

# Effekt av salt på telehiv

**Lars Lund**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Helge Mork, BAT

Medveileder: Alex Klein-Paste, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg, anlegg og transport





Oppgavens tittel: Effekt av salt på telehiv	Dato: 11.06.12		
	Antall sider (inkl. bilag): 202		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Stud.techn. Lars Lund			
Faglærer/veileder: Førsteamanuensis Helge Mork, NTNU. Førsteamanuensis Alex Klein-Paste, NTNU.			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere:			

#### Ekstrakt:

Det har i denne oppgaven blitt sett på effekten av salt på telehiv. For å finne effekten av salt på telehiv, og forklaringer på dette fenomenet, har det blitt gjort et litteraturstudie, et feltforsøk og et laboratorieforsøk.

Det finnes mye litteratur på telehiv, derimot er det ikke en entydig teori som forklarer mekanismene rundt dannelse av telehiv. Blant annet finnes det fire hovedteorier for hvordan vannoppsugget er med på dannelsen av islinser. Det er i litteraturen vist at salt har betydning på mekanismer rundt dannelse av telehiv. Det har også blitt registrert at økende saltinnhold senker telehiv i laboratorieforsøk og teoretiske modeller. Det finnes også forsøk som viser at salt kan erstatte temperaturgradienten og danne telehiv uten denne temperaturgradienten. Salt har betydning for vannstrømmen i materialet og det er vist at den hydrauliske konduktiviteten går ned ved økende saltinnhold.

Det har blitt utført et feltforsøk for å se på effekten av salt rundt sprekker. I litteraturen henvises det til ett prosjekt i USA hvor det vises til lokalt telehiv rundt sprekker. Forklaringen på dette var tilsig av finmateriale, vann og salt i sprekk. I feltforsøket som ble utført i denne oppgaven ble det ikke registrert forandringer rundt sprekker. Dette var heller ikke mulig da det var mangel på frost i forsøksperioden.

Til slutt ble det utført et laboratorieforsøk som så på effekten av å tilsette saltløsning av NaCl i prøven. Disse ble sammenlignet med prøver uten salt. Forsøket ble utført med en temperaturgradient og tilgang på saltløsning i bunn av prøven. Resultatet av laboratorieforsøket viser at det var en reduksjon i telehiv med økende saltinnhold. Resultatene viste også redusert vannoppsug med økende saltinnhold, og derav mindre vanninnhold.

Det er i litteraturen vist at temperaturgradienten kan erstattes av en saltgradient. I jord med saltgradient finnes derfor to drivkrefter ved dannelse av telehiv, da en temperaturgradient vil finnes in-situ. Det er usikkert hvilken av disse drivkreftene som har mest å si for dannelsen av telehiv. Likevel viste laboratorieforsøket, med temperaturgradient, at salt hadde tydelig effekt på dannelse av telehiv, og at saltkonsentrasjonene varierte som funksjon av dybden i prøven. Resultatene i laboratorieforsøket bekrefter dermed deler av litteraturen som tar for seg salts betydning på telehiv.

#### Stikkord

1. Telehiv
2. Salt
3. Telehivforsøk
4. Tenting



## **Forord**

Denne oppgaven er et resultat av master i Bygg og Miljøteknikk, studiespesialisering Veg ved Norges Tekniske Naturvitenskapelige Universitet, våren 2012. Masterarbeidet er satt av til 21 uker, noe som tilsvarer ett semester. Oppgavebeskrivelse er skrevet av Alex Klein- Paste og ligger i Vedlegg 1.

Jeg vil først rette en takk til faggruppen for Veg og Transport ved NTNU for hjelp til praktiske og teoretiske spørsmål gjennom masterarbeidet. Jeg vil også rette en takk til gruppen på vegteknologisk laboratorium, spesielt ved Lisbeth Johansen, som har vært til god hjelp under mine forsøk.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til veilederne mine, Alex Klein-Paste og Helge Mork for tett oppfølging gjennom hele masterarbeidet. Jeg har satt stor pris på den gode hjelpen ved praktiske problemer, samt ved teoretisk forståelse av problemstillingen.

Trondheim 11.06.2012

---

Lars Lund



## Sammendrag

Det har i denne oppgaven blitt sett på effekten av salt på telehiv. For å finne effekten av salt på telehiv, og forklaringer på dette fenomenet, har det blitt gjort et litteraturstudie, et feltforsøk og et laboratorieforsøk.

Det finnes mye litteratur på telehiv, derimot er det ikke en entydig teori som forklarer mekanismene rundt dannelse av telehiv. Blant annet finnes det fire hovedteorier for hvordan vannoppsuget er med på dannelsen av islinser. Det er i litteraturen vist at salt har betydning på mekanismer rundt dannelse av telehiv. Det har også blitt registrert at økende saltinnhold senker telehiv i laboratorieforsøk og teoretiske modeller. Det finnes også forsøk som viser at salt kan erstatte temperaturgradienten og danne telehiv uten denne temperaturgradienten. Salt har betydning for vannstrømmen i materialet og det er vist at den hydrauliske konduktiviteten går ned ved økende saltinnhold.

Det har blitt utført et feltforsøk for å se på effekten av salt rundt sprekker. I litteraturen henvises det til ett prosjekt i USA hvor det vises til lokalt telehiv rundt sprekker. Forklaringen på dette var tilsig av finmateriale, vann og salt i sprekke. I feltforsøket som ble utført i denne oppgaven ble det ikke registrert forandringer rundt sprekker. Dette var heller ikke mulig da det var mangel på frost i forsøksperioden.

Til slutt ble det utført et laboratorieforsøk som så på effekten av å tilsette saltløsning av NaCl i prøven. Disse ble sammenlignet med prøver uten salt. Forsøket ble utført med en temperaturgradient og tilgang på saltløsning i bunn av prøven. Resultatet av laboratorieforsøket viser at det var en reduksjon i telehiv med økende saltinnhold. Resultatene viste også redusert vannoppsug med økende saltinnhold, og derav mindre vanninnhold.

Det er i litteraturen vist at temperaturgradienten kan erstattes av en saltgradient. I jord med saltgradient finnes derfor to drivkrefter ved dannelse av telehiv, da en temperaturgradient vil finnes in-situ. Det er usikkert hvilken av disse drivkreftene som har mest å si for dannelsen av telehiv. Likevel viste laboratorieforsøket, med temperaturgradient, at salt hadde tydelig effekt på dannelse av telehiv, og at saltkonsentrasjonene varierte som funksjon av dybden i prøven. Resultatene i laboratorieforsøket bekrefter dermed deler av litteraturen som tar for seg salts betydning på telehiv.





## **Abstract**

This study has examined the effect of salt on frost heave. To determine the effect of salt on frost heave, and an explanation of this phenomenon, it has been done a literature study, a field experiment, and a laboratory experiment.

