, men store variasjoner for Frensor 2 med rundt 20°C etter 15:00</p>
<p>Utlegg 30. januar 04:00 nord</p>			
Case	Gir sensorene troverdige målinger?	Nei	Beskrivelse
3 (Oppetid >90%)			<p><u>Passiv:</u> Viser ikke utlegg</p> <p><u>Aktive:</u> Troverdig på starten, så store variasjoner på rundt 20°C</p>
<p>Utlegg 28. januar 04:50 nord</p>			

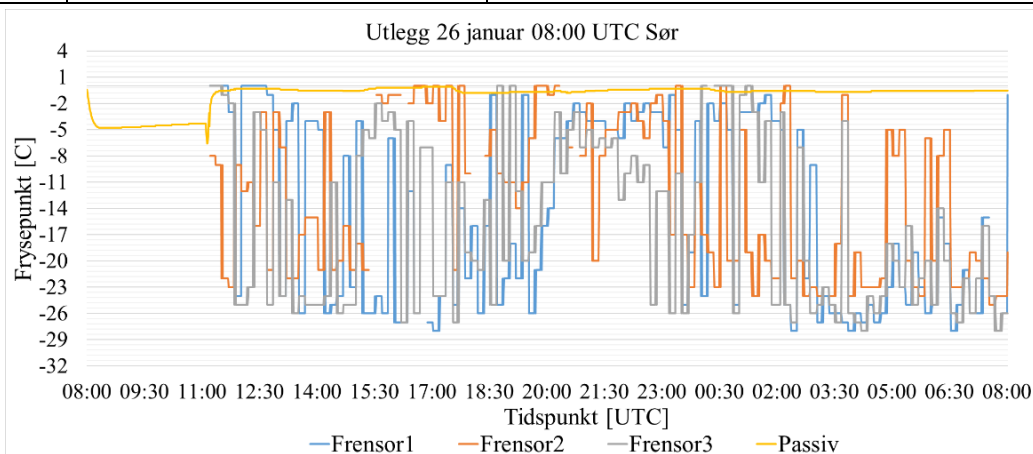
<b>Case</b>	4 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser høyt frysepunkt etter utlegg som kan være troverdig, men øker til 0°C <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 20°C i starten, Frensor 1 deretter stabil mens Frensor 3 fortsetter variasjonen
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	---



<b>Case</b>	5 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Gir aldri verdier lavere enn -1°C selv om de aktive viser lavere <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 15°C i starten og slutten, og rundt 10°C i midten
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	--

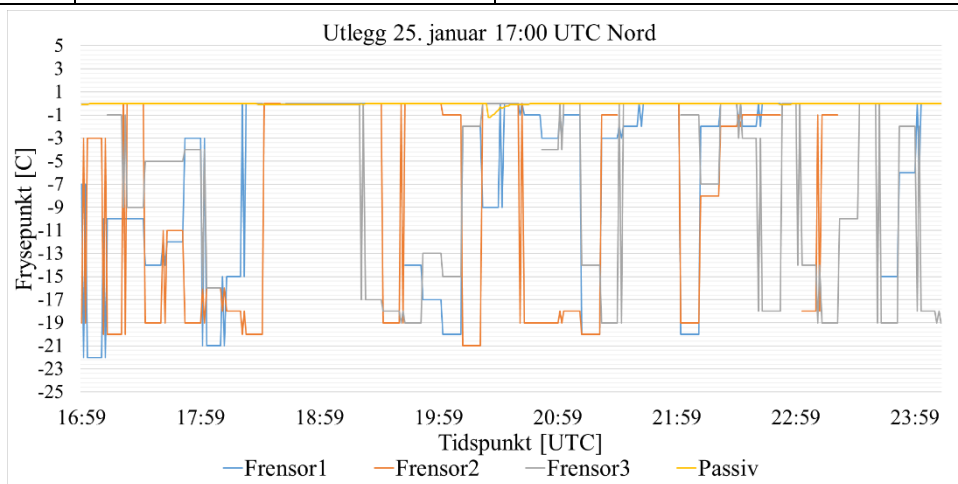


<b>Case</b>	6 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser tendens på starten, men etter 3 timer øker frysepunktet til rett under 0°C <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 20°C
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	---

