

Ispartikkelanalyse før injisering av is i hydraulisk anlegg

Nikolai Austdal
Robin Lægreid
Martin Hummervoll

Bacheloroppgave i [Allmenn maskin]
Bergen, Norge [2021]



Ispartikkelanalyse før injisering i hydraulisk anlegg

Nikolai Austdal
Robin Lægreid
Martin Hummervoll

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for ingeniør- og naturvitskap
Institutt for maskin- og marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

English title: Ice particle analysis before injecting ice in a hydraulic system.

Forfatter(e), studentnummer: Nikolai Austdal, 578134
Robin Lægreid, 578136
Martin Hummervoll, 578102

Studieprogram: [Allmenn maskin]
Dato: Mai 2021
Rapportnummer: HMAM 2018 (X: Gruppe ID.nr M03)
Veileder ved HVL: Boris Balakin
Oppdragsgiver: HVL
Oppdragsgivers referanse: Boris Balakin

Antall filer levert digitalt: 1

Forord

Denne rapporten er skrevet av Nikolai Austdal, Robin Lægreid og Martin Hummervoll som den avsluttende hovedoppgaven i Allmenn Maskinteknikk ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Oppgaven er gitt av Professor Boris Balakin ved institutt for maskin og marinfag (IMM).

Problemstillingen i hovedoppgaven er å undersøke hvilke ispartikkelstørrelser som dannes under forskjellige omgivelser ved ulike istyper. Resultatene fra partikkelanalysene skal brukes i sammenheng med prosjektet fra One Subsea til å se videre på hvordan arbeids-fluidet dekan, blandet med ispartikler oppfører seg i et hydraulisk system. Is vil bygge seg opp over tid i en gjennomiktig strupeovergang. Overgangen observeres visuelt for å kartlegge mengden is ved spesifikk partikkelstørrelse, som skal til før pluggdannelse.

Vi ønsker å takke professor Boris Balakin for god veiledning, samt postdoktor Pavel Struchalin for god hjelp til å utføre forsøk på lab. Han har vist oss hvordan oppsettet til den hydrauliske riggen fungerer, hvordan utstyret til de ulike delene i forsøket virker og til planlegging av oppgaven. Oppgaven er skrevet i samarbeid med OneSubsea som står for finansiering av prosjektet.



Sammendrag

Våren 2021 ble det utført ispartikkel analyse ved Høgskulen på Vestlandet med et formål om å kartlegge størrelser og distribusjon av partikler knust ved forskjellige temperaturer. Partiklene skal videre bli brukt i et prosjekt finansiert av One Subsea, der det injiseres ispartikler i et hydraulisk anlegg for å undersøke pluggdannelse forårsaket av is. Partiklene vil enten bli injisert direkte i rørsystemet, eller plassert i tank før sirkulering. Hydraulikkridgen er utstyrt med en varmeveksler. Denne holder temperaturen i tanken på cirka $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ for å unngå smelting av partikler. Utførelse av partikkelanalyser er gjort ved $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, og er utført på to forskjellige istyper. Dette er egenprodusert is med vann fra springen, og klar kjøpe-is fra Rema1000. Bildeanalyse og sedimenteringsmetode er benyttet for sammenligning av hverandre. Resultatene er presentert til postdoktor Pavel Struchalin som har hovedansvar for den hydrauliske ridgen, og er i tett samarbeid med One Subsea.

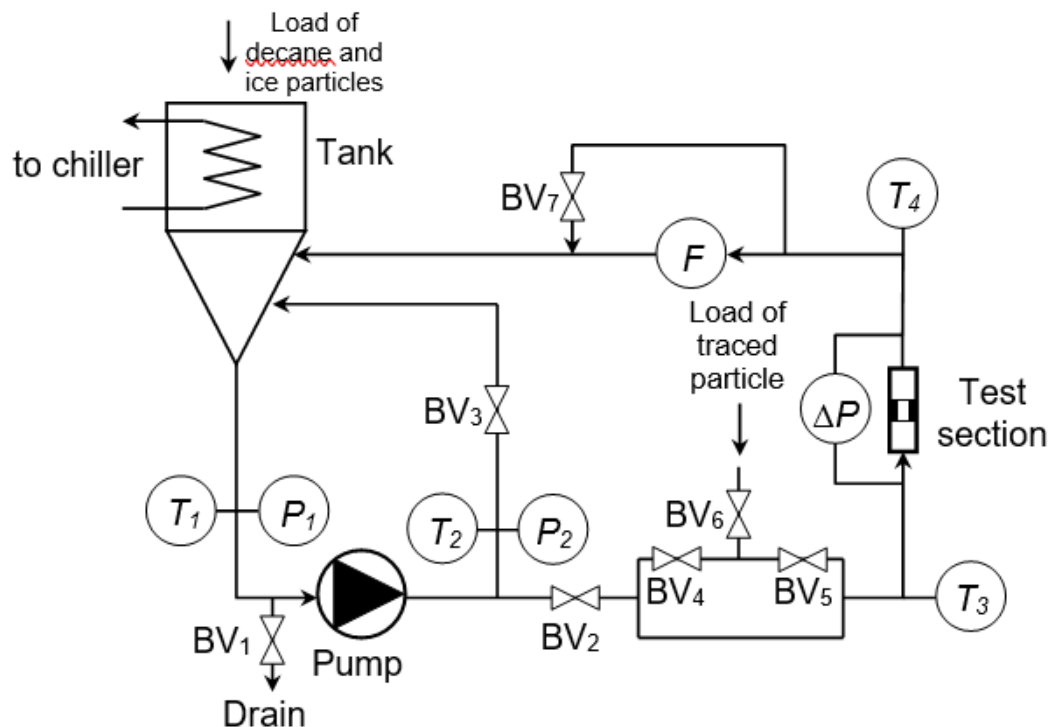
Abstract

In the spring of 2021, an ice particle analysis was performed at Høgskulen på Vestlandet with the aim of mapping the sizes and distribution of particles crushed at different temperatures. The particles will be used in a project funded by One Subsea, where ice particles are injected into a hydraulic rig to investigate plug formation caused by ice. The particles will either be injected directly into the piping system or placed in the tank before circulation. The hydraulic rig is equipped with a heat exchanger, which keeps the temperature in the tank at around $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ to avoid melting of particles. Particle analyzes were performed at $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, and were performed on two different ice types. This is self-produced ice with tap water and bought ice from Rema1000. Image analysis and sedimentation method are used for comparison with each other. The results are presented to Postdoctor Pavel Struchalin who has the main responsibility for the hydraulic rig and is in close collaboration with One Subsea.

Innhold

Forord	5
Sammendrag	6
Abstract	7
1. Innledning	1
2. Metode	4
2.1 Eksperimentell metode	5
2.2.1 Sedimenteringstest	5
2.2.2 Viskositet måling	7
2.2.3 Partikkelstørrelser og bildeanalyse	9
2.2 Feilkilder	11
3. Resultat og diskusjon	12
Sedimenteringsforsøk og viskositetsmåling	12
Bildeanalyse	14
Kjøpe-is bildeanalyse	15
Egenprodusert is, bildeanalyse	17
Sammenligninger av resultater	18
4. Konklusjon	21
Referanser	21
Tabeller	23
Figurer	23
Bilder	24
Formler	24
Vedlegg 1	25
Analyse av sedimentering	25
Sedimentering -15 °C	25
Sedimentering -10 °C	25
Sedimentering -5 °C	26
Sedimentering gjennomsnitt	28
Bildeanalyse partikkeldistribusjon	30
Kjøpe-is -20 °C:	30
Kjøpe-is -15 °C	30
Kjøpe-is -10 °C	31
Kjøpe-is -5 °C	32
Egenprodusert is -20 °C	33

Egenprodusert is -15 °C	33
Egenprodusert is -10 °C	34
Egenprodusert is -5 °C	35



Figur 2 (Skjematikk av hydraulisk installasjon)

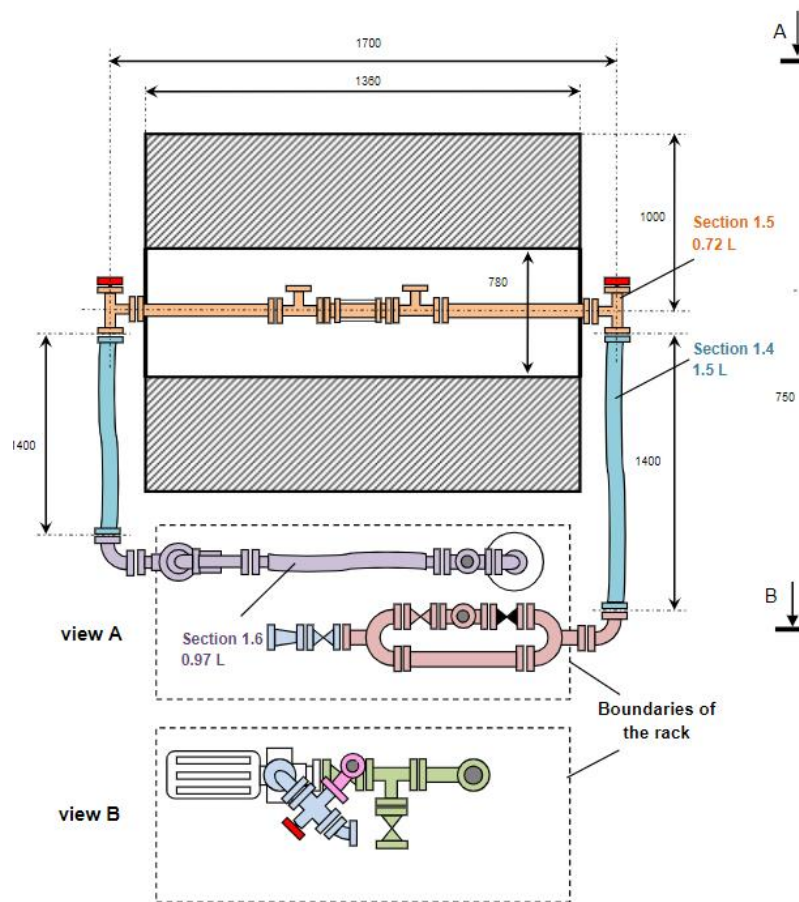
Anlegget fungerer ved at dekan med en gitt mengde ispartikler sirkulerer gjennom loopen. Strømningen drives av en sentrifugalpumpe som pumper mediene gjennom testseksjonen. Denne seksjonen er av gjennomsiktig glass for visuell observasjon av pluggdannelse grunnet is. Det er forventet at pluggdannelse skjer i testområdet på grunn av innsatt innsnevring i glassylinder. Innsnevringen kan byttes i forskjellige størrelser for å redusere eller øke diameteren.

Over testseksjonen er det trykkmålere som overvåker trykkforskjellen ved ulike oppsett. Sensor for trykkmåling over testseksjon (ΔP) er OMEGA PXM81MD. Den måler trykk fra 0 til 7 Bar med en usikkerhet på $\pm 0,25\%$. Dette er av essensiell betydning for å kunne overvåke trykkfall over strupingen. Resterende trykkmålinger (P_1 og P_2) blir overvåket av sensor GEMS 3500 Series som måler verdier fra 0 til 4 Bar med usikkerhet på $\pm 0,25\%$. Dette overvåkes for å se til at trykket før og etter pumpe er korrekt. Systemet er ikke utstyrt med trykkbegrensningsventil da riggen skal observeres til enhver tid under drift. Pumpen leverer et maks trykk på 3,8 Bar og komponenten med lavest trykkrate er glass-sylinderen som i henhold til leverandør tåler 10 Bar. Pumpehastigheten reguleres av en frekvensomformer som gjør det mulig å regulere strømningen til ønsket verdi. Dersom det oppstår pluggdannelse andre steder enn i testseksjonen, oppdages dette momentant ved at massestrømmen synker i strømningsmåler (F). For måling av strømning benyttes Coriolis Flowmeter Emerson MicroMotion R050S. Denne måler opptil 3600 kg/h, med en usikkerhet på $\pm 0,25\%$.

For temperaturmålinger (T_1, T_2, T_3, T_4) benyttes PT100 sensor med LKM 103 detektor med en usikkerhet på $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Det er viktig å holde temperaturen nedimot -4°C , for å unngå at ispartiklene smelter før det er ønskelig. Etter utført analyse med ispartikler sirkulert i systemet, deaktiveres varmeveksleren slik at isen smelter. Før ny test dreneres all fluid fra systemet. Deretter tilsettes ny dekan med nye ispartikler. Kuleventilene BV_x , er manuelt håndterbare ventiler som benyttes til å direkte strømningen til ønsket rør. For drenering av systemet etter isen er smeltet, åpnes BV_1 . Da vil drenert væske bestå av dekan- og vannblanding. Etter systemet er drenert blir væsken plassert i fryser slik at vannet fryser og dekan- og vannblandingen kan separeres og anvendes på nytt. BV_7 fungerer som en manuell bypassventil for strømningsmåleren.

For å sirkulere fluid gjennom pumpe og tilbake til tank må BV_1 og BV_2 være stengt, og BV_3 åpen. Dette er gunstig for å kunne overvåke temperatur før det sirkuleres gjennom hele systemet. BV_4, BV_5 og BV_6 er

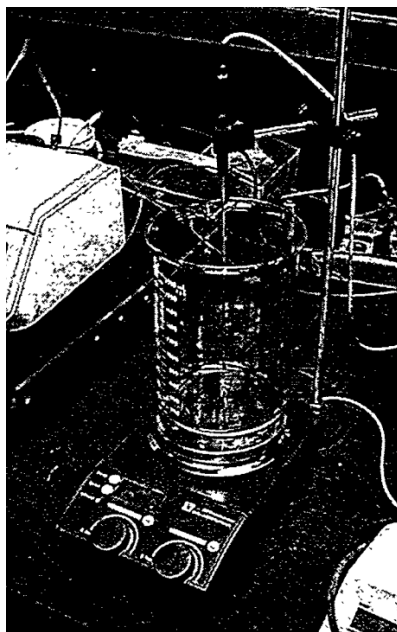
koblet slik at det er mulig å stenge av en seksjon av sirkuleringen for å tilsette en radioaktiv partikkel under drift av anlegget. Dette gjøres for å observere strømningsstrukturens bevegelser i dekan ved hjelp av Positronemisjonstomografi.