There are considerable literature investigating frost heave; however, there is not a unique theory that explains the formation on frost heave. There are four main theories on how suction is developing the formation of ice lenses. The literature shows that salt has an impact on the mechanisms of frost heave. It has also been noted that increasing salinity reduces frost heave in laboratory experiments and theoretical models. Salt can replace a temperature gradient and develop frost heave. In addition, salt is important for water flow in the soil, and the hydraulic conductivity is decreased with increasing salinity.

A field experiment was conducted to study the effect of salt in cracks. The literature refers to a project in the U.S., where local frost heave around cracks, i.e. winter tenting, was a problem. The explanation for local frost heave was inflow of fine grain particles and salt in cracks. However, in the current study, no changes around the cracks were recorded. This was neither possible because there was a lack of frost in the time of the experiment.

Finally, a laboratory experiment was conducted to investigate the effect of adding salt solution of NaCl in soil. These samples were compared with samples without any salt. The test was performed with a temperature gradient and a supply of salt solution in the bottom of the sample. The results of the experiments show that there was a reduction in frost heave with increasing salinity. The results also showed that there were decreasing water adsorption with increasing salinity, and, hence, less water content in the samples with salt.

The literature has shown that the temperature gradient can be replaced by a salt gradient. Soils with salt gradients contain two driving forces for formation of frost heave, because a temperature gradient exist in-situ. It is uncertain which of these two forces that have influence on the formation of frost heave. Yet the experiments with a temperature gradient showed that salt had a pronounced effect on the formation of frost heave, and that salt concentrations varied as a function of depth in the sample. The results in the experiments confirm some of the literature that exists about the influence of salt on frost heave.



# Innholdsfortegnelse

Sammenheng.....	iii
Abstract.....	v
Figurliste .....	ix
Tabelliste.....	xi
Vedleggsliste.....	xii
1 Introduksjon .....	1
2 Litteraturstudie.....	3
2.1 Problem og skadetyper.....	3
2.2 Telehiv.....	7
2.2.1 Historisk overblikk .....	7
2.2.2 Grunnprinsipp .....	7
2.2.3 Telefarlig materiale .....	8
2.2.4 Vann .....	9
2.2.5 Frost.....	10
2.3 Telehivmekanismene.....	13
2.3.1 Kapillær teori.....	13
2.3.2 Sekundær telehiv .....	14
2.3.3 Adsorpsjons-modellen .....	16
2.3.4 Osmose.....	17
2.4 Salt og kjemisk påvirkning av frossen jord og telehiv .....	21
2.4.1 Salts påvirkning av fryseprosessen til vann.....	21
2.4.2 Vannstrøm .....	22
2.4.3 Salt og telehiv .....	24
2.5 Målemetoder for telehiv .....	29
2.5.1 Laboratorium.....	29
2.5.2 Felt.....	31
2.6 Oppsummering .....	33
3 Feltforsøk.....	35
3.1 Bakgrunn og avgrensninger .....	35
3.2 Området.....	36

3.3	Oppsett .....	37
3.4	Resultater .....	39
3.4.1	Resultat fra nivellementet.....	39
3.4.2	Måling med spordannelseapparat .....	41
3.4.3	Temperaturer i prøveperiode .....	42
3.5	Feilkilder .....	42
3.6	Oppsummering .....	43
4	Laboratorieforsøk .....	45
4.1	Bakgrunn og avgrensninger .....	45
4.2	Oppsett .....	45
4.3	Simulering og forberedelser .....	47
4.3.1	Materiale .....	47
4.3.2	Vann og saltløsninger .....	50
4.3.3	Frost.....	50
4.4	Resultater – Telehivforsøk.....	53
4.4.1	Forsøksserier .....	53
4.4.2	Telehiv .....	54
4.4.3	Vannoppsug og vanninnhold.....	55
4.4.4	Temperaturer .....	57
4.4.5	Observasjoner .....	59
4.4.6	Andel fryst prøve og saltinnhold .....	63
4.5	Feilkilder .....	67
4.6	Oppsummering .....	67
5	Diskusjon.....	69
6	Konklusjon .....	71
7	Videre arbeid .....	73
8	Referanser .....	75
9	Vedlegg .....	79

## Figurliste

Figur 1 Frostfront som funksjon av dybde og tid, vist i fryseperiode og teleløsningsperiode. Gjengitt etter Andersland & Ladanyi (2004). .....	3
Figur 2 Forenklet figur av separerte lag med islinser og frossen jord. ....	8
Figur 3 Separert islag bestående kun av islinser sett i mikroskop. ....	8
Figur 4 Fasediagram for vann ved normal trykk og temperatur. Gjengitt etter Noss (1978). ..	9
Figur 5 Frostfront beveger seg nedover i bakken og skaper en temperaturgradient. ....	10
Figur 6 Utsnitt av jordpartikler med en pore fylt med porevann som forsyner islinsene. Gjengitt etter Penner (1959). ....	13
Figur 7 Utsnitt av vann/is grenseflaten, hvor det befinner seg et område kalt for fryseseone ( <i>eng: Frozen fringe</i> ). Gjengitt etter Chamberlain (1982). ....	15
Figur 8 Temperatur ved dannelse av islinser. Gjengitt etter Jean-Marie Konrad & Morgenstern (1980). ....	16
Figur 9 Islinsedannelse på vannfilm. Gjengitt etter Takagi (1980). ....	17
Figur 10 Osmometer, rent vann og løsning separert med en semipermeabel (S. P.) membran. $P_v$ = trykk vann, $\pi$ = Osmotisk trykk, $P_L$ = Trykk løsning. Gjengitt etter Horiguchi (1987). ....	17
Figur 11 Jordpartikkel med Stern-lag og diffust lag. Gjengitt etter Horiguchi (1987). ....	18
Figur 12 Karakteristikk av jordfrysning. Gjengitt etter Horiguchi (1987). ....	19
Figur 13 Fasediagram for NaCl-H <sub>2</sub> O. Basert på CRC (2011). ....	21
Figur 14 Skjematisk tegning av fryseprosessen og potensialene til vann, salt og temperatur. Gjengitt etter Perfect et al. (1991) .....	23
Figur 15 Bilde av "tenting", øverst profiltegning av sprekk, nederst plantegning av sprekk. .	26
Figur 16 Skisse av elementer i et telehivforsøk. ....	29
Figur 17 LVDT festet på ramme for kontinuerlig måling av telehiv. Hentet fra Matthews (1967). ....	31
Figur 18 Frostpinne som blir slått ned i veg. Hentet fra Forestry suppliers (2012) .....	32
Figur 19 Området for telehivforsøk, markert med rød pil (Kartverket 2012). ....	36
Figur 20 Stor vanntilgang fra grøfter som drenerte dårlig. ....	36
Figur 21 Plantegning av målområder og slisser. ....	37
Figur 22 Måleapparat for spordannelse blir her brukt for å måle lokalt telehiv. ....	38
Figur 23 Måling av telehiv med nivellement på målområde 1 og 2. ....	39
Figur 24 Måling av telehiv med nivellement på målområde 3 og 4. ....	40
Figur 25 Utvikling av sprekk i målområde 1. ....	41
Figur 26 Middelttemperatur over døgn i prøveperioden. Tall fra Meteorologisk institutt (2012). ....	42
Figur 27 Skjematisk opptegning av hvordan utstyret til prøven monteres. ....	46
Figur 28 Kornkurve av materiale brukt i telehivforsøket. ....	47
Figur 29 Modifisert Proctor av materialet som ble brukt i telehivforsøket. ....	48
Figur 30 Eksempel på temperaturmåling av prøve. ....	51
Figur 31 Telehiv i forsøksserie 3. ....	54