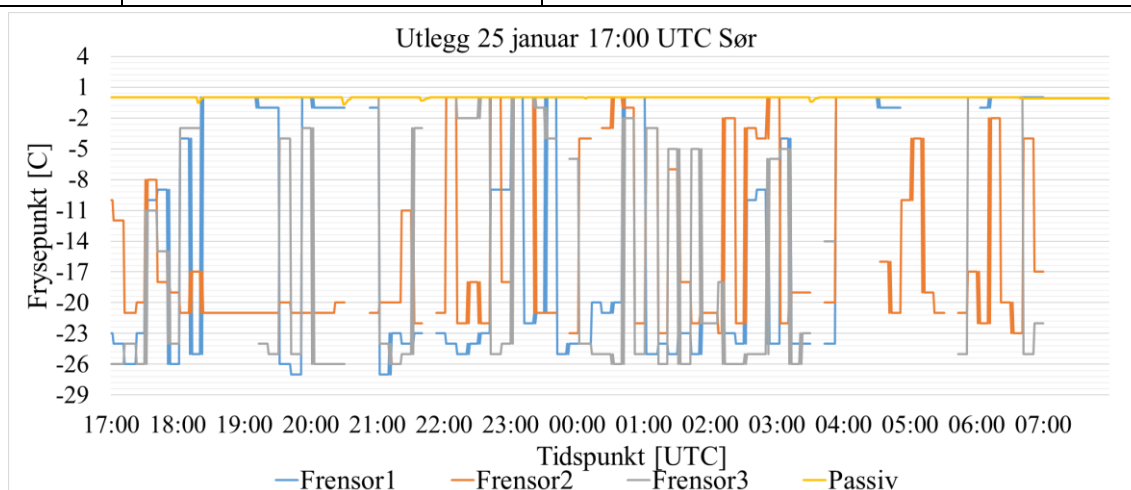




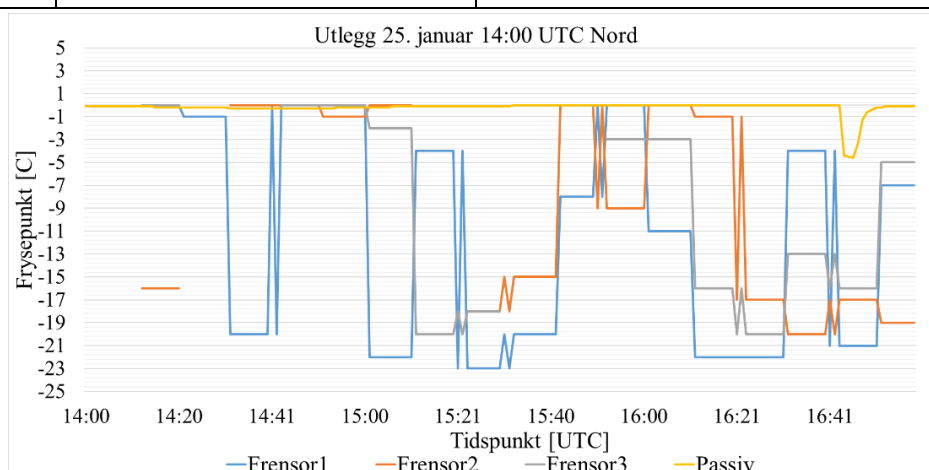
<b>Case</b>	7 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser ingen tendenser til utlegg <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 20°C
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	---