Figur 3 (hydraulisk rigg. Ovenfra)

Det er tidligere bevist at ispartikler i vann fører til en økning i trykktapskoeffisient. Høy ispartikkelkonsentrasjon og lav fart er faktorene som utgjør størst forskjell [1]. I dette prosjektet vil det bli nærmere undersøkt hvordan dekan med en gitt konsentrasjon ispartikler oppfører seg over en visuelt observerbar struping.

I en forskningsartikkel ble det gjort målinger av knust is. Det ble brukt en blender til å knuse isen for å måle diameteren til ispartiklene. Artikkelen inneholdt bilder av ispartiklene med et målebånd for referanse slik at størrelsen kunne bli avlest. Videre tok forskningen for seg forskjellen i størrelse på partiklene ved ulik omdreiningshastighet på blenderen. Det ble brukt forskjellige etylen-glykol vannløsninger. Disse løsningene ble nedkjølt til is og deretter knust i blenderen for å ta de samme målingene [2]. Dette arbeidet skiller seg fra forskningen som blir gjort i denne rapporten, da hovedfokuset vektlegger temperaturforskjeller når isen blir knust med lik hastighet, fremfor ulik hastighet på blender.



Figur 4 (Blender)

[2]

I en annen tidligere studie ble det sett på hvilke faktorer som bestemmer hvilken størrelse ispartiklene får ved knusing i presse. I denne artikkelen ble størrelsen på ispartiklene 1-2 mm i gjennomsnitt. Knusingen gjør at stivheten ikke opprettholdes og at isen ikke tåler like mye spenninger [3]. Disse gjennomsnittsmålingene underbygges av en annen studie som kommer frem til samme resultat. Her ble ispartiklene knust ved -10°C [4]. Dette er en temperatur som samsvarer med forsøk senere i oppgaven.

Historisk sett har sedimenteringstester vært godt kjent innen leire og keramikk industrien, men den kan også anvendes ved ispartikkelanalyse. Blandingen består av to fluider med forskjellig tetthet, noe som gjør det vanskelig å få en nøyaktig utregning [5]. Samme metode som anvendt i artikkelen blir også brukt i denne oppgaven.

Hovedårsaken til at alle målinger blir utført i fryseboks, er at is smelter hurtig ved romtemperatur. En studie utført innen dette feltet, tilsier at is produsert med vann fra springen har en smeltrate på omtrent 10^{-5}kg/s ved en luftfuktighet på 20% og 23°C [6]. Forholdene dette eksperimentet ble utført under samsvarer med omgivelsene under målinger av partikler i denne oppgaven.

2. Metode

Metodedelen er satt opp slik at alle hovedforsøkene har fått hver sin del. De første forsøkene som blir gjort er testforsøk hvor det blir sett på hva som fungerer bra med planen og hvilke endringer som må gjøres. Målet med forsøkene er å finne størrelsen på ispartikler ved 4 forskjellige temperaturer; -20 , -15 , -10 og -5°C . Videre tar oppgaven for seg forskjellen på størrelsen mellom egenprodusert is og kjøpe-is. Det er 2 forskjellige målemetoder som skal anvendes for å kunne se om resultatene samsvarer eller avviker fra hverandre. Metodene som blir brukt for å måle partikkelstørrelsene er bildeanalyse og sedimenteringstest.

Under sedimenteringstesten blir det først knust is ved forskjellige temperaturer. Deretter blir noe av den knuste isen tilført i en blanding med glyserol (40%) og vann (60%). Denne blandingen blir anvendt på bakgrunn av tilgjengelighet og kjente egenskaper. Målet med sedimenteringstesten er å kunne regne ut Stokes diameter til ispartiklene ved forskjellige temperaturer og sammenligne forskjellene mellom egenprodusert is og kjøpe-is. Resultatene anskaffes ved å analysere videoer digitalt etter utførte tester.

Under bildeanalysetesten blir det også knust is ved de samme temperaturene. Etter dette vil et utvalg av ispartikler bli plassert på en svart plastikkplate i fryseren. Her blir ispartiklene separert for å kartlegge størrelsene på enkeltpartikler. Et målebånd blir plassert ved siden av partiklene for digital kalibrering av fotografi i dataprogram. Målinger av partikler utføres digitalt ved hjelp av partikkelanalyseprogram.

2.1 Eksperimentell metode

Eksperimentelle forsøk er nyttig for å bli kjent med utstyret. I dette prosjektet blir det undersøkt og bevist at ispartikler er synlige i dekan. Videre undersøker prosjektet om det er tiltak som kan gjøre ispartikler mer synlige. Her blir blant annet konditorfarge, kaffe og te utprøvd. Konditorfarge har størst innflytelse, da det gir tydelig resultat på bedre synlighet. For å tilegne ytterligere kunnskap utføres forsøk med sedimentering. Under denne sedimenteringen anvendes en blanding med 60% glyserol og 40% vann. Dette forsøket er ikke vellykket fordi ispartiklene er stasjonære i blandingen. Det er derfor ikke mulig å få noen resultat under denne sedimenteringen.

Det er også gjort viskositetsmåling. Viskositetsmålingen blir gjort av dekan blandet med en mengde ispartikler. Dette forsøket fungerer ikke fordi viskosimeteret ikke gir en konkret måling når viskosimeteret har vært nedsenket i fryseren i en lengre periode. Verdiene avlest på viskosimeter samsvarer ikke med velkjente verdier på dekan i fryser. Tiltak for å unngå plassering av viskosimeter i fryser er å senke rotor og målesylinder i varmevekslerkjøleren. Resultatet av dette eksperimentet gir fremdeles ingen tilfredsstillende resultater. Når det er ispartikler i blandingen, synker partiklene til bunn. Derfor blir ikke målingen reell, og ikke nevnt senere i rapporten.

2.2.1 Sedimenteringstest

Utstyr

- Reagensrør festet i en beholder
- Kamera – Sony IMX586 Exmor RS, 48 Megapixels, 0.8 µm Pixel Size Stacked CMOS Image Sensor [7]
- Logik Smart Climate fryseboks L95CFW20E [8]
- Målebeger
- Glyserol (40%) 80 g
- Destillert vann (60%) 120 g
- AG204 Delta Range – vekt med usikkerhet ±0.1 mg [9]
- Windows Video editor
- Blender Ninja Professional Plus Blender DUO [10]

Hensikt

Det er ønskelig å finne gjennomsnittlig partikkeldiameter til ispartikler knust ved tre forskjellige temperaturer. Dette gjelder for egenprodusert is og kjøpe-is. Gjennomsnittet av den største og minste partikkelen i sedimenteringstesten brukes for å regne ut gjennomsnittet ved -5 °C, -10 °C og -15 °C. Når dette er gjort er det mulig å sammenligne de ulike resultatene.

$$D = \sqrt{\frac{18\mu v}{(\rho d - \rho c)g}}$$

Formel 1 (Stokes Diameter)

[11, p. 301]

D = Stokes diameter, diameteren til ispartiklene [m]

μ = viskositeten til fluidet [Pa·s]

v_t = synkende hastighet på den sfæriske partikkelen [m/s]

ρ_d = tettheten til partikkelen [kg/m³]

ρ_c = tettheten til fluidet [kg/m³]

g = gravitasjon 9.81 [m/s²]

Fremgangsmåte

De to fluidene glyserol og destillert vann er blandet i målebeger. Dette blir gjort ved å sette målebegeret på vekten for å veie opp nødvendig mengde glyserol og vann. En del av blandingen tilsettes i et reagensrør. Etter at det er oppnådd -10 °C i fryseren tilsettes det ispartikler i reagensrøret. Dette blir gjort for hver istype ved hver enkelt temperatur. Reagensrøret er festet i en beholder, hvor det ved siden av er plassert en linjal. For å dokumentere hastigheten filmes det når ispartiklene flyter oppover. Ispartiklene vil flyte oppover fordi tettheten til ispartiklene er mindre enn tettheten til glyserol- og vannblandingen. Etter at ispartiklene er tilsatt, vendes reagensrøret opp ned med den hensikt i at ispartiklene legger seg på bunnen for å oppnå større analyseområde. Videoen analyseres i Windows Video Editor, for å kartlegge hastigheten til partiklene i en saktere tid enn virkeligheten.

Dokumenteringen av ispartiklene blir gjort for å regne ut hastigheten partiklene flyter opp ved. Hastigheten kan deretter settes inn i Stokes Diameter. Denne metoden går under navnet inkrement metoden [11].

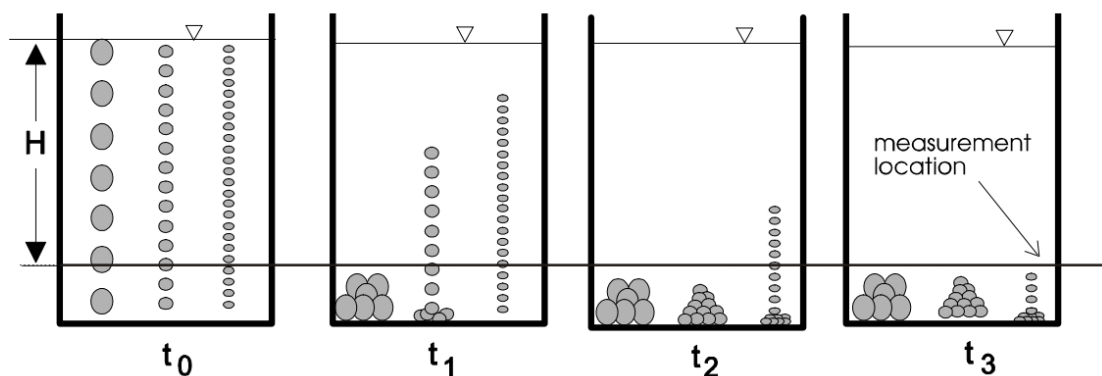
Hastigheten beregnes med formelen:

$$V = \frac{dh}{dt}$$

Formel 2 (Hastighet)

Hvor: H = Høyde fra bunn til topp [m], t = tid [s], V = fart [m/s]

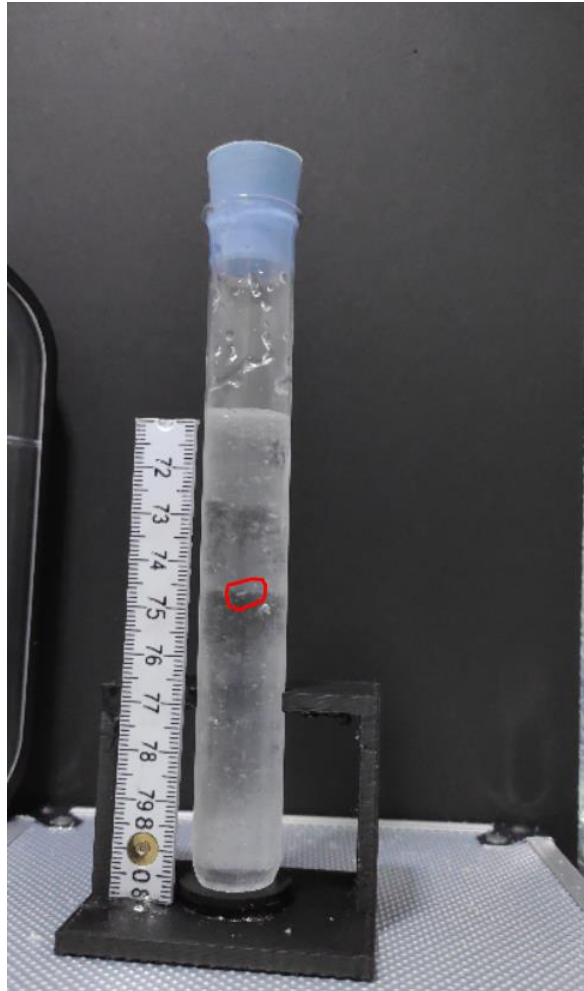
Figur 5 (Sedimentering) illustrerer forventet fordeling av ulike størrelser til partikler. En høyde H settes et sted mellom topp og bunn med en grei klaring for å best mulig kartlegge hastigheten til partiklene. Forskjellen mellom Figur 5 (Sedimentering) og forsøket som ble utført er at partiklene flyter oppover. Det betyr at figuren er omvendt enn hva den blir illustrert som her.



Figur 5 (Sedimentering)

[11, p. 300]

Det settes to ulike mål fra linjalen, start og slutt for å notere tiden som brukes ved de to forskjellige tidspunktene. For å få en nøyaktig måling brukes funksjonen i Windows Video Editor som kan senke hastigheten filmen vises på. Filmen settes til 0,25 av sanntid. Etterfulgt av dette velges en liten og en stor partikkel ut fra hva det blotte øyet kan se fra videoen som ble anvendt.