Figur 32 Vannoppsug i forsøksserie 3. ....	55
Figur 33 Vanninnhold i prøver som funksjon av dybde. ....	56
Figur 34 Islinsedannelse i bunn av prøve 1, forsøksserie 1.....	59
Figur 35 Islinsedannelse i topp av prøve 2, forsøksserie 1. ....	59
Figur 36 Islinse i Prøve 1 uten salt, forsøksserie 1 sett i mikroskop. ....	60
Figur 37 Islinse i Prøve 2 med salt, forsøksserie 1, sett i mikroskop.....	60
Figur 38 Islinse i Prøve 1, forsøksserie 2, ingen salt tilsatt.....	61
Figur 39 Bilde av prøve med 2,5 v- % saltinnhold etter frysning .....	62
Figur 40 Prøven 1-4 andel frossen og ufrossen del.....	63
Figur 41 Saltinnhold som funksjon av dybde i forsøksserie 3. ....	65

## Tabelliste

Tabell 1 Skader på grunn av tele (Berntsen 2011). .....	4
Tabell 2 Tiltak mot teleskader (Berntsen 2011). .....	5
Tabell 3 Nordals telekriterium (Vegdirektoratet 2011). .....	9
Tabell 4 Drivkrefter for vannstrøm i porøse materialer. Gjengitt etter Perfect et al. (1991)..	22
Tabell 5 Temperaturer, prøvestørrelser og temperaturgradient i ulike test apparater. Gjengitt med omgjøring av benevninger etter Lay (2005). .....	30
Tabell 6 Kornstørrelse og kumulativandel i % som ligger nærmest Nordals telekriterium.....	48
Tabell 7 Data for vann tilsatt prøver i forsøksserie 1. ....	53
Tabell 8 Data for vann tilsatt prøver i forsøksserie 2. ....	53
Tabell 9 Temperatur i Prøve 1 og 2 etter stabilisering.....	57
Tabell 10 Temperaturer i forsøksserie 2, i siste del av forsøket hvor temperaturen var lavest. ....	57
Tabell 11 Temperaturer i forsøksserie 3, når temperaturen var stabilisert (siste del av forsøkstiden). ....	58
Tabell 12 Vanninnhold og saltinnhold i frossen og ufrossen prøve, forsøksserie 2. ....	63
Tabell 13 Utregning Teoretisk andel frossen og ufrossen prøve. ....	64
Tabell 14 Teoretisk og målt andel frossen og ufrossen prøve. ....	64

## **Vedleggsliste**

Vedlegg 1 Oppgavetekst

Vedlegg 2 Modifisert Proctor

Vedlegg 3 Siktekurve, tørrsikt og Colter-analyse

Vedlegg 4 Temperaturer og telehiv forsøksserie 1

Vedlegg 5 Temperaturer og vannoppsug forsøksserie 1

Vedlegg 6 Telehiv forsøksserie 1

Vedlegg 7 Vannoppsug forsøksserie 1

Vedlegg 8 Temperaturer og telehiv i forsøksserie 2

Vedlegg 9 Temperaturer og vannoppsug i forsøksserie 2

Vedlegg 10 Telehiv forsøksserie 2

Vedlegg 11 Vannoppsug forsøksserie 2

Vedlegg 12 Etteranalyse forsøksserie 2

Vedlegg 13 Konduktivitetstest forsøksserie 2

Vedlegg 14 Temperatur og telehiv forsøksserie 3

Vedlegg 15 Temperatur og vannoppsug forsøksserie 3

Vedlegg 16 Telehiv forsøksserie 3

Vedlegg 17 Vannoppsug forsøksserie 3

Vedlegg 18 Etteranalyse forsøksserie 3

Vedlegg 19 Tallgrunnlag vanninnhold forsøksserie 3

Vedlegg 20 Tallgrunnlag konduktivitetstest forsøksserie 3

Vedlegg 21 Metodebeskrivelse av telehivforsøk

Vedlegg 22 Tallgrunnlag nivellement

Vedlegg 23 Utvikling av slisse, målt med spordannelsesapparat



# 1 Introduksjon

Telehiv har fasinert forskere i nesten 100 år, og utallige artikler er skrevet om emnet. Forskere har jobbet med å utvikle matematiske modeller og utført felt- og laboratorie-forsøk i lang tid for å forklare mekanismene rundt telehiv.

Norge ligger i et område som er utsatt for telehiv, og problemer rundt telehiv på norske veger er velkjent for mange bilister. Norge tilegnet seg en betydelig kunnskap rundt telehiv gjennom prosjektet «Frost i jord» som varte fra 1970 til 1976 (Norges tekniske-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens Vegvesens utvalg for frost i jord 1976). De seneste årene har midlertidig telehiv ført til store avisoppslag. For noen år siden opplevde Østlandet perioder med svært lave temperaturer, og nybygde veger ble ødelagt på grunn av telehiv (Smaalenene 2012). Dette førte til oppsiktsvekkende store omtaler i media, i politikken og innad i bransjen. Overskriftene tok for seg: Kunnskapsmangel blant Norges ingeniører (Teknisk Ukeblad 2011), feil dimensjonering (Aftenposten 2012a), og slurvete entreprenører (Aftenposten 2012b; TV2 2012). Blant annet var det ett oppslag som tok for seg bruken av vegsalt på norske veger, og at dette kan føre til økt telehiv (Bioforsk 2011). Grunnlaget for oppslaget var en artikkel som tok for seg telehiv i saltholdig jord. Resultatene i artikkelen var at saltholdig jord førte til mer telehiv (Dore et al. 1997). Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i påstanden at salt kan føre til økt telehiv på vegene, og tar for seg effekten av salt på telehiv. Forskningsspørsmålet for oppgaven er definert som:

Hvilken effekt har salt på telehiv? Hvis salt har effekt på telehiv, hvordan kan denne effekten forklares?