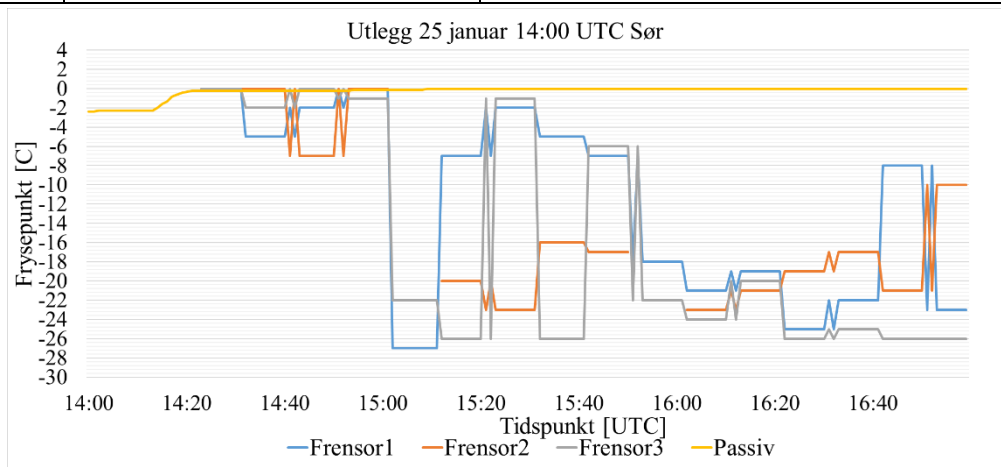
<b>Case</b>	8 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser ingen tendenser til utlegg <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 25°C for Frensor 1 og 3, mens 20°C for Frensor 1
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	---



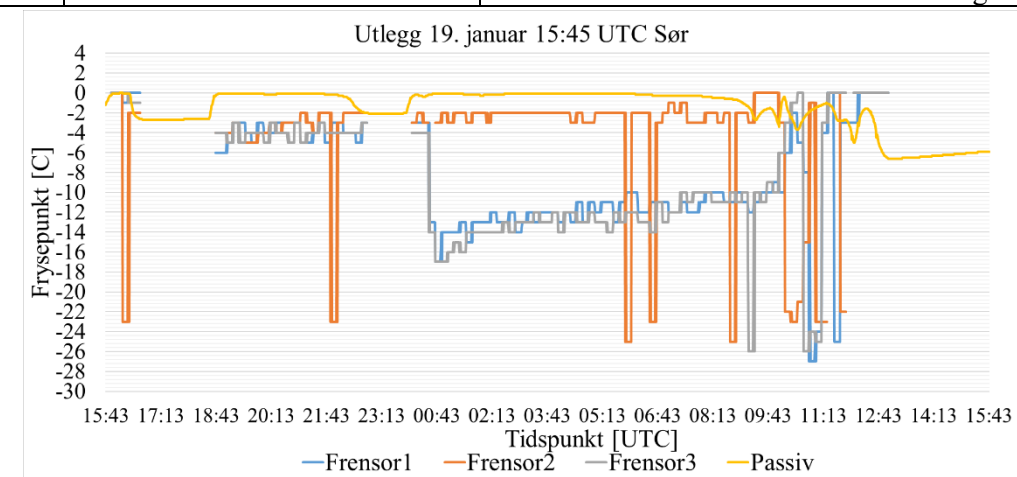
<b>Case</b>	9 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser tendens til utlegget som kommer senere, men ingen tendens til dette <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 20°C
-------------	---------------------	---	-----	--------------------	--