Bilde 1 (Sedimentering utførelse)

2.2.2 Viskositet måling

Utstyr

- 160 g glyserol
- 240 g destillert vann
- AG204 Delta Range – Vekt med usikkerhet på ± 0.1 mg
- Målebeger
- Logik Smart Climate fryseboks L95CFW20E
- Sprøyte
- Rørepinne
- Viskosimeter NDJ-8S med usikkerhet på $\pm 3\%$

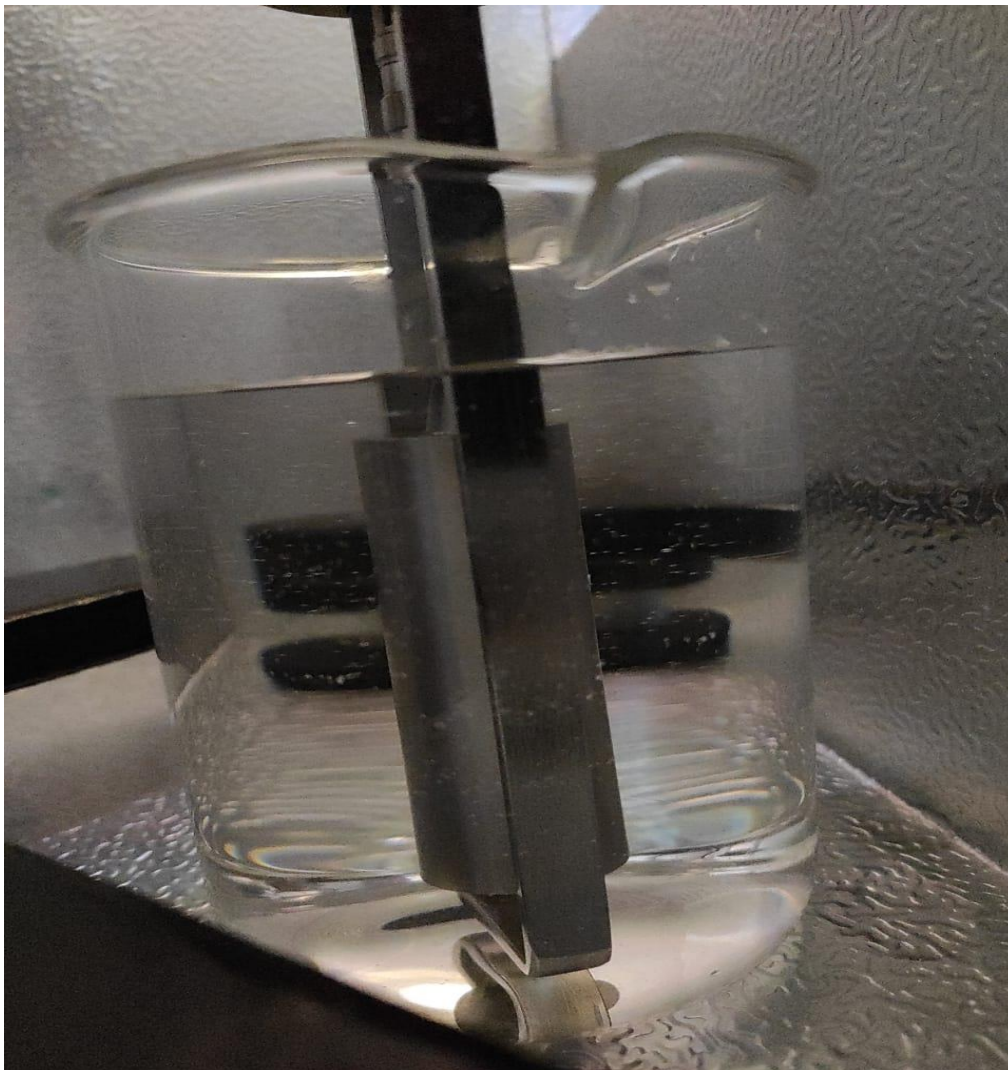
- Blender Ninja Professional Plus Blender DUO

Hensikt

I dette forsøket er det viskositeten til en blanding av 160 gram glyserol og 240 gram destillert vann som skal undersøkes. Blandingsforholdet mellom disse to fluidene er 40% glyserol og 60% destillert vann. Dette er for å kunne regne ut den nøyaktige diameteren til partiklene under sedimenteringen og for å videre sammenligne resultater med målemetodene som er anvendt.

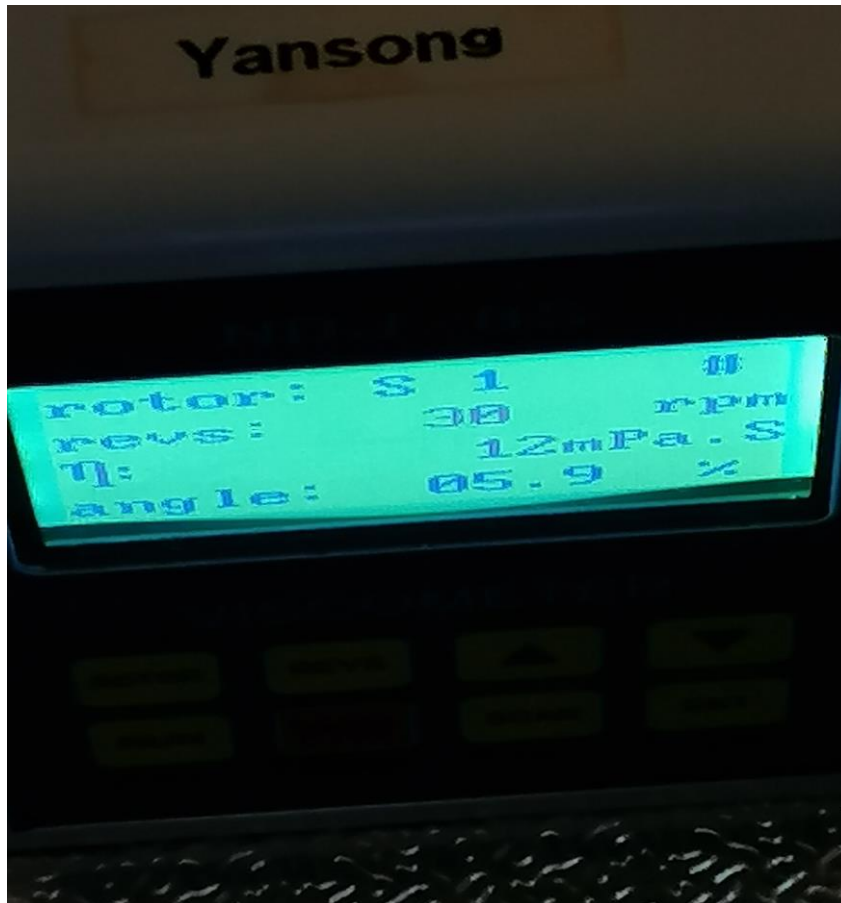
Fremgangsmåte

Blande glyserol og destillert vann på vekt ved hjelp av sprøyte for nøyaktighet. Deretter kjøles blandingen ned til minus 10 °C. Videre benyttes viskosimeter til å ta en viskositetsmåling med utstyr plassert i fryseren. Blandingen blir kjølt ned til -10 °C fordi frysepunktet er på -15 °C. Målt verdi som vist på Bilde 3 (Viskositetsmåling), blir deretter brukt til å regne ut Stokes diameter på nytt, for å få en mer nøyaktig verdi.



Bilde 2 (Viskosimeter i fryser)

Viskosimeter nedsenket i fryser.



Bilde 3 (Viskositetsmåling)

Parameter ved viskositetsmåling i fryseboks.

2.2.3 Partikkelstørrelser og bildeanalyse

Utstyr

- Blender Ninja Professional Plus Blender DUO
- Kamera – Sony IMX586 Exmor RS, 48 Megapixels, 0.8 μm Pixel Size Stacked
- Logik Smart Climate fryseboks L95CFW20E
- Programvare ImageJ
- Excel
- PC
- Linjal
- Isbrett
- Vann
- Kjøpe-is/cocktail is
- Svart plast kontrastplate

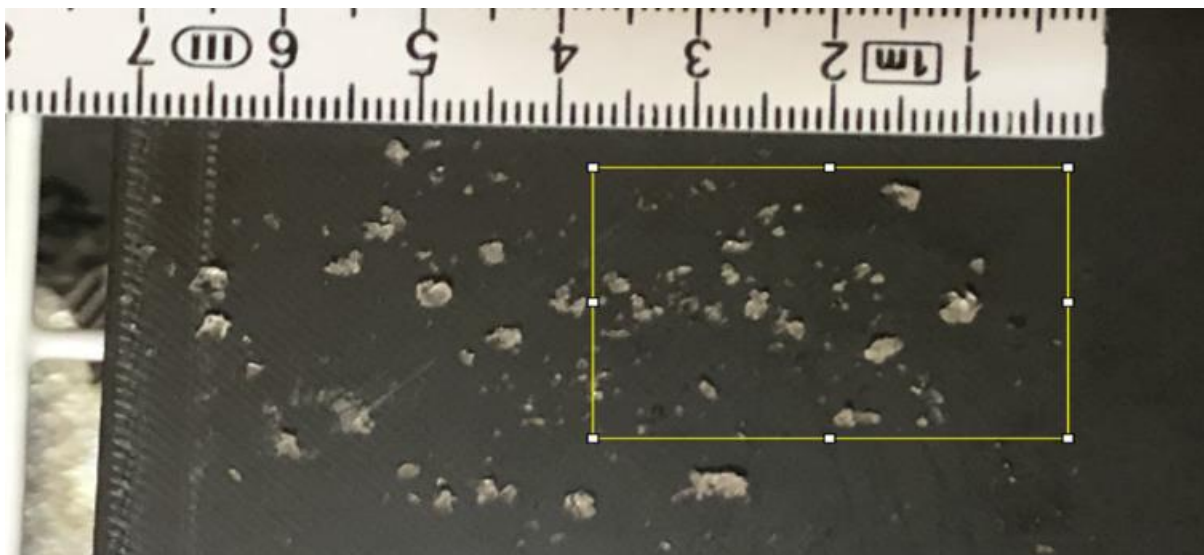
Hensikt

Målet er å se på ulikhetene til de to forskjellige istypene, egenprodusert is med vann fra springen, og klar kjøpe-is fra Rema1000. De to istypene skal knuses ved 4 forskjellige temperaturer; -20, -15, -10 og -5 °C, for å konstatere ulikheter i størrelse og form. Ved hjelp av denne metoden og programvaren ImageJ [12], vil målte verdier sammenlignes med utregnet partikkelstørrelse fra Stokes diameter. Analysene av to istyper ved fire forskjellige temperaturer, utgjør til sammen åtte separate analyser.

Fremgangsmåte

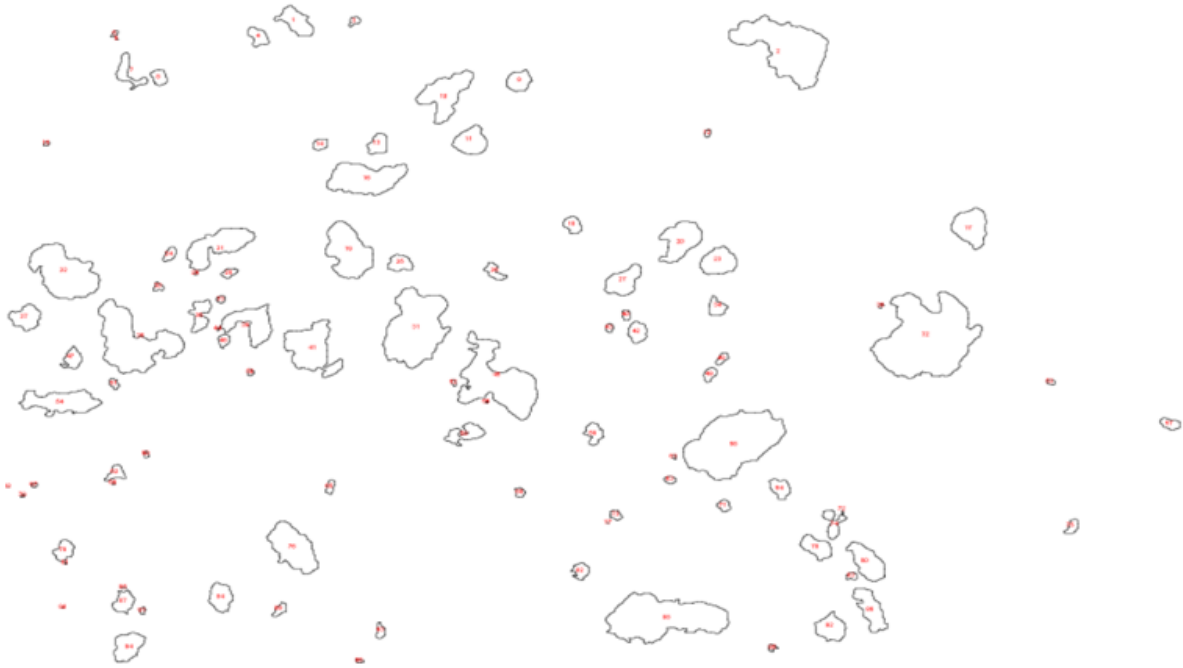
Klargjøre begge istypene, blender og måleutstyr i fryseren. Deretter stabilisere temperaturen ved -20 °C. Etter stabil temperatur blir den egenproduserte isen knust i blender. For hvert parti med knust is står blenderen på i 20 sekunder. Dette for å gjøre forholdene i hvert forsøk mest mulig like. Etter at blender er ferdig, kan ispartiklene plasseres på en svart plastikkplate for å skape klarere kontrast til ispartiklene. En linjal blir plassert ved siden av partiklene for referanse av størrelse. Fire bilder blir tatt av hver partikkelgruppering og deretter overført til datamaskin.

Dataprogrammet ImageJ blir anvendt til å åpne bildene for så å kjøre en mer nøyaktig analyse enn å fysisk ta mål av bildet. Ved hjelp av linjalen i bildet, blir fotografiet kalibrert ved å angi en sann lengde for å så se hvor mange piksler dette tilsvarer på dataskjermen. Ved å øke kontrasten mellom fargen på partiklene og den svarte bakgrunnen blir partiklene mer synlige og lettere å fange opp av ImageJ. Kontraststyrken har stor innflytelse for hvilken størrelse programmet oppfatter partiklene. Dette justeres manuelt i dataprogrammet og blir derfor en stor kilde for at feil kan oppstå. Det blir forsøkt å bruke samme fremgangsmåte og metode for å oppnå riktig kontrast på hver analyse. Alle analysene er gjort av samme person for å minimere menneskelige feil og ulikheter.



Bilde 4 (Bildeanalyse)

Bilde 4 (Bildeanalyse), viser hvordan partiklene fotografert i fryseboksen så ut etter importering til ImageJ. Det gule rektangelet viser hvilke partikler som er valgt ut til denne spesifikke analysen. Det gule rektangelet ble flyttet til totalt fire forskjellige plasseringer på bildet, for å inkludere flest mulig partikler. Fire forskjellige plasseringer av rektangelet førte til fire forskjellige analyser av hver temperatur og istype.



Bilde 5 (Prosesserte partikkel områder)

Bilde 5 (Prosesserte partikkel områder) viser hvordan ImageJ omrissert partikler ved hjelp av kontrastforskjell. Programmet har en funksjon benevnt partikkelanalyse, som etter utførelse oppgir arealet til hver enkelt partikkel. Data av hver partikkel blir kopiert fra programmet og inn i Excel for videre analyse og beregninger. I Excel blir rådata for areal ved hver temperatur limt inn. Med arealet oppgitt, blir utregninger gjennomført for å finne diameter på partiklene. For å gjøre dette blir det brukt formel for diameter av sirkel. Dette er en grov tilnærming som ikke blir helt korrekt å gjøre i denne sammenheng. Likevel blir dette gjort for å få et forhold til størrelsene, og for å kunne sammenligne senere med Stokes diameter. Gjennomsnitts areal og diameter blir regnet ut og lagt inn i diagrammer. En viktig del av arbeidet i Excel er å samle alle de utregnede diameterne, for deretter å lage et distribusjonshistogram med intervaller for å gruppere de ulike diameterne.