Opgaven vil ta for seg telehiv og mekanismene rundt dannelse av telehiv. Det vil ikke bli gått nært inn på problematikk og dannelse av teleløsning. Det vil heller ikke bli gått dypt inn i skader, skadeforbygning og dimensjonering på grunn av telehiv. Oppgaven konsentrerer seg om bruk og effekt av NaCl, da dette er typisk salt som blir brukt på norske veger.

For å prøve å besvare forskningsspørsmålet er det valgt å gjøre:

- 1) Litteraturstudie, for å se på kjente telehivmekanismer og om salt kan ha påvirkning på disse mekanismene. Se om det har vært skrevet om effekten av salt på telehiv og danne seg en oversikt over eventuelle andre mekanismer rundt dannelse av telehiv som salt kan påvirke.
- 2) Gjennomføre et feltforsøk for å se på problematikk ved bruk av salt på norske veger, og om vegsalt kan ha en betydning på telehiv.
- 3) Laboratorieforsøk, som skal gjenskape naturlige forhold i bakken. Se hvordan saltholdig materiale reagere i forhold til materiale uten salt. Ved hjelp av laboratorieforsøket skal det prøves å gå nærmere inn i mekanismene rundt dannelse

av telehiv og kan gi en bedre mulighet på å se på hvordan effekten av salt kan forklares.

I Vedlegg 1 ligger oppgaveteksten for masterarbeidet. Oppgaveteksten er utarbeidet av førsteamanuensis Alex Klein-Paste, NTNU.

Opgaven består av 3 hoveddeler, med hver sin oppsummering til slutt i hvert kapittel:

**Kapittel 2:** Litteraturstudie er delt i fem underkapitler. Først blir det skrevet litt om hvilke skader og problemer som finnes ved telehiv, 2.1. Videre blir det gått inn på hva telehiv er og hvilke faktorer som har betydning for telehiv, 2.2. Kapittel 2.3 tar for seg teorier om vannoppsug i telehiv. Salts påvirkning på fryseprosessen og telehiv er videre forklart i 2.4. Til slutt er det et kapittel som tar for seg måling av telehiv i laboratoriet og i felt, 2.5.

**Kapittel 3:** Her blir feltforsøket presentert, først blir det forklart hvordan forsøket ble utført før resultatene av forsøket blir presentert.

**Kapittel 4:** Tar for seg laboratorieforsøket, her vil det først forklares hvordan forsøket ble utført, det er også forklart hvordan forsøket simulerer parameterne for dannelse av telehiv. Til slutt blir resultatene presentert.

Til slutt i oppgaven, **Kapittel 5 og 6**, finnes det en samlet diskusjon og konklusjon etter gjennomført litteraturstudie, feltforsøk og laboratorieforsøk.

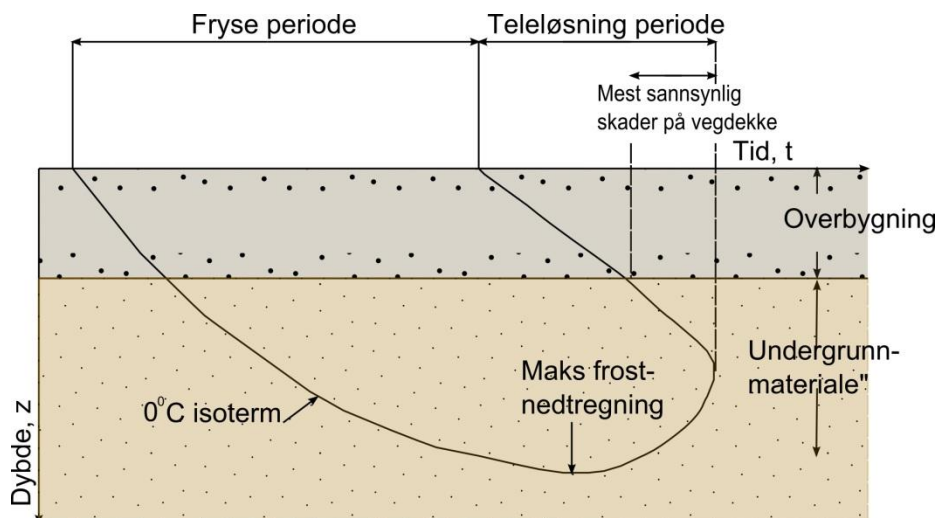
## 2 Litteraturstudie

Det er gjennomført et litteraturstudie for å få en oversikt over mekanismene rundt dannelse av telehiv og om dette kan svare på forskningsspørsmålet, om salt har effekt på telehiv. Det blir først gått kort inn på problemer og skadetyper relatert til telehiv, 2.1. Deretter er det sett nærmere på telehiv og faktorene som må være til stede for dannelse av telehiv, 2.2. Det er gått nærmere inn på teorier for telehiv og det er spesielt sett på mekanismen for vannoppsug i 2.3. I 2.4 er det sett på betydningen av salt og hvordan salt kan påvirke telehiv. Til slutt er det sett på hvordan telehiv kan måles i laboratoriet og felt, 2.5.

### 2.1 Problem og skadetyper

Telehiv har og er et problem for mange områder med frost i bakken. I Norge er dette spesielt betydelig da forholdene i Norge ligger til rette for dannelse av telehiv. Det er tre vilkår som skal være til stede for dannelse av telehiv; frost, vann ved frysefronten og telefarlig materiale (Noss 1978). Store deler av Norge har en frostdybde på mellom 0,5 til 1,5 meter i frostperiode. Frostperioden er den tiden av året som har en lufttemperatur under  $0^{\circ}\text{C}$ . For å danne telehiv må det også være tilgang på vann ved frysefronten. Norge har et nedbørrikt klima, og grunnvannstanden i Norge er derfor ofte høy. Til slutt er store deler av landet vårt dekket med løsavleiringer som er så finkornet at det er telefarlig. Vilråene for dannelse av telehiv er derfor ofte dekket (Noss 1978). På grunn av vilråene for telehiv finnes naturlig i Norge er det viktig å konstruere og planlegge konstruksjoner slik at vilråene for telehiv ikke blir oppfylt, og at skader i konstruksjonen dermed ikke oppstår eller begrenses.

Man skiller mellom telehiv som skjer når frost trenger ned i bakken, som regel på vinteren, og teleløsning som skjer når frosten forsvinner, som regel på våren. Dette kan forklares ved hjelp av Figur 1 som viser at en har en periode hvor frosten trenger ned i bakken, fryseperioden, og en periode hvor frosten forsvinner, teleløsningsperioden. Linjen viser frostfronten, nullisoterm, hvor dybde er en funksjon av tiden.