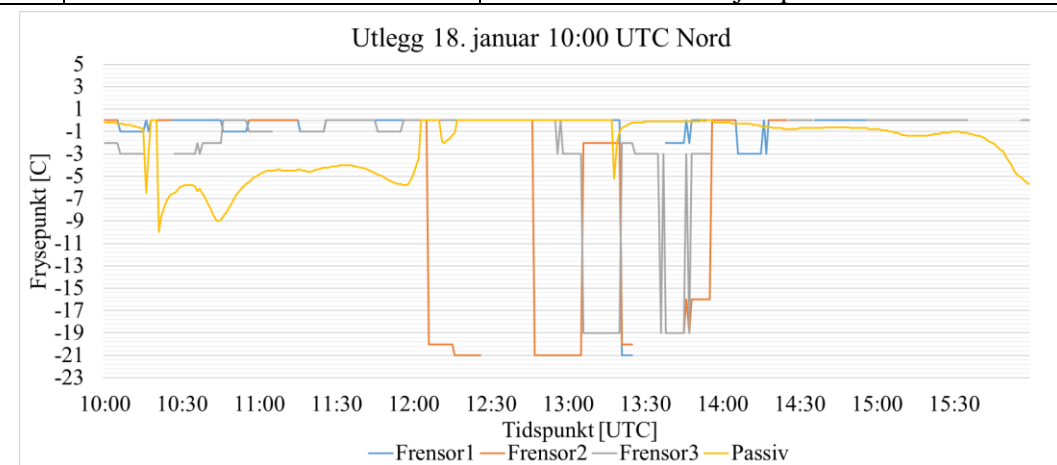
<b>Case</b>	10 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser noe på starten, men deretter 0°C <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 20°C for Frensor 1 og 3, mens 10°C for Frensor 1, stabiliseres litt etterhvert
-------------	----------------------	---	-----	--------------------	---



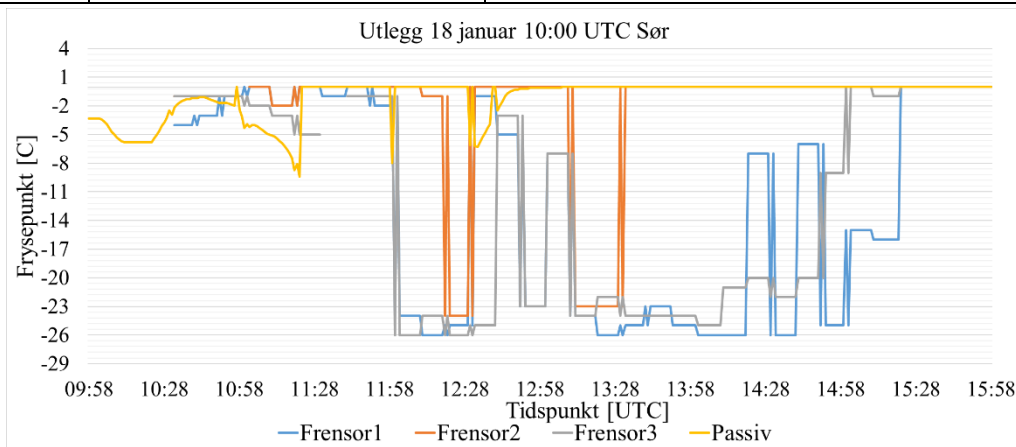
<b>Case</b>	11 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Små variasjoner mellom lave frysepunkt og 0°C <u>Aktive:</u> Noen tendenser som kan virke troverdige lenge etter utlegg. Forskjell på -10°C mellom Frensor 1 og de to andre aktive
-------------	----------------------	---	-----	--------------------	--