2.2 Feilkilder

- Programmet har vanskeligheter med å fylle ut alle partikler like godt.
- Utvalg av partikler brukt på prøve platen.
- Mengde is i blender samtidig.
- Temperaturmåler.
- Noe is kan smelte under forsøkene.
- AG204 DeltaRange – Vekt med usikkerhet på ± 0.1 mg.
- Manuell kontrast i ImageJ.
- Sammenhengende partikler kan bli regnet som en større partikkel.
- En ulempe ved sedimenteringstesten er visualisering av de minste partiklene, da disse er vanskelig å dokumentere ved metoden som brukes. Tidligere undersøkelser viser at digitale kamera med høy oppløsning kan dokumentere de minste partiklene, og ta disse med i beregningene av partikkel målingene [13].
- Feil ved utregninger.
- Viskosimeter NDJ-8S med usikkerhet på $\pm 3\%$

- Usikkerhet ved bildeanalyse regnes ut ved å ta største gjennomsnittsverdi for gitt temperatur og istype minus minste gjennomsnittsverdi. Dette er utføres for alle analyser presenter i resultater og diskusjon.
- For sedimenteringstesten, er usikkerheten tatt med i D_{snitt} . Utrekningene utføres ved å bruke en annen partikkel enn hva som brukes i den opprinnelige testen. Dette utføres ved alle analyser presentert i både resultat og i vedlegget.

3. Resultat og diskusjon

Sedimenteringsforsøk og viskositetsmåling

I denne seksjonen presenteres resultater fra ispartikler som er knust ved $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, med både egenprodusert og kjøpe-is. Utrekning av resterende temperaturer ligger som vedlegg.

For å utføre disse testene trenger man informasjon om ukjente variabler som skal brukes i Formel 1 (Stokes Diameter). Denne tabellen viser endringen av viskositeten til glyserol-vann blandingen.

Tabell 1 (Viskositet av glyserol/vann blanding)

Glyserol % wt	F.p. ($^{\circ}\text{C}$)	$-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [mPa·s]	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [mPa·s]
40	-15.4	10.3	14.4

[14, p. 11]

Tabell 2 (Målt viskositet)

Glyserol % wt	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ [mPa·s]
40	12

I denne tabellen vises viskositeten med en blanding på 40% glyserol og 60% destillert vann. I forsøket brukes viskositeten fra denne tabellen ved $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, som er $14.4\text{ mPa}\cdot\text{s}$. I tillegg brukes den målte viskositet $12\text{ mPa}\cdot\text{s}$ fra Tabell 2 (Målt viskositet).

Tabell 3 (Partikkeltetthet til ispartikkel)

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Tetthet (kg/m^3)
0.01	999.8
0	916.2
-5	917.5
-10	918.9

[15]

Fra tabellen over blir det brukt tettheten til partikkelen ved $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabell 4 (Tetthet pr % av glyserol)

Glyserol (%)	Frysepunkt (°C)	Tetthet (kg/m ³) -5 °C	Tetthet (kg/m ³) -10 °C
40	-15.4	1109.6	1110.9

[15, p. 5]

Tabellen over viser en oversikt over sammenhengen mellom % av glyserol og tetthet ved forskjellige temperaturer.

Utrekning av partikkelstørrelse

Når sedimenteringstesten er utført, gjøres det beregninger på ulike type størrelser på partikler og ved ulike temperaturer. Formelen til å beregne diameteren til partiklene er Formel 1 (Stokes Diameter).

For å regne ut Stokes diameter trenger man hastigheten partiklene flyter opp med. Da benyttes Formel 2 (Hastighet). Denne tabellen viser en oversikt over hastigheten til partiklene. Tiden som er brukt her er 0.25·sanntid. Dette blir utført for å få nøyaktighet i målingene. Ved denne målingen er det knust is ved -15 °C.

Tabell 5 (Utrekning av hastighet)

Kjøpe-is Type partikkel	t _{start} [s]	t _{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Stor partikkel	1:33.10	1:41.20	3·10 ⁻²	0.0148
Liten partikkel	1:13.40	1:48.73	3·10 ⁻²	3.39·10 ⁻³

Tabell 6 (Utrekning av hastighet)

Egenprodusert is Type partikkel	t _{start} [s]	t _{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Stor partikkel	2:09.36	2:11.76	10 ⁻²	$\frac{1}{60}$
Liten partikkel	2:37.93	2:57.40	2·10 ⁻²	4.108·10 ⁻³

Tabell 7 (Utrekning av gjennomsnittlig partikkel diameter) viser variabler og utregning av Formel 1 (Stokes Diameter). Ispartiklene er knust ved -15 °C.

Tabell 7 (Utrekning av gjennomsnittlig partikkel diameter)

Type is	μ [Pa·s]	ρ_d [kg/m ³]	ρ_c [kg/m ³]	G [m/s ²]	V_{stor} [m/s]	V_{liten} [m/s]	D_{stor} [mm]	D_{liten} [mm]	D_{snitt} [mm]
Kjøpe-is	0.0144	918.9	1110.9	9.81	0.0148	$3.39 \cdot 10^{-3}$	1.42	0.683	1.1±0.1
Kjøpe-is	0.012	918.9	1110.9	9.81	0.0148	$3.39 \cdot 10^{-3}$	1.30	0.623	1.0±0.1
Egenprodusert	0.0144	918.9	1110.9	9.81	1/60	$4.10 \cdot 10^{-3}$	1.51	0.751	1.1±0.1
Egenprodusert	0.012	918.9	1110.9	9.81	1/60	$4.10 \cdot 10^{-3}$	1.38	0.686	1.0±0.1

Beskrivelse av tabell:

D_{stor} = Den større partikkelen i testen [mm]

D_{liten} = Den mindre partikkelen i testen [mm]

V_{liten} = Hastigheten til den mindre partikkelen [m/s]

V_{stor} = Hastigheten til den større partikkelen [m/s]

D_{snitt} = Gjennomsnitt av D_{liten} og D_{stor} [mm]

Det er tydelig at hastigheten partiklene flyter opp med er forskjellig, og at dette avhenger av størrelsen på partiklene. Det viser seg at større partiklene flyter hurtigere opp enn mindre partikler. Dette bekreftes også ved utregningen. Sedimenteringstesten viser en tendens til at størrelsen på ispartiklene øker med minkende temperatur. Det vil si at partiklene er større ved -5 °C enn ved -15 °C.

Bildeanalyse

I følgende seksjon presenteres resultater for måling av ispartikler ved hjelp av digitalt hjelpemiddel. Måling av ispartikler blir utført ved fire forskjellige temperaturer -20, -15, -10 og -5 °C. Forsøkene gjøres med både egenprodusert is og kjøpe-is ved alle temperaturene. Det tas fire bilder av partiklene ved hver temperatur hvor alle bildene blir prosessert i programmet ImageJ, som forklart i bildeanalysemetode. For utregning av diameter til partiklene brukes areal resultatet, produsert av ImageJ.

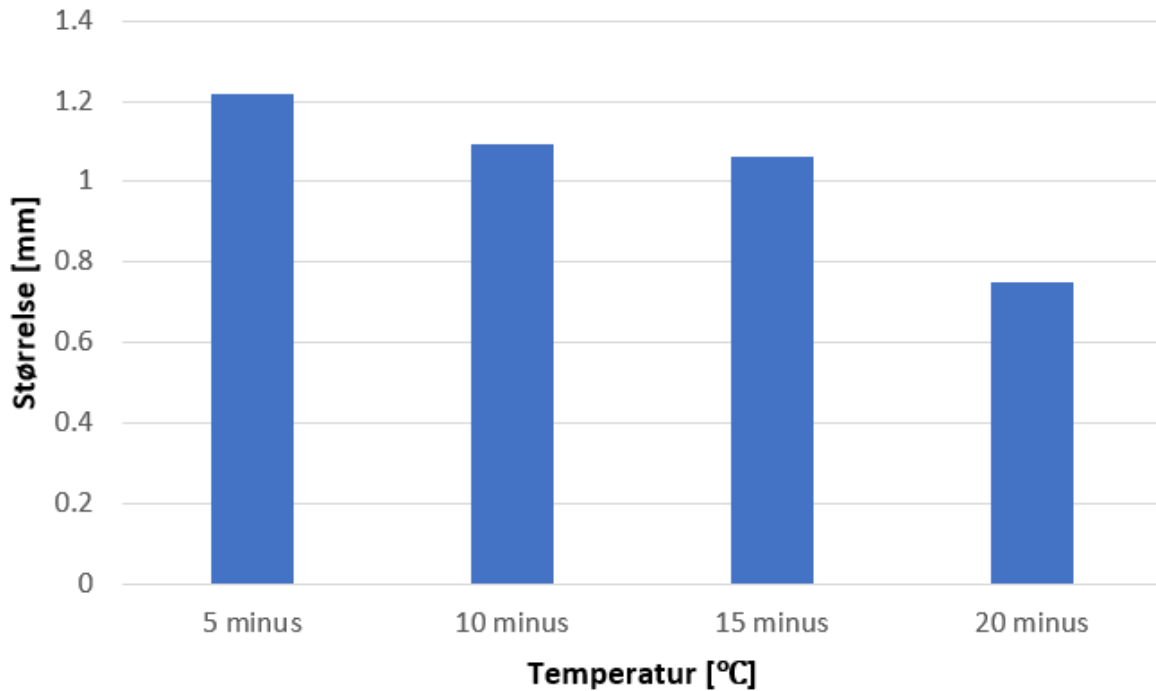
$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}}$$

Formel 3 (Diameter av partikkel)

Under presenteres kun resultater ved -15 °C, da dette kan sammenlignes med sedimenteringstestene. Se vedlegg for alle resultater ved forskjellige temperaturer.

Ved $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ kjøpe-is, er økningen av partikkelstørrelse større enn forventet, og det er derfor utført to analyser ved denne temperaturen for å bekrefte eller avkrefte dette. (åtte analyser fremfor fire). Oppdagelsen av økingen ved $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ kjøpe-is, blir ikke registrert før alle testene med kjøpe-is er gjennomført og prosessert i Excel. Begge analysene ved $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ kjøpe-is er slått sammen til en større eksaminasjon med mer data. Henviser til feilkilder ved partikkelanalyse på denne måten, som er grunnlaget for to analyser fremfor en.

Kjøpe-is bildeanalyse



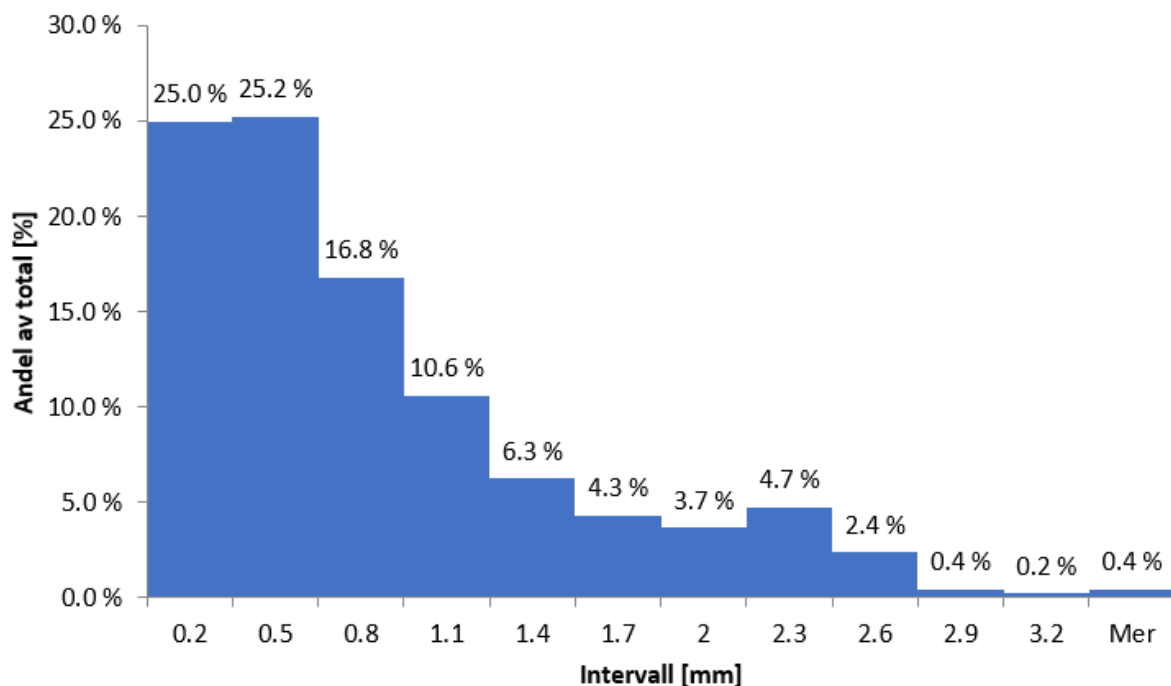
Figur 6 (Gjennomsnittsstørrelser kjøpe-is)

Figur 6 (Gjennomsnittsstørrelser kjøpe-is) viser tydelig at den synkende trenden følges på en tilfredsstillende og forventet måte. Her viser det at partikkelstørrelsene minker ved synkende temperatur. Dette histogrammet er utgangspunktet for gjennomsnittsstørrelse på kjøpe-is, som senere i resultat og diskusjon vil bli sammenlignet med sedimenteringstester.

Tabell 8 (Intervall -15°C kjøpe-is)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	116	25.0 %
0.5	117	25.2 %
0.8	78	16.8 %
1.1	49	10.6 %
1.4	29	6.3 %
1.7	20	4.3 %
2	17	3.7 %
2.3	22	4.7 %
2.6	11	2.4 %
2.9	2	0.4 %
3.2	1	0.2 %
Mer	2	0.4 %
Sum	464	100.0 %

I Tabell 8 (Intervall -15°C kjøpe-is) starter målingene fra 0 til 0,2 mm, og har videre intervaller på 0,3 mm. Dette går igjen for alle tabeller med resultat fra bildeanalyse. Det er totalt 464 forskjellige ispartikler i denne analysen, og tabellen tilsier at majoriteten av partiklene ligger mellom 0,2 og 0,5 mm. Hele 67% av partiklene befinner seg under 0,8 mm.