Figur 1 Frostfront som funksjon av dybde og tid, vist i fryseperiode og teleløsningsperiode. Gjengitt etter Andersland & Ladanyi (2004).

Telehiv er et fenomen som kan skje når frysefronten trenger ned i bakken. Ved tilgang på vann ved frysefronten kan det dannes islinser. Disse islinsene skaper et trykk som igjen løfter overliggende jord og eventuelle konstruksjoner. Telehiv blir nærmere forklart i kapittel 2.2 og 2.3.

Telehiv hadde ikke vært et stort problem hvis løftingen hadde vært jevn langs en veg. Dette skjer i midlertidig sjeldent, og forskjell i telehiv resulterer i ujevnheter på tvers og på langs av vegbanen. Telehiven fører til et trykk i bakken som forårsaker skader på konstruksjonene, eller at funksjonen til konstruksjonen ikke blir benyttet som tiltenkt (blant annet ved lavere hastighet på vegene eller ubehag ved kjøring på grunn av ujevnheter).

Om våren når telehiven går tilbake, tiner jorden fra toppen. Hvis det har vært dannelse av islinser, inneholder jorden mye vann. Vannet i toppen blir ikke godt drenert ned i vegkroppen og det oppstår et høyt poretrykk i toppen av vegkroppen. Dette høye poretrykket fører til at partiklene i jorden flyter og en får dårlig bæreevne i vegen.

Statens Vegvesen beskriver i Håndbok 018 - Vegbygging to definisjoner av skader i vegdekke på grunn av tele (Vegdirektoratet 2011):

**Telebrudd:**

*«Brudd i vegdekket hvor telefarlig materiale fra underlaget trenger opp.»*

**Teleskader:**

*«Skader på vegen pga. telehiv og/eller nedsatt bæreevne i overbygningen pga. smeltevann som ikke har fritt avløp i teleløsningsperioden.»*

Det finnes flere skadetyper på vegen som er resultat av tele. Man skiller mellom teleskader på grunn av dannelse av telehiv, som skjer i de kalde månedene av året. Og skader som skjer på grunn av teleløsning på vårparten, Tabell 1.

**Tabell 1 Skader på grunn av tele (Berntsen 2011).**

<b>Vinter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ekspansjonskrefter</li><li>- Telehiv, deformasjoner</li><li>- Ujevne hevinger, oppsprekking</li><li>- Frysing av vann- og avløpsrør</li><li>- Komplikasjoner ved graving i frossen jord</li></ul>
<b>Vår</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nedsatt bæreevne</li><li>- Store setninger</li><li>- Ujevne setninger</li></ul>

For å forminske skader på grunn av telehiv skal veger frostsikres. Dette gjøres ved å dimensjonere vegen for maks frostdybde på en 10 årsbasis. Frostsikringslaget øker høyden

på konstruksjonene, ved hjelp av pukk, slik at frostdybden ikke trenger ned til materialer hvor telehiv kan finne sted. Frostsikringslaget er også drenerende slik at det ikke finnes vann i konstruksjonen der frost befinner seg (Vegdirektoratet 2011). Det finnes også andre frostsikringsmetoder som lettklinker, skumplast og isolasjonsplater (XPS), i tillegg til praktiske tiltak for teleskader, se Tabell 2.

Tabell 2 Tiltak mot teleskader (Berntsen 2011).

<b>Vinter</b> - <b>Telehiv</b> - <b>Telesprekker</b>	- Fjerne, redusere telehivet - Jevne ut overganger mellom områder med ulikt telehiv - Øke motstand mot oppsprekking (armering, masseutskifting)
<b>Vår</b> - <b>Redusert bæreevne</b> - <b>Redusert framkommelighet på grusveger</b>	- Øke tykkelse av bæredyktig materiale - Gjøre telefarlig materiale mindre telefarlig/vannømfintlig - Ulike forsterkningstiltak som armering, drenering, og kantforsterkning

Grunnforholdene og variasjoner i grunnforholdene er viktige faktorer for å fastlegge dimensjoneringen av frostsikringen. Telefarlighetsklassen til materialene i undergrunnen inngår ikke i dimensjoneringen.

I 2011 leverte Vegdirektoratets «Ekspertgruppe telehiv» en rapport som svar på hvorfor nybygde veger i Norge ble ødelagt av telehiv. Denne ekspertgruppen tok opp saker som identifiserte følgende forbedringspunkter: Opplæring, krav til kompetanse, dimensjonering, krav til grunnundersøkelser, kontroll og kvalitetssikring og innskjerping av vegnormalen. (Ekspertgruppe telehiv. Vegdirektoratet 2011)



## **2.2 Telehiv**

Telehiv og dannelse av telehiv spenner et vidt spekter av forskningsområder, og forståelsen av telehiv er forklart ved hjelp av teori, laboratorie- og felt-forsøk og ved numerisk modellering. Det finnes mye litteratur om emnet, spesielt fra 1970 til 1980. Oppgaven videre tar for seg noe av litteraturen og prøver å forklare aspekter ved dannelsen av telehiv.

### **2.2.1 Historisk overblikk**

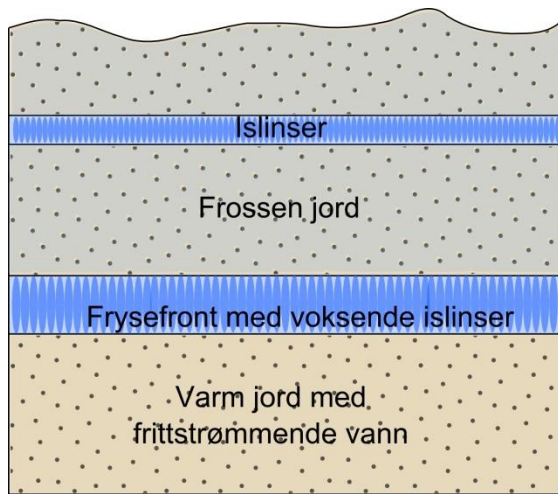
Telehiv har vært identifisert som et geoteknisk problem i snart 100 år. Allerede i 1914 påviste Simon Johansson at vann strømmer til frysefronten og anrikes i rene islag. Tidligere hadde man antatt at telehiv skyldtes volumutvidelse når porevannet i jordarten frøs til is. Taber og Casagrande fryseforsøk i 1930 årene er velkjente. Taber (1930) viste at vannets volumøkning ved frysning ikke var noe forutsetning for heving, da telehiv oppstår selv om vannet erstattes av væsker som får volum-minskning ved utfrysning. Casagrandes (1932) inndeling av jordarter etter telefarlighetsgrad ved hjelp av kornfordelingsanalyse benyttes fremdeles i mange land ved USCS, Unified Soil Classification System, som er en videreutvikling av Casagrandes telekriterium (Casagrande 1932; Norges tekniske-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens Vegvesens utvalg for frost i jord 1976). Fra 1930 til 1935 utgav Gunnar Beskow en rekke avhandlinger i forbindelse med frysning av finkornede materialer (Beskow 1935). Beskow utviklet også telekriterier basert på kornfordeling som er kjent som Beskows telekriterium (Norges tekniske-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens Vegvesens utvalg for frost i jord 1976).