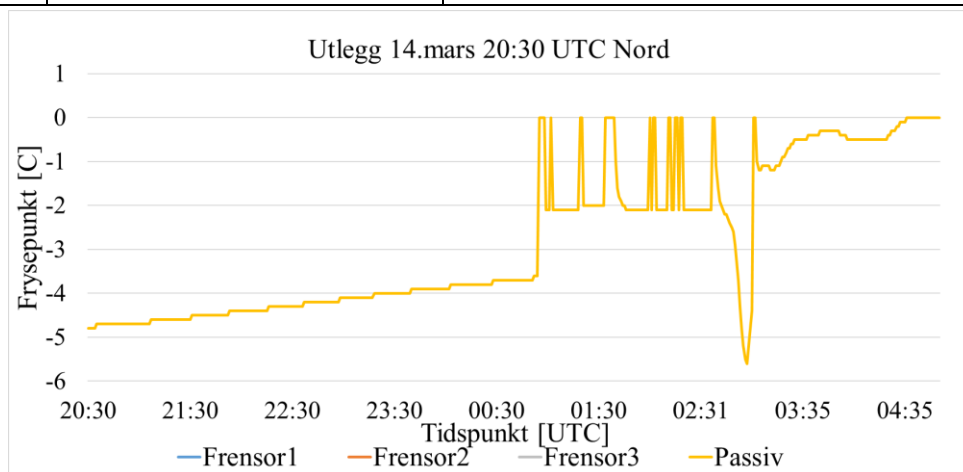
<b>Case</b>	12 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser sammenhengende kurve, men varierer og viser 0°C når aktiv viser verdier <u>Aktive:</u> Lite frysepunktdata, men med variasjon på rundt 20°C for Frensor 2 og 3
-------------	----------------------	---	-----	--------------------	--



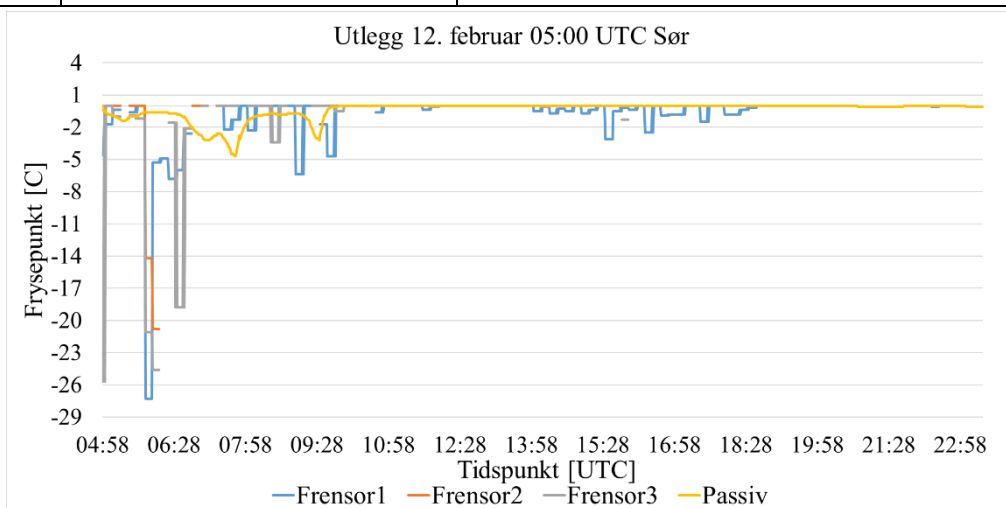
<b>Case</b>	13 (Oppetid >70%)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Usammenhengende i starten, deretter 0°C <u>Aktive:</u> Store variasjoner på rundt 25°C i starten, deretter lite data fra Frensor 2
-------------	----------------------	---	-----	--------------------	--