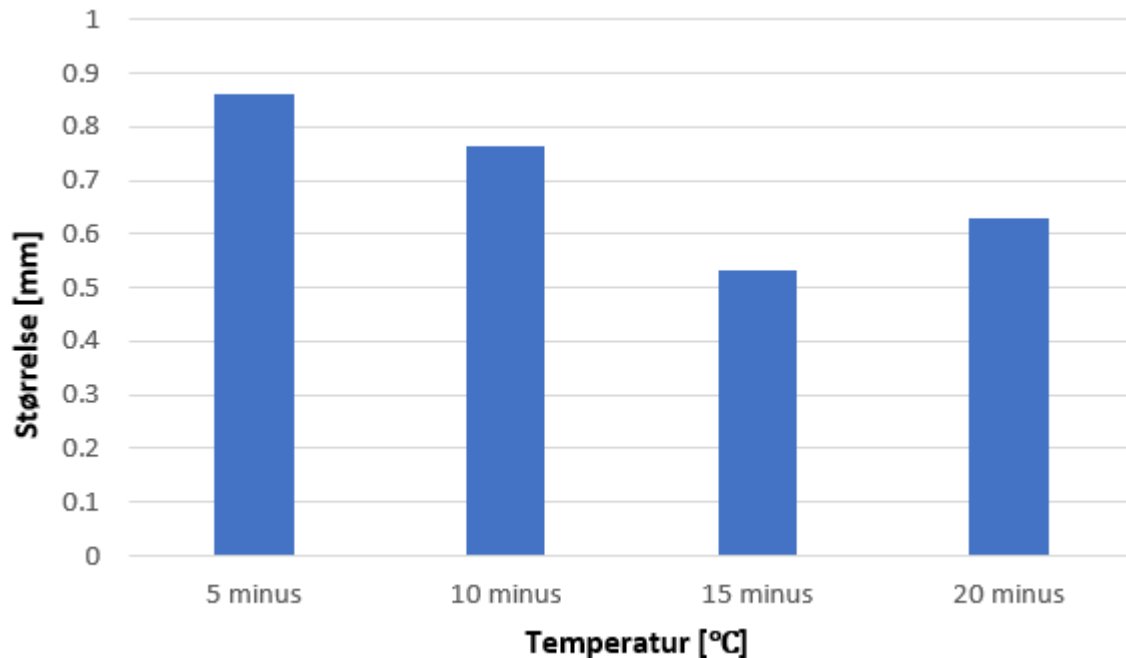


Figur 7 (Distribusjon -15°C kjøpe-is)

Histogrammet i Figur 7 (Distribusjon -15°C kjøpe-is) viser en oversiktig distribusjon av partiklene ved -15 °C. Histogrammet presenterer at andel prosent av totale partikler synker ved større diameter.

Egenprodusert is, bildeanalyse

Resultatene for egenprodusert is, er oppnådd på samme måte som for kjøpe-is. Eneste forskjellen er istypen.



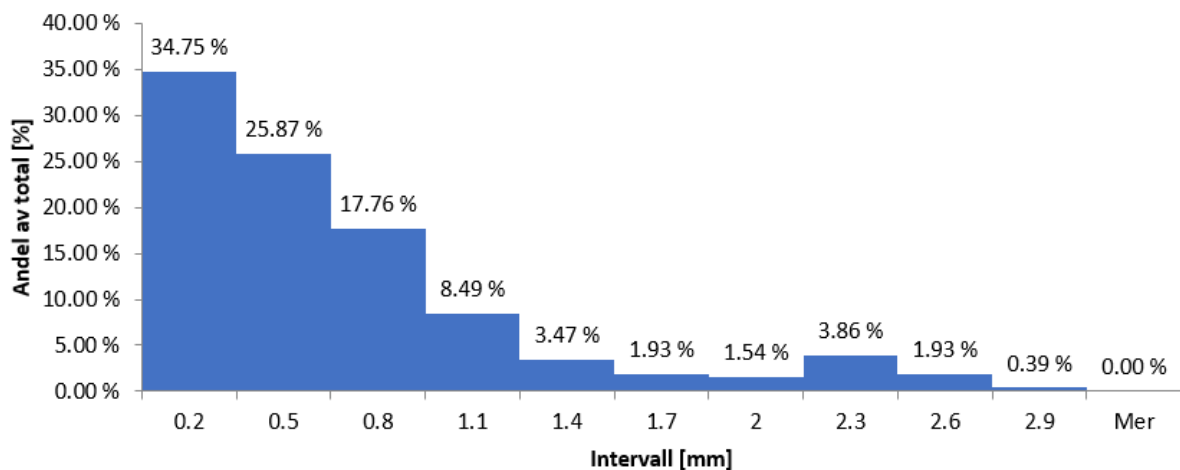
Figur 8 (Gjennomsnittsstørrelser egenprodusert is)

Figur 8 (Gjennomsnittsstørrelser egenprodusert is) viser gjennomsnittsdiameter av knust egenprodusert is ved forskjellige temperaturer. Størrelsen ved -15 °C har lavest verdi av de forskjellige temperaturene. Det er valgt å bruke verdiene fra dette histogrammet for videre sammenligning med sedimenteringstester av egenprodusert is.

Tabell 9 (Intervall -15°C egenprodusert is)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	90	34.75 %
0.5	67	25.87 %
0.8	46	17.76 %
1.1	22	8.49 %
1.4	9	3.47 %
1.7	5	1.93 %
2	4	1.54 %
2.3	10	3.86 %
2.6	5	1.93 %
2.9	1	0.39 %
Mer	0	0.00 %
Sum:	259	100.00 %

Analyse av totalt 259 partikler, hvorav 78,38% har under 0,8 mm diameter.

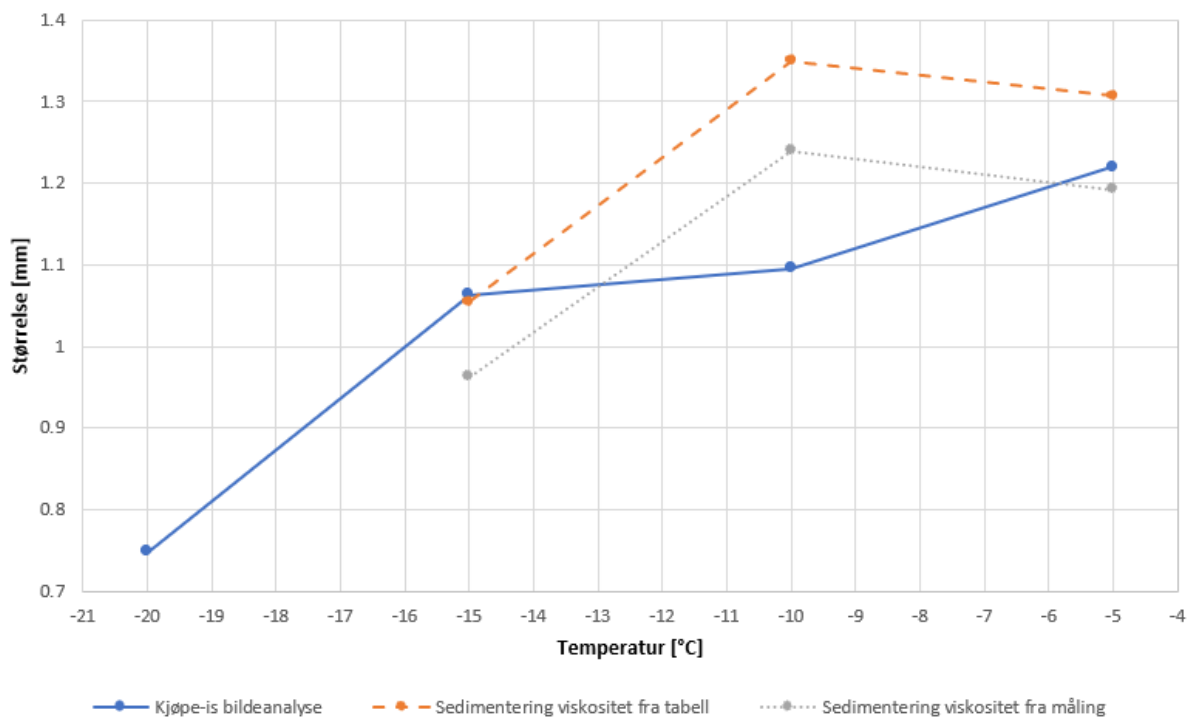


Figur 9 (Distribusjon -15°C egenprodusert is)

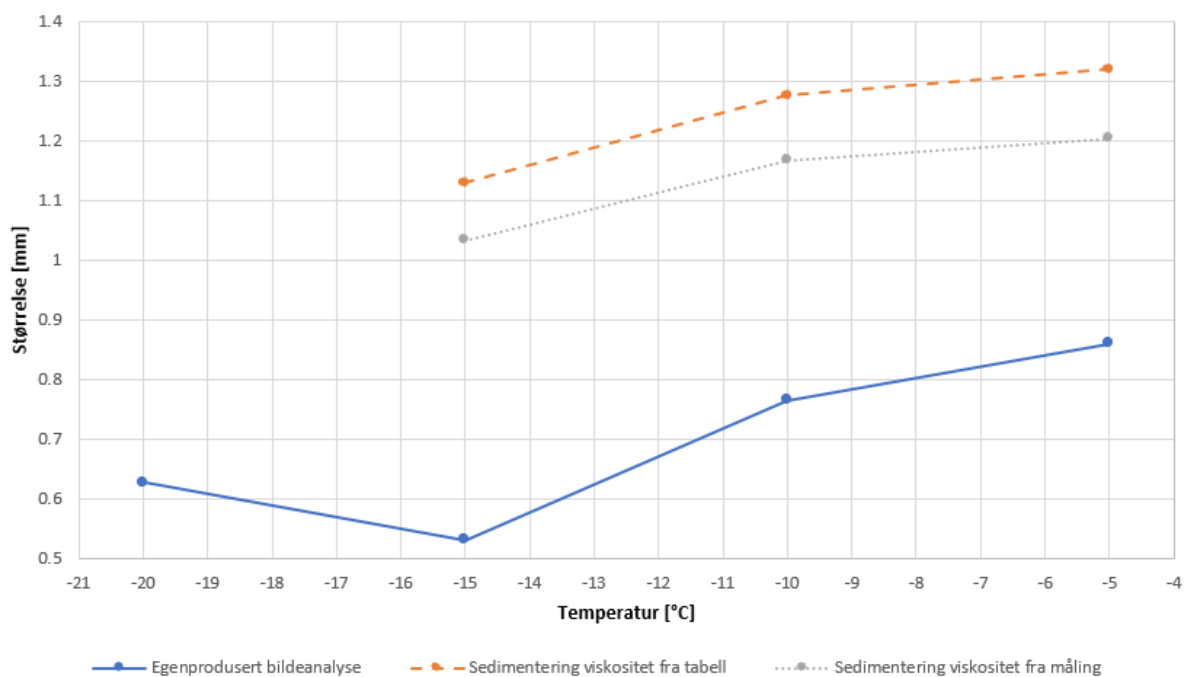
Majoriteten av partiklene i Figur 9 (Distribusjon -15°C egenprodusert is) ligger mellom 0 til 0,2 mm.

Sammenligninger av resultater

Her sammenlignes resultater fra bildeanalyser med verdier oppnådd fra sedimenteringstester. Parallellene presenteres ved å se på resultater for egenprodusert og kjøpe-is, i hver sin figur. For hver av figurene under er det presentert gjennomsnitt av gjennomsnittsdata for hver temperatur fra bildeanalyse, sedimentering med målt viskositet og sedimentering med viskositet fra tabell.



Figur 10 (Sammenligning kjøpe-is)



Figur 11 (Sammenligning egenprodusert is)

Figur 10 (Sammenligning kjøpe-is) og Figur 11 (Sammenligning egenprodusert is) viser en sammenligning mellom partikkelstørrelser ved bruk av de forskjellige metodene for partikkelmåling. For å oppnå minste diameter for kjøpe-is er det mest gunstige alternativet å knuse isen ved -20 °C. For minst oppnåelig gjennomsnittstørrelse på partiklene, viser det seg at å knuse is ved -15 °C er det beste alternativet for egenprodusert is. Dette alternativet gir minste diameter for hver målemetode. Forskjellen i diameter avhenger av hvilken måleteknikk som er brukt, henviser til feilkilder. Når resultatene fra sedimentering og bildeanalyse sammenlignes, er det tydelige ulikheter. Dette skyldes nøyaktigheten de forskjellige målemetodene kan oppnå.

Kjøpe-is:

Tabell 10 (Gjennomsnittsdiameter kjøpe-is)

Temperatur [°C]	Diameter [mm] Bildeanalyse	Diameter [mm] Sedimentering med viskositet fra tabell	Diameter [mm] Sedimentering med målt viskositet
-5	1.2±0.3	1.3±0.2	1.2±0.2
-10	1.1±0.1	1.4±0.1	1.2±0.1
-15	1.1±0.7	1±0.1	1±0.1
-20	0.7±0.3		

Tabell viser avrundet verdier for diametere med utregnet usikkerhet.

Egenprodusert is:

Tabell 11 (Gjennomsnittsverdier egenprodusert is)

Temperatur [°C]	Diameter [mm] Bildeanalyse	Diameter [mm] Sedimentering med viskositet fra tabell	Diameter [mm] Sedimentering med målt viskositet
-5	0.9±0.2	1.3±0.2	1,2±0.1
-10	0.8±0.2	1,3±0.1	1,2±0.1
-15	0.5±0.2	1,1±0.1	1±0.1
-20	0.6±0.1		

Tabell viser avrundet verdier for diametere funnet ved analyse og tester med utregnet usikkerhet.