I Norge er «Frost i jord-prosjektet» det største forskningsarbeidet som er gjort av telehiv og forbygning av telehivskader. Prosjektet hadde en ramme på 14 millioner 1970-kroner, (103 millioner-2012 kroner (SSB 2012)) og 100 årsverk. Prosjektet var et samarbeid mellom Norges Teknisk-Naturvitenskapelig Forskningsråd og Vegdirektoratet. Prosjektet frembrakte en betydelig viten om telehiv, både praktisk og teoretisk. Frost i jord-prosjektet resulterte i publikasjonen: Sikring mot teleskader, utgitt i 1976. Publikasjonen inneholdt blant annet anvisninger for frostsikring av fundamenter og konstruksjoner, metoder til beregning av frostdybder, fremgangsmåter for bestemmelse av materialers varmeparametere og forhold mellom klimabelastning og konstruksjoner (Norges tekniske-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens Vegvesens utvalg for frost i jord 1976).

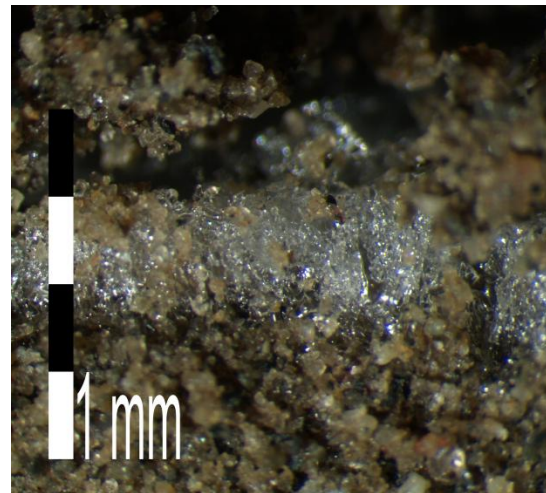
### **2.2.2 Grunnprinsipp**

Forenklet forklart skjer dannelse av telehiv ved at frost trenger ned i bakken og man får en frysefront som forflytter seg nedover i jorden. På et tidspunkt vil denne frysefronten stå stille, vann som ikke er fryst vil strømme gjennom porene i materiale opp til frysefronten, her vil flytende vann fryse og danne islinser. Disse islinsene danner et separert lag i jorden som kun består av islinser, Figur 2 og Figur 3. Disse islinsene fører til at jorden hever seg, og det er dannet telehiv. Når tilgangen på vann blir borte eller at frysefronten beveger seg fortere i jorden uten nok tilførsel på vann vil det ikke skje en dannelse av islinser, men jorden fryser. Når frysefronten igjen stopper opp og det er tilgang på frittstrømmende vann dannes

nye islinser. Nedover i jorden vil en derfor ofte se flere lag med islinser, separert med fryste lag med jord.



Figur 2 Forenklet figur av separerte lag med islinser og frossen jord.



Figur 3 Separert islag bestående kun av islinser sett i mikroskop.

De tre faktorene som må være til stede for at telehiv og islinsedannelse skal finne sted, vann, frost og telefarlig materiale, bestemmer også størrelse og hastigheten til telehivet. Det blir videre gått inn på disse tre faktorene før det blir sett nærmere på mekanismen rundt dannelsen av telehiv.

### 2.2.3 Telefarlig materiale

Telefarlig materiale består typisk av finkornig materiale. På grunn av vannoppsug i materiale som skaper telehiv er det mest telefarlige materiale silt. Dette på grunn av porestørrelse og poreradius. Leir som er et finere materiale enn silt består av små porer og en flat lagstruktur. Dette hindrer vannet i å strømme fritt i materialet og blir derfor ikke sett på som like telefarlig som silt. Størrelsen på telefarlighet blir derfor ofte sett ut fra kornstørrelse på materialet. Det finnes forskjellige kriterier for telefarlighet basert på kornstørrelse, ofte er kriteriene forskjellig fra land til land. Chamberlain (1982) listet opp 100 ulike kriterier for måling av telefarlighet, men de mest kjente kriteriene er bestemmelse av telefarlighet ut fra kornstørrelse. Chamberlain viser også til andre metoder for å definere et telefarlig materiale, blant annet ved å måle faktisk telehøyde i laboratorium (E J Chamberlain 1982). Det norske kriteriet for bestemmelse av et telefarlig materiale, Nordals telekriterium, bruker kornstørrelse som kriteriet for telefarlighet. Nordals telekriterium består av fire telefarlighetsgrupper som går fra; ikke telefarlig, T1, til Meget telefarlig, T4. Se Tabell 3. Det er andelen materiale i vekt- % mindre enn kornstørrelse 2, 20 eller 200  $\mu\text{m}$ , som bestemmer telefarlighetsgruppen.



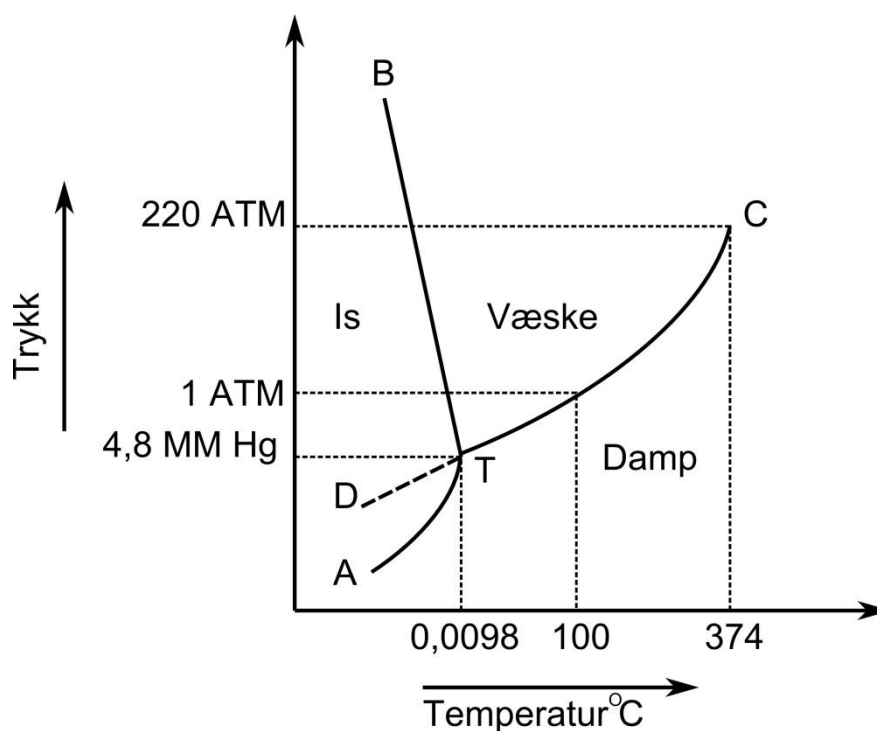
Tabell 3 Nordals telekriterium (Vegdirektoratet 2011).