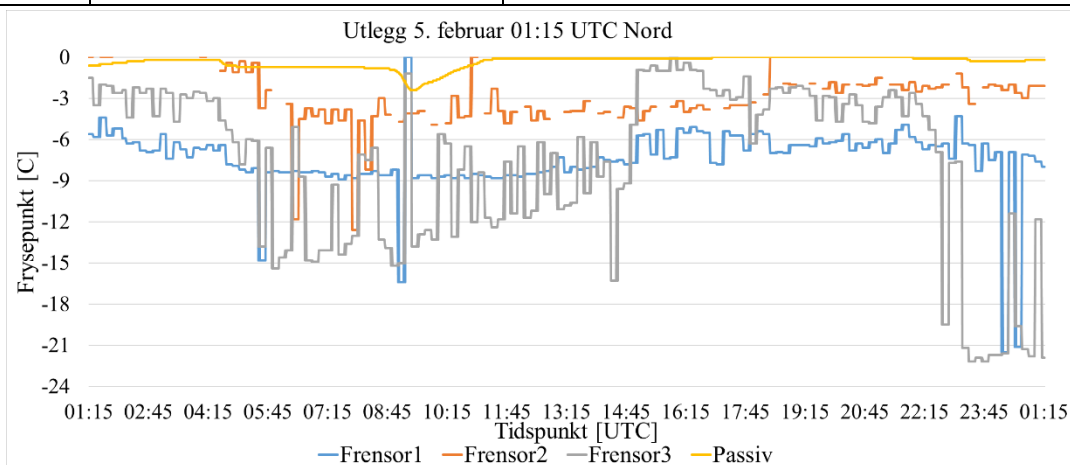
<b>Case</b>	14 (Tilfeldig)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Høyt frysepunkt til å være utlegg, variasjoner fra 00:30 mellom -2°C og 0°C <u>Aktive:</u> Viser ikke frysepunkt
-------------	-------------------	---	-----	--------------------	--



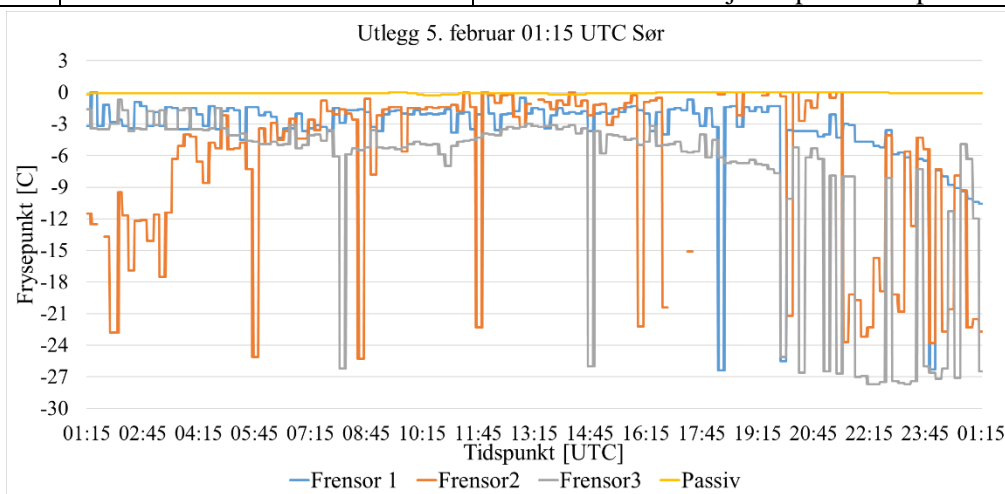
<b>Case</b>	15 (Tilfeldig)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser en liten tendens til utlegg, så 0°C <u>Aktive:</u> Viser liten tendens til utlegg, men raskt økende verdi mot 0°C
-------------	-------------------	---	-----	--------------------	---



<b>Case</b>	16 (Tilfeldig)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser ikke tendens til utlegg <u>Aktive:</u> Noen tendenser som kan virke troverdige, men høyt frysepunkt. Variasjoner for Frensor 3 på rundt 7°C, små variasjoner for de to andre
-------------	-------------------	---	-----	--------------------	--



<b>Case</b>	17 (Tilfeldig)	<b>Gir sensorene troverdige målinger?</b>	Nei	<b>Beskrivelse</b>	<u>Passiv:</u> Viser ingen tendens til utlegg <u>Aktive:</u> Tendenser til sammenhengende på starten, men høyt frysepunkt. Store variasjoner på slutten på rundt 20°C
-------------	-------------------	---	-----	--------------------	--



### Vedlegg 3: Kjemikalieutvikling seksjon A

Leseveiledning: Navn på kurvene er gitt fra tid etter utlegg.

#### Kjemikalieutvikling for tverrsnitt seksjon A