Det kan være ulike årsaker for forskjellen på egenprodusert og kjøpe-is. For å undersøke dette, benyttes undersøkelser av drikkevannskvaliteten. Vannforsyningsanlegget Svartedikten, supplerer sentrale deler av Bergen Kommune og blir derfor brukt i dette forsøket [16]. Det viser seg at vannet i området er definert som blødt. Det vil si at vannet har en hardhetsgrad under 4 d H° [16]. Hardhetsgrad er et mål på innholdet av kalsium og magnesium i vann [17]. Fargetallet til vann er en kjemisk parameter som brukes for å gi en indikasjon på innholdet av humus, jern eller mangan. Et høyt fargetall betyr høye verdier av disse indikatorene. Denne verdien bør være under 5 mg Pt/l [18]. Fra vannforsyningsanlegget som blir brukt i disse testene er verdien 2 mg Pt/l i mars 2021 [19]. Da er vannet ganske klart og derfor er det lite sannsynlig at den egenproduserte istypen har høye verdier av jern (Fe). Disse to parameterne på vannkvalitet viser at vannet er noe forurenset, og kan derfor påvirke strekkfastheten til egenprodusert is.

Kjøpe-isen er produsert av Mr.Iceman. Ifølge Mr.Iceman er isbitene produsert med rent norsk vann. Vannet er både filtrert og rensert. I tillegg er isbitene fryst under trykk, det vil si at isbitene ikke inneholder luft [20]. Dette er årsakene til at kjøpe-is regnes som en renere is enn den som er egenprodusert. Ettersom den egenproduserte isen inneholder små forurensinger som de kjemiske parameterne på vannkvaliteten viste.

Det er to hovedårsaker til at det er forskjell i målte diametere. Dette er forskjell i temperatur, og ulike istyper. Det er tidligere bevist at strekkfastheten til is har sammenheng med temperatur variasjonen temperaturen har, utgjør en differanse på 65-78% i strekkfasthet til ren is i studiet som omhandler temperaturer fra 100 K til 273,15 K. Ved å benytte følgende formel utledet i studiene angående strekkfasthet blir resultatene for aktuelle temperaturer følgende:

$$\sigma_T = 2,5 - 0,007 * T$$

Formel 3 (Strekkfasthet ren is)

Tabell 12 (Strekkfasthet ren is)

Temperatur [K]	Strekkfasthet σ_T [MPa]
253.15 (-20°C)	0.73
258.15 (-15°C)	0.69
263.15 (-10°C)	0.66
268.15 (-5°C)	0.62

Formel 3 (Strekfasthet ren is) viser hvordan strekkfastheten til ren is kan regnes ut ved ulike temperaturer. Konstanten 0,007 har en usikkerhet på $\pm 0,001$. Strekkfastheten har en tilnærmet lineær økning, ved synkende temperatur. [21] Dette tilsier at ved lavere temperaturer er isen hardere og mer porøs, noe som fører til mindre ispartikler ved knusing.

4. Konklusjon

I dette prosjektet er det benyttet to forskjellige målemetoder, hvor den viktigste oppgaven har vært å undersøke størrelsen til ispartikler. De to målemetodene som ble brukt er bildeanalyse og sedimentering. Disse metodene blir anvendt for å kunne finne gjennomsnittlig diameter, samt kunne sammenligne resultatene og verifisere gyldigheten av disse. Resultatene ved bruk av begge målemetodene ved alle temperaturer viser at det foreligger en gjennomsnittsdiameter mellom 0,5-1,4 mm. Ved bruk av ispartikler innenfor disse størrelsene, er det liten sannsynlighet for at impeller til pumpe blir skadet under drift av hydraulikkridgen. Høyere temperaturer gir høyere diameter. Det er også en forskjell på egenprodusert is og kjøpe-is, hvor kjøpe-is har større diameter. Sedimenteringstesten har høyere gjennomsnittlig diameter enn bildeanalysen. Dette grunner i at det er vanskelig å finne de minste partiklene under sedimenteringstesten. Ifølge resultatene påvises det at både strekkfasthet og renhet til vann har påvirkning på partikkelstørrelsen. Lav temperatur og urent vann fører til høy strekkfasthet og en mer porøs is. Resultatene viser at høyere strekkfasthet og mer forurenset is gir lavere gjennomsnittlig diameter.

For å fortsette videre på prosjektet er det anbefalt å undersøke om det er andre gode målemetoder som kan bidra til å kartlegge størrelsen til ispartiklene. Det finnes i dag profesjonelt utstyr som kan bidra til at sannsynligheten for feil blir mindre. Hvordan dette vil påvirke resultatene er vanskelig å forutsi, men det anbefales å undersøke hva urenheter i vann har å si for partikkelstørrelsen.

Referanser

- [1] T. S. T. H. & M. K. E. Nørgaard, «Performance of components of ice slurry systems: pumps, plate heat exchangers, and fittings,» *International Journal of Refrigeration*, p. 91, 16 Juli 2004.
- [2] K. Hayashi og k. Kasza, «Microscale Study of Ice Particles Characteristics, Role of Freezing Point Depressant, and Influence on Slurry Fluidity,» p. 18, 27 januar 2001.
- [3] I. J. Jordaan og G. W. Timco, «Dynamics of the Ice-Crushing Process,» pp. 318-326, 20 januar 2017.
- [4] I. S.K.Singh, «Constitutive behaviour of chrused ice,» *Constitutive behaviour of chrused ice*, pp. 171-187, 4 Desember 1997.
- [5] ATA Scientific, «Different methods of particle size measurment,» 23 August 2019. [Internett]. Available: <https://www.atascientific.com.au/measurement-analysis-particles/>. [Funnet 2 Mai 2021].
- [6] S. G. P. N. Hemant Bansal, «A scale-bridging model for ice particles melting in air,» *Chemical Engineering Science*, pp. 66-78, 12 Juni 2017.
- [7] ElProCus Technologies, «www.elprocus.com,» [Internett]. Available: <https://www.elprocus.com/imx586-sensor-working-and-its-features/>. [Funnet 12 Mai 2021].

- [8] Elkjøp, «www.elkjop.no,» [Internett]. Available: https://www.elkjop.no/product/hvitevarer/kjoleskap-og-fryser/fryseboks/211828/logik-smart-climate-fryseboks-195cfw20e?&scid=SEM6279&gclid=CjwKCAjw-e2EBhAhEiwAJI5jg6c3q5iJap_H17Rxco9oarhYWSiLiVSdHwmSkKT9cj5fxFJpqxG3CxoCkvYQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds. [Funnet 12 Mai 2021].
- [9] Mettler Toledo, Operating instructions Mettler Toledo AG balances, Zürich: Mettler-Toledo GmbH, Laboratory & Weighing Technologies, 2004.
- [1 farmandfleet, «<https://www.farmandfleet.com>,» farmandfleet, 13 Februar 2020. [Internett].
0] Available: <https://www.farmandfleet.com/products/1330888-ninja-1400-watt-select-blender-duo-with-auto-iq.html>. [Funnet 23 Mai 2021].
- [1 J. D. S. M. S. Y. T. Clayton T. Crowe, Multiphase flows with droplets and particles, London, New York: CRC Press, 2011.
- [1 F. contributors, «[imagej](http://imagej.net),» Fiji, 01 Desember 2007. [Internett]. Available:
2] <https://imagej.net/ImageJ>. [Funnet 18 Februar 2021].
- [1 M. L. F. H. Vincent McFarlane, «Colde Regions Science and technology,» *Measurement of the evolution of frazil ice particle size distributions*, p. 11, 1 September 2015.
- [1 G. P. Association, Physical properties of glycerine and its solutions, New York: New York: Glycerine Producers' Association, 1963.
- [1 Engineeringtoolbox, «<https://www.engineeringtoolbox.com>,» Engineeringtoolbox, 2004.
5] [Internett]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d_576.html. [Funnet 07 April 2021].
- [1 Bergen Kommune, «www.Bergen.kommune.no,» [Internett]. Available:
6] <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/drikkevann/sporsmal-og-svar-om-drikkevann>. [Funnet 20 Mai 2021].
- [1 Aqua Unique, «www.aun.as,» [Internett]. Available: <https://www.aun.as/veiledning/vannkvalitet-kjemisk/>. [Funnet 20 Mai 2021].
- [1 Profinor AS, «www.profinor.no,» [Internett]. Available: <https://profinor.no/fargetall-i-vann/>.
8] [Funnet 20 Mai 2021].
- [1 Bergen Kommune, «www.Bergen.kommune.no,» [Internett]. Available:
9] <https://www.bergen.kommune.no/hvaskjer/tema/drikkevann/vannkvalitet/manedlige-analyser-av-drikkevannskvaliteten-i-bergen>. [Funnet 20 Mai 2021].
- [2 Mr.Iceman, «www.mriceman.com,» [Internett]. Available: <https://mriceman.com/om-oss/>.
0] [Funnet 21 Mai 2021].
- [2 B. R. Z. P. J. P. L. S. S. a. G. C. C. Kimberly L. Litwin, «Influence of temperature, composition, and grain size on the tensile failure of water ice: Implications for erosion on Titan,» *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117*, pp. 1-14, 7 Juli 2012.

Tabeller

Tabell 1 (Viskositet av glyserol/vann blanding)	12
Tabell 2 (Målt viskositet)	12
Tabell 3 (Partikkeltetthet til ispartikkel).....	12
Tabell 4 (Tetthet pr % av glyserol)	13
Tabell 5 (Utrekning av hastighet).....	13
Tabell 6 (Utrekning av hastighet).....	13
Tabell 7 (Utrekning av gjennomsnittlig partikkel diameter)	14
Tabell 8 (Intervall -15°C kjøpe-is)	16
Tabell 9 (Intervall -15°C egenprodusert is).....	17
Tabell 10 (Gjennomsnittsdiameter kjøpe-is).....	19
Tabell 11 (Gjennomsnittsverdier egenprodusert is)	20
Tabell 12 (Strekfasthet ren is)	20
Tabell 13 (Utrekning av hastighet).....	25
Tabell 14 (Utrekning av hastighet).....	25
Tabell 15 (Utrekning av gjennomsnittlig partikkel diameter)	26
Tabell 16 (Utrekning av gjennomsnittlig partikkel diameter)	26
Tabell 17 (Utrekning av hastighet).....	27
Tabell 18 (Utrekning av hastighet).....	27
Tabell 19 (kjøpe-is -20 °C distribusjon).....	30
Tabell 20 (kjøpe-is -10 °C distribusjon).....	31
Tabell 21 (kjøpe-is -5 °C distribusjon).....	32
Tabell 22 (Egenprodusert is -20 °C distribusjon).....	33
Tabell 23 (Egenprodusert is -10 °C distribusjon).....	34
Tabell 24 (Egenprodusert is -10 °C distribusjon).....	35

Figurer

Figur 1 (Hydraulisk rigg)	1
Figur 2 (Skjematikk av hydraulisk installasjon).....	2
Figur 3 (hydraulisk rigg, Ovenfra)	3
Figur 4 (Blender).....	4
Figur 5 (Sedimentering)	6
Figur 6 (Gjennomsnittsstørrelser kjøpe-is).....	15
Figur 7 (Distribusjon -15°C kjøpe-is)	16
Figur 8 (Gjennomsnittsstørrelser egenprodusert is)	17
Figur 9 (Distribusjon -15°C egenprodusert is)	18
Figur 10 (Sammenligning kjøpe-is)	18
Figur 11 (Sammenligning egenprodusert is)	19
Figur 12 (Sedimenterings test ved kjøpe-is).....	28
Figur 13 (Sedimenteringstest med egenprodusert is)	28
Figur 14 (Sedimenteringstest med egenprodusert is)	29
Figur 15 (Sedimenteringstest med kjøpe-is).....	29
Figur 16 (Distribusjon kjøpe-is -20 °C)	30
Figur 17 (Distribusjon kjøpe-is -10 °C)	31

Figur 18 (Distribusjon kjøpe-is -5 °C)	32
Figur 19 (Distribusjon egenprodusert is -20 °C)	33
Figur 20 (Distribusjon egenprodusert is -10 °C)	34
Figur 21 (Distribusjon egenprodusert is -5 °C)	35

Bilder

Bilde 1 (Sedimentering utførelse)	7
Bilde 2 (Viskosimeter i fryser)	8
Bilde 3 (Viskositetsmåling)	9
Bilde 4 (Bildeanalyse)	10
Bilde 5 (Prosesserte partikkel områder)	11

Formler

Formel 1 (Stokes Diameter)	5
Formel 2 (Hastighet)	6
Formel 3 (Strekkfasthet ren is)	20

Vedlegg 1

Analyse av sedimentering

Sedimentering -15 °C

Presentert i resultat og diskusjon.

Sedimentering -10 °C

Disse tre tabellene viser en oversikt over resultatene fra sedimenteringsforsøkene når partiklene blir knust ved -10 °C.

Tabell 13 (Utregning av hastighet)

Kjøpe-is	t_{start} [s]	t_{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Type partikkel				
Stor partikkel	2:37.30	2:41.63	$3 \cdot 10^{-2}$	0.02771
Liten partikkel	2:51.33	3.01.23	$1 \cdot 10^{-2}$	$7.952 \cdot 10^{-3}$

Tabell 14 (Utregning av hastighet)

Egenprodusert is	t_{start} [s]	t_{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Type partikkel				
Stor partikkel	9:30.90	9:33.96	$2 \cdot 10^{-2}$	0.02614
Liten partikkel	10.13	16.36	$0.5 \cdot 10^{-2}$	$3.21 \cdot 10^{-3}$

Tabell 15 (Utregning av gjennomsnittlig partikkel diameter) viser en oversikt over resultatene ved -10 °C

Tabell 15 (Utregning av gjennomsnittlig partikkel diameter)

Type is	μ [Pa·s]	ρ_d [kg/m ³]	ρ_c [kg/m ³]	G [m/s ²]	V_{stor} [m/s]	V_{liten} [m/s]	D_{stor} [mm]	D_{liten} [mm]	D_{snitt} [mm]
Kjøpe-is	0.0144	918.9	1110.9	9.81	0.02771	$7.952 \cdot 10^{-3}$	1.952	1.04	1.4±0.1
Kjøpe-is	0.012	918.9	1110.9	9.81	0.02771	$7.952 \cdot 10^{-3}$	1.782	0.9549	1.4±0.1
Egenprodusert	0.0144	918.9	1110.9	9.81	0.02614	$3.211 \cdot 10^{-3}$	1.89	0.6647	1.3±0.1
Egenprodusert	0.012	918.9	1110.9	9.81	0.02614	$3.211 \cdot 10^{-3}$	1.731	0.6068	1.2±0.1

Sedimentering -5 °C.

Tabell 16 (Utregning av gjennomsnittlig partikkel diameter) viser en oversikt over resultatene ved -5 °C.