Telefarlighetsgruppe	Av materiale < 22,4 mm		
	< 2µm	Vekt- % < 20µm	< 200µm
Ikke telefarlig T1		< 3	
Litt telefarlig T2		3 – 12	
Middels telefarlig T3	1	> 12	< 50
Meget telefarlig T4	< 40	> 12	> 50

<sup>1</sup> Også jordarter med mer enn 40 % < 2µm regnes som middels telefarlig T3

## 2.2.4 Vann

Vann forekommer normalt i tre faser: is, væske og damp. Hvilke fase vann forekommer er avhengig av trykk og temperatur. Figur 4 viser fasediagram for vann ved normale trykk og temperaturer.



Figur 4 Fasediagram for vann ved normal trykk og temperatur. Gjengitt etter Noss (1978).

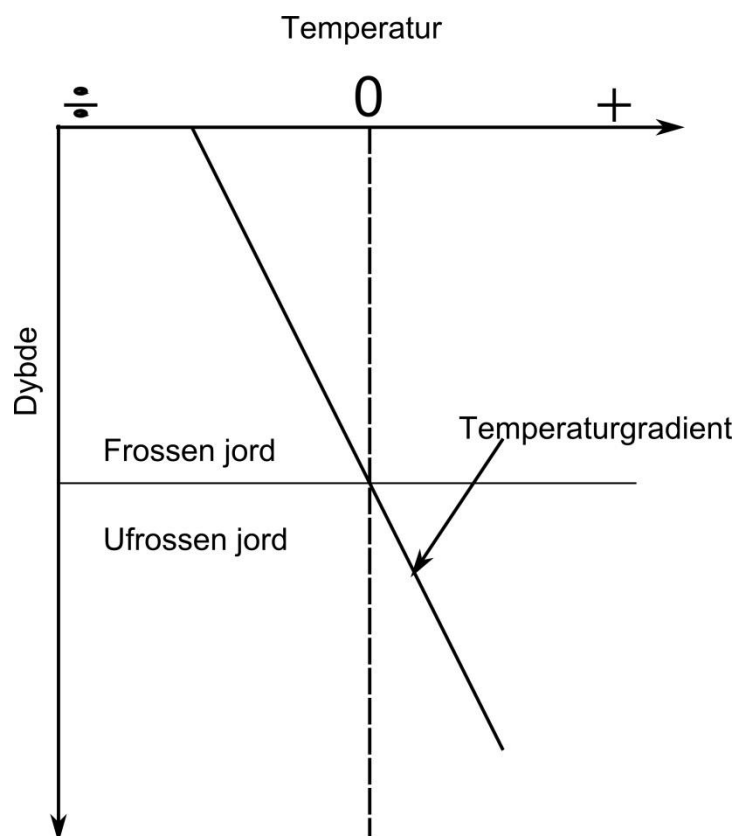
Linjene i diagrammet viser likevekten mellom fasene. Linje TC, gir vanndamptrykk for flytende vann opp til det kritiske punktet C. Ved høyere temperatur enn ved punkt C, inntreffer ikke kondensasjon ved noe trykk. Linje TA viser temperaturen hvor is og damp er i likevekt. Linje TB viser likevektslinjen mellom væske og is, det vil si smeltetemperatur for is ved forskjellige trykk. Punkt T viser likevekt for alle fasene, dette punktet kalles trippelpunkt og det er ved den trykk og temperatur hvor alle tre faser kan forekomme i likevekt. Linje TD

viser når væsken underkjøles, dette betyr at vann kan forekomme som væske under frysepunktet ved 0°C. Væsken går over til is når den tilføres en krystallisasjonskjerne, som kan være en eller annen form for forurensing (Berntsen 1993).

Faseovergangen av vann fra væske til is som befinner seg i materialet er ikke årsaken til telehiv. Vann utvider seg 9 % fra flytende til fast stoff. I materialet er det som regel nok hulrom til at vannet utvides uten at jorden løfter seg betydelig. Ved dannelse av telehiv kreves det tilgang på flytende vann ved frysefronten. Med nok tilgang til vann vil frysefronten stoppe opp. Dette skjer på grunn at dannelsen av islinser ved frysefronten som avgir stor mengde energi, dette hemmer videre bevegelse av frysefronten. Ved dette punktet kan islinjene fortsette å vokse og dermed danne telehiv.

### 2.2.5 Frost

I perioder med frost vil det dannes en frysefront som forplanter seg nedover i bakken, Figur 5. Det vil si at det er kaldere i toppen av bakken en lengre ned i bakken, dette skaper en temperaturgradient. Denne temperaturgradienten er med på dannelsen av telehiv, hastigheten av frostfronten har også betydning for størrelsen av telehivet.



Figur 5 Frostfront beveger seg nedover i bakken og skaper en temperaturgradient.

I Norge bruker man frostmengde målt i timegrader som mål på frostbelastning. Frostmengden er viktig i henhold til dimensjonering av frostsikringslag. For å finne denne frostmengden benytter man månedsmiddeltemperatur. Månedsmiddeltemperatur med positivt middeltemperatur blir ikke tatt med i beregningen, som oftest høst og vår. Det

betyr at det er bare måneder med netto negative middeltemperaturer som vil ha betydning for beregning av frostmengde. Beregning av frostmengde gjøres fra denne formelen:

$$F = 730 \cdot \sum v_{\text{måned}} \quad \text{Formel 1}$$

*Hvor:*

*F = Frostmengde i timegrader, h 0°C*  
*v<sub>måned</sub> = månedsmiddeltempertur i 0°C,*  
*som er under 0°C*

Variasjonene over år og sted er betydelig for frostmengden. For hver kommune i Norge er det derfor tatt ett gjennomsnitt over middeltemperaturer de siste 30 årene. I håndbok 018 finnes verdier for frostmengde. Eksempler på frostmengde  $F_{10}$ , som er frostmengden som overskrides statistisk sett 1 gang i løpet av en 10-års periode: Trondheim 14 000 h 0°C, Bergen 3000 h 0°C og Kautokeino 65 000 h 0°C (Vegdirektoratet 2011). Andre lokale forhold som påvirker frostmengden kan være: Topografi, vindforhold og avstand til hav som ikke fryser (Hoff 2011).