Tabell 16 (Utregning av gjennomsnittlig partikkel diameter)

Type is	μ [Pa·s]	ρ_d [kg/m ³]	ρ_c [kg/m ³]	G [m/s ²]	V_{stor} [m/s]	V_{liten} [m/s]	D_{stor} [mm]	D_{liten} [mm]	D_{snitt} [mm]
Kjøpe-is	0.0144	918.9	1110.9	9.81	0.02484	$4.268 \cdot 10^{-3}$	1.848	0.766	1.3±0.2
Kjøpe-is	0.012	918.9	1110.9	9.81	0.02484	$4.268 \cdot 10^{-3}$	1.686	0.6996	1.2±0.2
Egenprodusert	0.0144	918.9	1110.9	9.81	0.01937	$7.407 \cdot 10^{-3}$	1.632	1.009	1.3±0.2
Egenprodusert	0.012	918.9	1110.9	9.81	0.01937	$7.407 \cdot 10^{-3}$	1.490	0.9216	1.2±0.1

Ispartikkelanalyse før injisering av is i hydraulisk anlegg

Tabell 17 (Utrekning av hastighet) og Tabell 18 (Utrekning av hastighet) viser en oversikt over resultatene fra sedimenteringsforsøkene når partiklene blir knust ved $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tabell 17 (Utrekning av hastighet)

Kjøpe-is	t_{start} [s]	t_{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Type partikkel				
Stor partikkel	12:52.23	12:57.06	$3 \cdot 10^{-2}$	0.02484
Liten partikkel	20.16	29.53	$1 \cdot 10^{-2}$	$4.268 \cdot 10^{-3}$

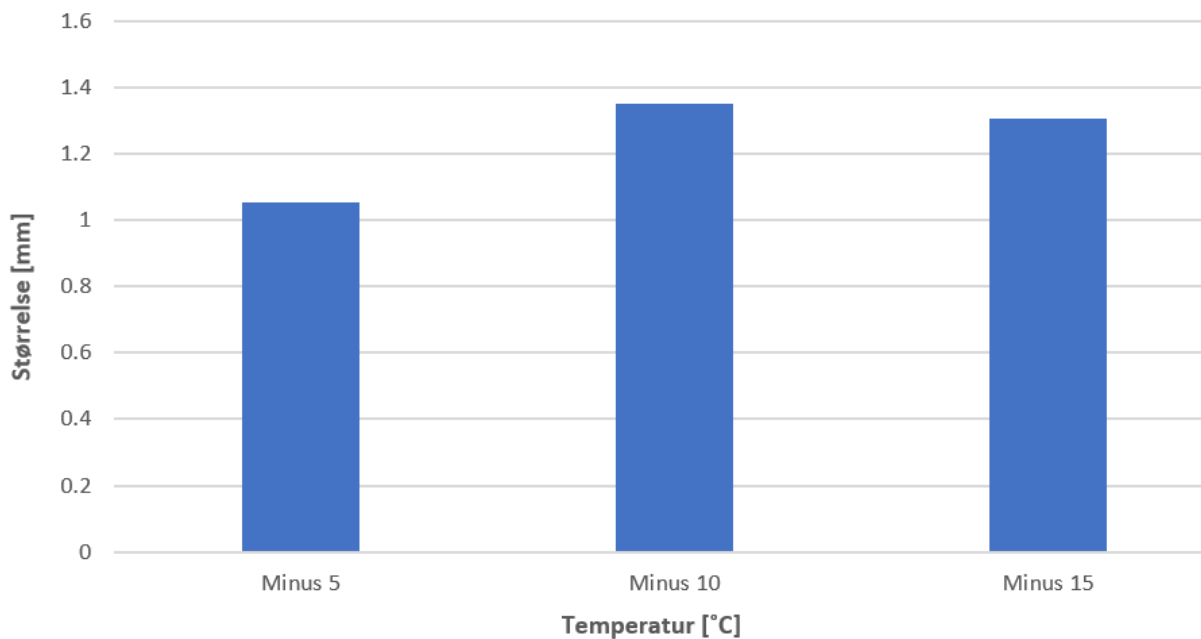
Tabell 18 (Utrekning av hastighet)

Egenprodusert is	t_{start} [s]	t_{slutt} [s]	H [m]	V [m/s]
Type partikkel				
Stor partikkel	1:03.90	1:08.03	$2 \cdot 10^{-2}$	0.01937
Liten partikkel	3:52.56	4:00.66	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$7.407 \cdot 10^{-3}$

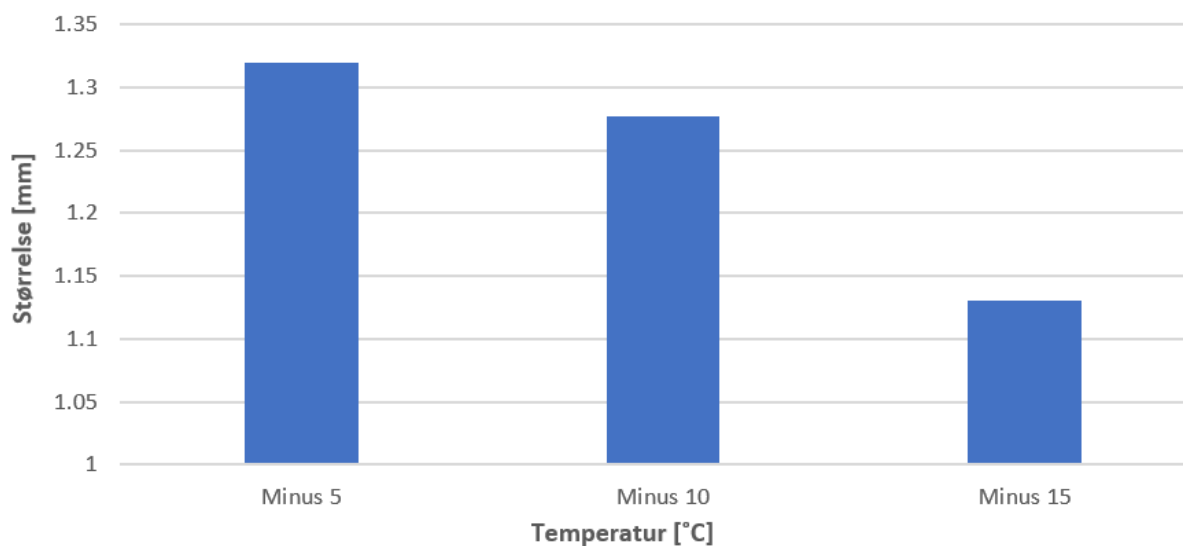
Sedimentering gjennomsnitt

Figur 12 (Sedimenterings test ved kjøpe-is) og Figur 13 (Sedimenteringstest med egenprodusert is) nedenfor viser hvordan diameteren til ispartiklene varierer med temperatur ved gjennomførelse av sedimentasjonstesten og utregning med viskositet fra tabell.

Kjøpe-is:



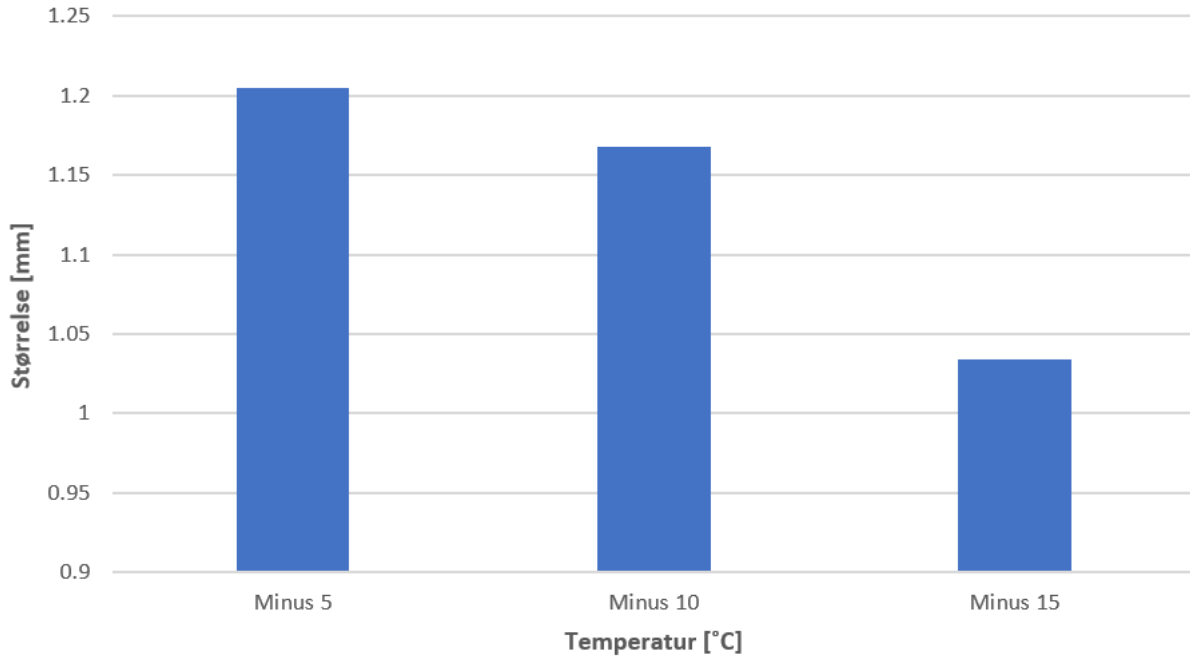
Figur 12 (Sedimenterings test ved kjøpe-is)



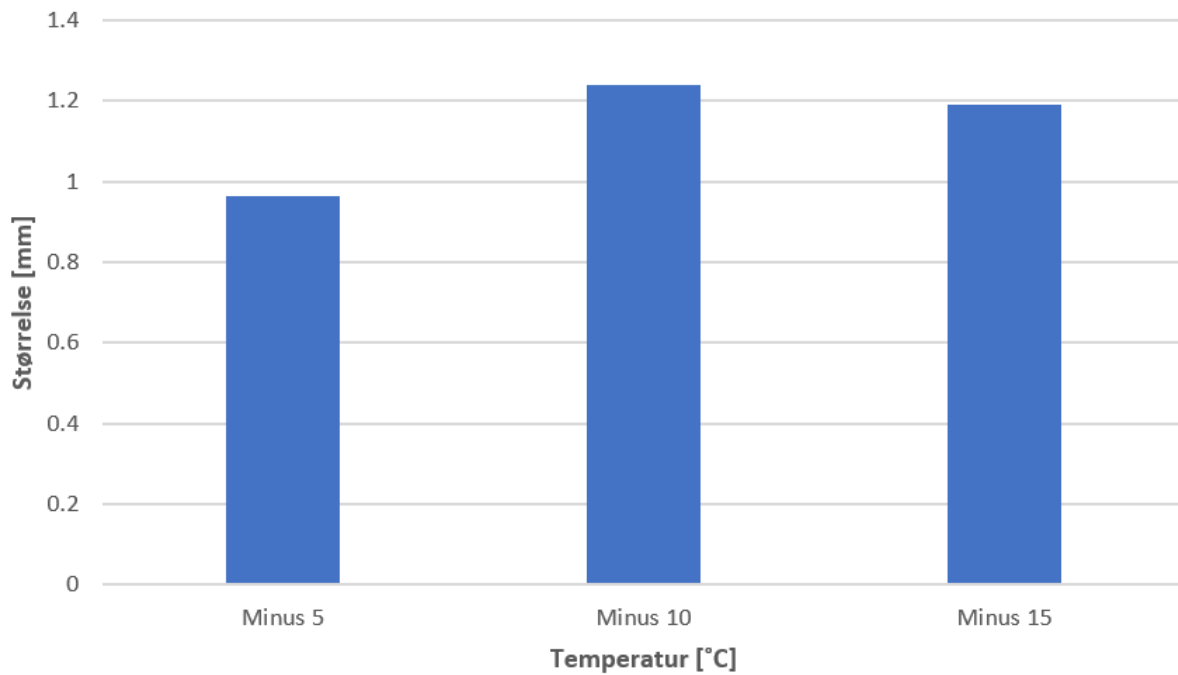
Figur 13 (Sedimenteringstest med egenprodusert is)

Figur 14 (Sedimenteringstest med egenprodusert is) og Figur 15 (Sedimenteringstest med kjøpe-is) viser diameteren til ispartiklene med viskositet funnet fra forsøk. Da ser man at resultatene blir ulik fra når man bruker viskositet funnet i tabell.

Egenprodusert is:



Figur 14 (Sedimenteringstest med egenprodusert is)



Figur 15 (Sedimenteringstest med kjøpe-is)

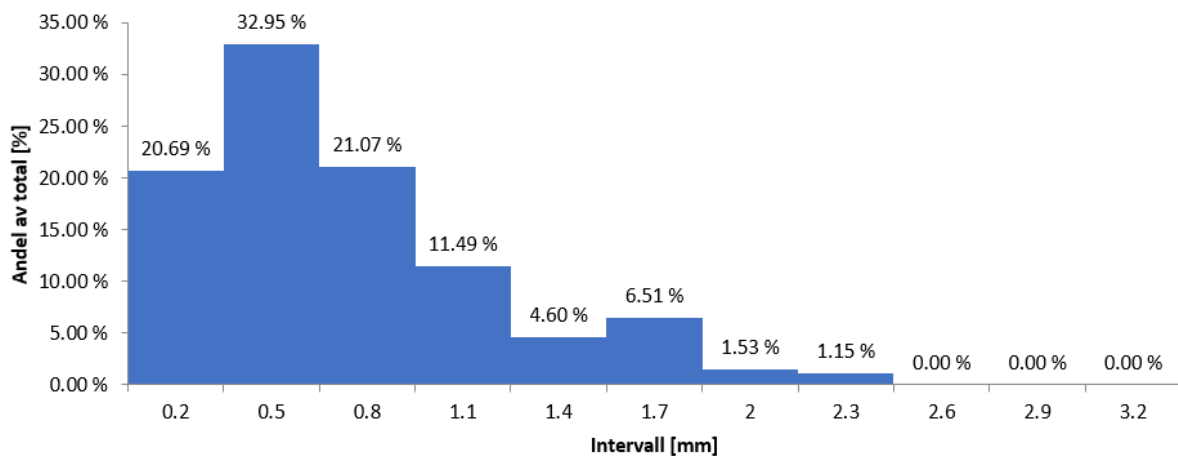
Bildeanalyse partikkeldistribusjon

Kjøpe-is -20 °C:

Tabell 19 (kjøpe-is -20 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	54	20.69 %
0.5	86	32.95 %
0.8	55	21.07 %
1.1	30	11.49 %
1.4	12	4.60 %
1.7	17	6.51 %
2	4	1.53 %
2.3	3	1.15 %
2.6	0	0.00 %
2.9	0	0.00 %
3.2	0	0.00 %
Mer	0	
Sum:	261	100.00 %

Analysen inkluderer til sammen 261 partikler hvorav 74,71% befinner seg under 0,8 mm.



Figur 16 (Distribusjon kjøpe-is -20 °C)

Histogram i Figur 16 (Distribusjon kjøpe-is -20 °C), over viser en billedlig oversikt over distribusjonen av partiklene.

Kjøpe-is -15 °C

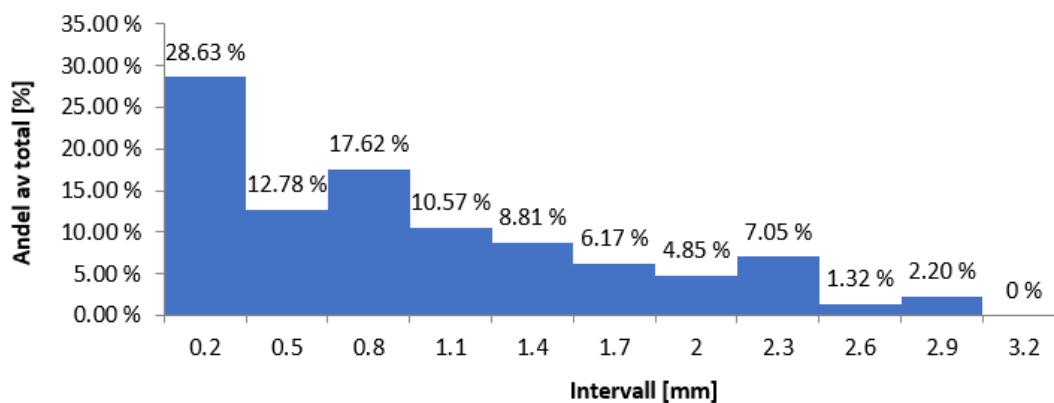
Presentert i resultat og diskusjon.

Kjøpe-is -10 °C

Tabell 20 (kjøpe-is -10 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	65	28.63 %
0.5	29	12.78 %
0.8	40	17.62 %
1.1	24	10.57 %
1.4	20	8.81 %
1.7	14	6.17 %
2	11	4.85 %
2.3	16	7.05 %
2.6	3	1.32 %
2.9	5	2.20 %
3.2	0	0 %
Mer	227	100.00 %

Analysen inneholder 227 partikler, hvorav 59,03% befinner seg under 0,8 mm i diameter.



Figur 17 (Distribusjon kjøpe-is -10 °C)

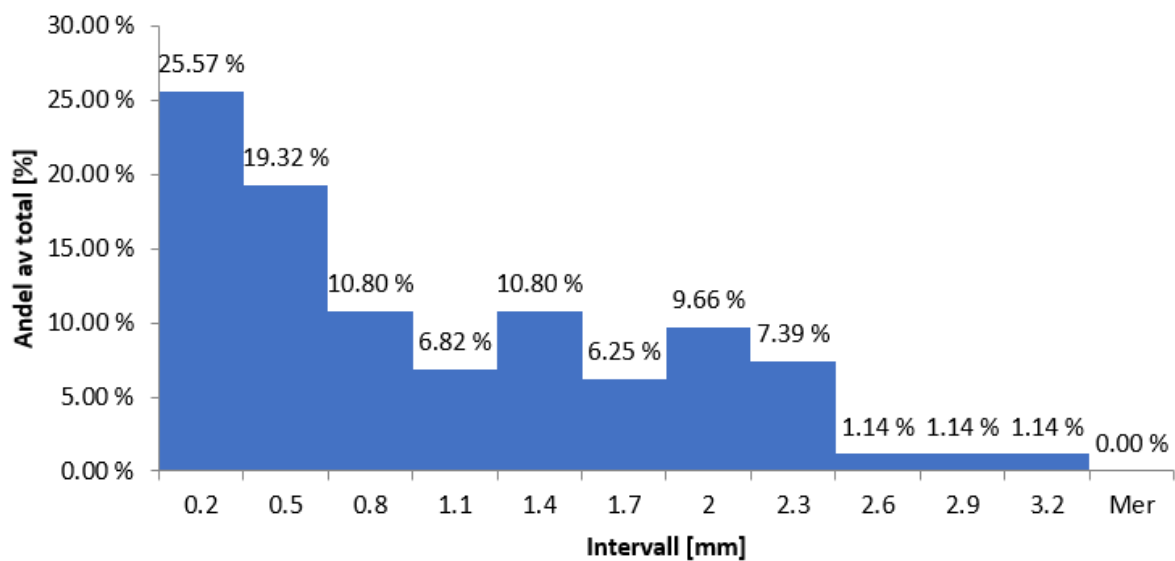
Figur 17 (Distribusjon kjøpe-is -10 °C) viser distribusjon av kjøpe-is knust ved -10 °C. Histogrammet viser at flere partikler ved lavere temperatur, har større diameter.

Kjøpe-is -5 °C

Tabell 21 (kjøpe-is -5 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	45	25.57 %
0.5	34	19.32 %
0.8	19	10.80 %
1.1	12	6.82 %
1.4	19	10.80 %
1.7	11	6.25 %
2	17	9.66 %
2.3	13	7.39 %
2.6	2	1.14 %
2.9	2	1.14 %
3.2	2	1.14 %
Mer	0	0.00 %
Sum:	176	100.00 %

Analyse av totalt 176 partikler hvorav 53,69% ligger under 0,8 mm.



Figur 18 (Distribusjon kjøpe-is -5 °C)

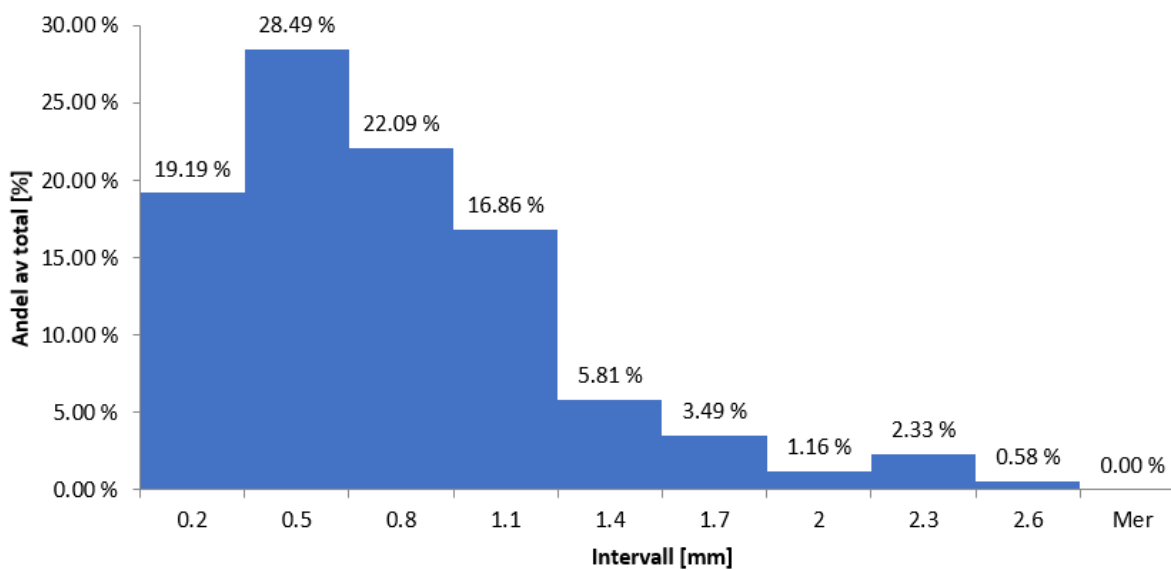
Ser tydelig en god spredning blant partikkelstørrelser. Majoriteten ligger i området opp til 0,5 mm, men det er tydelig at store andeler av analysen består av større partikler.

Egenprodusert is -20 °C

Tabell 22 (Egenprodusert is -20 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	33	19.19 %
0.5	49	28.49 %
0.8	38	22.09 %
1.1	29	16.86 %
1.4	10	5.81 %
1.7	6	3.49 %
2	2	1.16 %
2.3	4	2.33 %
2.6	1	0.58 %
Mer	0	0.00 %
Sum:	172	100 %

Resultater av totalt 172 partikler. 69,77% av partiklene er under 0,8mm i diameter.



Figur 19 (Distribusjon egenprodusert is -20 °C)

Egenprodusert is -15 °C

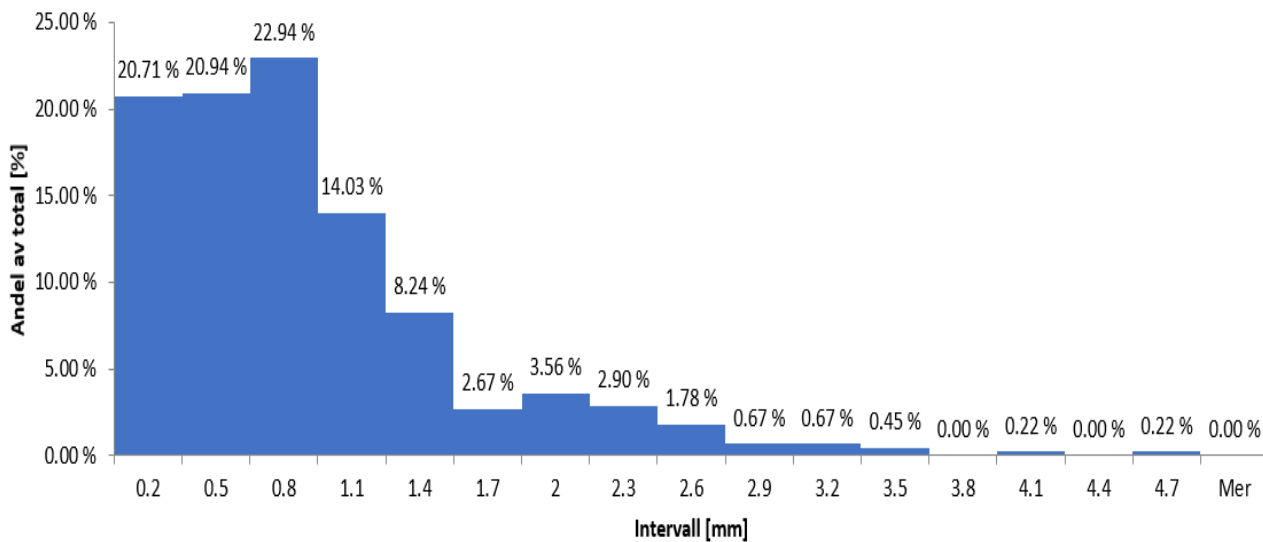
Presentert i resultat og diskusjon.

Egenprodusert is -10 °C

Tabell 23 (Egenprodusert is -10 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	93	20.71 %
0.5	94	20.94 %
0.8	103	22.94 %
1.1	63	14.03 %
1.4	37	8.24 %
1.7	12	2.67 %
2	16	3.56 %
2.3	13	2.90 %
2.6	8	1.78 %
2.9	3	0.67 %
3.2	3	0.67 %
3.5	2	0.45 %
3.8	0	0.00 %
4.1	1	0.22 %
4.4	0	0.00 %
4.7	1	0.22 %
Mer	0	0.00 %
	449	100.00 %

Analyse av totalt 449 partikler, hvorav 64,59% har under 0,8 mm diameter.



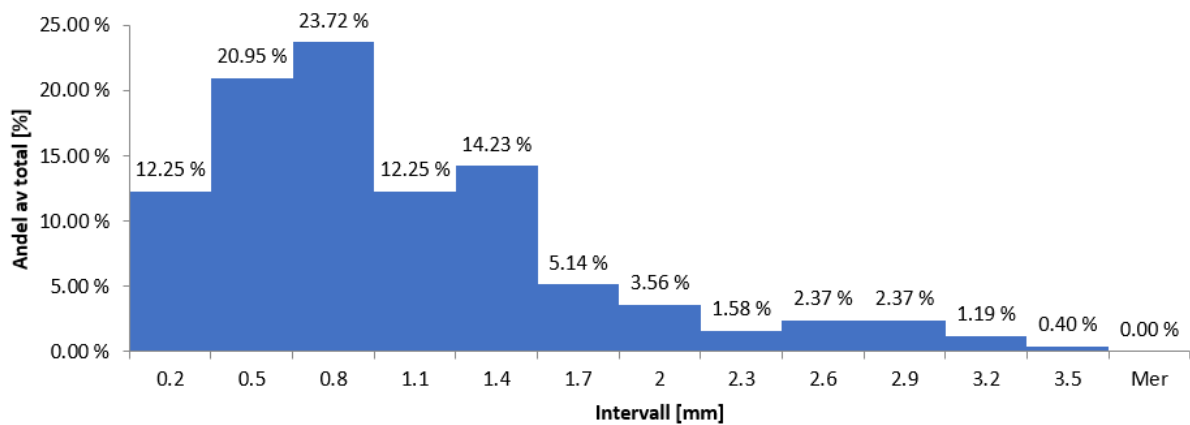
Figur 20 (Distribusjon egenprodusert is -10 °C)

Egenprodusert is -5 °C

Tabell 24 (Egenprodusert is -10 °C distribusjon)

Intervall	Frekvens	Prosent
0.2	31	12.25 %
0.5	53	20.95 %
0.8	60	23.72 %
1.1	31	12.25 %
1.4	36	14.23 %
1.7	13	5.14 %
2	9	3.56 %
2.3	4	1.58 %
2.6	6	2.37 %
2.9	6	2.37 %
3.2	3	1.19 %
3.5	1	0.40 %
Mer	0	0.00 %
Sum:	253	100.00 %

Analyse av totalt 253 partikler, hvorav 56,92% har under 0,8 mm diameter.



Figur 21 (Distribusjon egenprodusert is -5 °C)