## 2.3 Telehivmekanismene

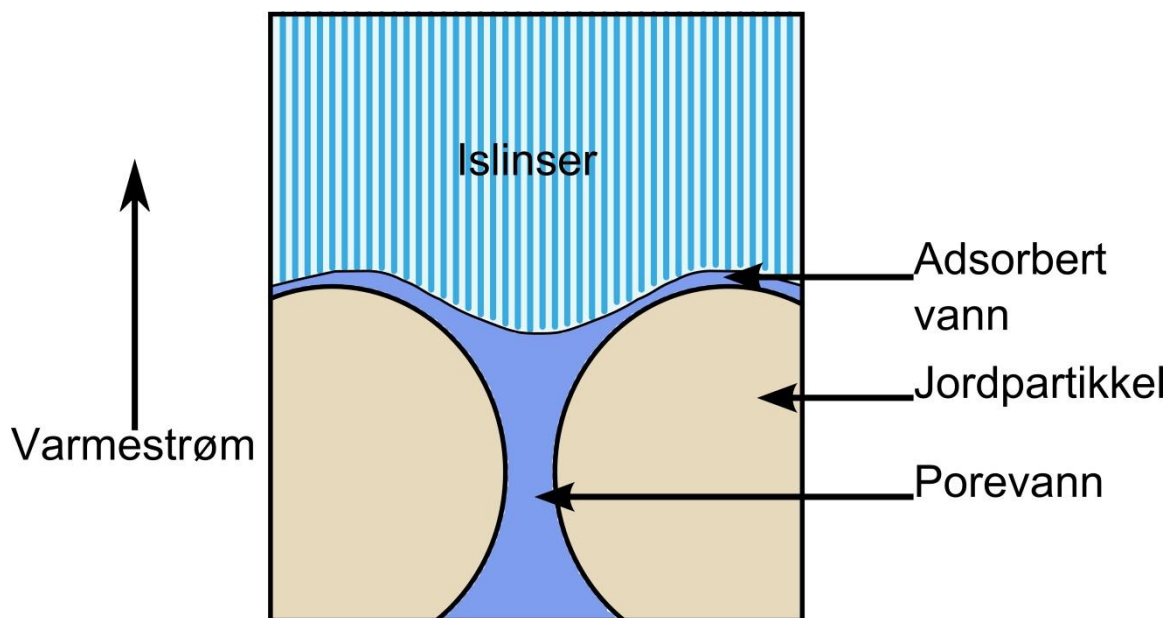
Det er sammenhengen og forholdene mellom de tre hovedfaktorene som nå er gjennomgått; frost, telefarlig materiale og vann som er med på å bestemme om det blir dannet telehiv og størrelsen på telehiven. Det er fire hovedteorier som prøver å forklare mekanisme rundt dannelse av telehiv. Det er her valgt å gå spesifikt inn på mekanismen som driver vann opp til frysefronten hvor islinsedannelsen skjer. De fire teoriene som her blir gjennomgått er:

- Kapillær teori
- Sekundær telehiv
- Absorptivt
- Osmose

### 2.3.1 Kapillær teori.

Kapillær teori sier at telehivtrykket og sugeevnen som skapes ved dannelse av islins er relatert til poresystemet til materiale, Figur 6.

Edward Penner (1959) fant ut at fuktighetspotensialet i jorden, jordens evne til å suge, utvikles som et resultat av frysepunktsnedsettelse (*eng: Freezing point depression*). Og at man får et høyere sug i jordarter med små porer enn i jordarter med store porer. Dette skjer på grunn av at man får en senkning i frysepunktet som er relatert til kurvaturen i vann/is grenseflaten, (*eng: ice/water interface*) (Penner 1959).



Figur 6 Utsnitt av jordpartikler med en pore fylt med porevann som forsyner islinsene. Gjengitt etter Penner (1959).

Miller med flere, konkluderte med at når man ser på radiusen av kurvaturen i is/vann grensesnittet kan man bruke termisk likevekt for å finne forholdet mellom frysepunktet og poresuget. Penner prøvde også å forklare fenomenet på denne måten, hans avhandlinger

førte til at Everett og Haynes kom opp med likevektsformel for kapillært sug ved isvekst (E J Chamberlain 1982):

$$p_i = p_u + \frac{2\sigma_{i,v}}{r_{i,v}} \quad \text{Formel 2}$$

*Hvor:*

$P_i$  = Trykket ved bunn av islinsen

$P_u$  = Poretrykket i vann

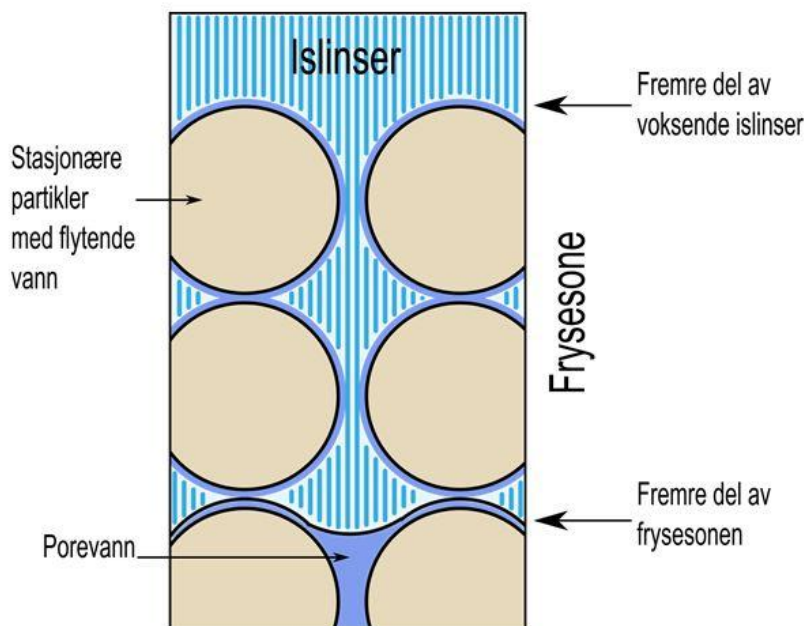
$\sigma_{i,v}$  = Overflate spenning i is/vann grenseflate

$r_{i,v}$  = Radius av is-vann grenseflate

Ved hjelp av Formel 2 kan en finne trykkforskjellen i bunnen av islinsen og i porevannet. Denne trykkforskjellen fører til et sug som tilfører vann til islinsen. Formel 2 viser at trykkforskjellen som blir dannet er relatert til overflatespenningen i is/vann grensesnittet og radiusen av is/vann grenseflaten. Bestemmelsen av radiusen av is/vann grenseflaten er vanskelig å bestemme, og forklaringen stemte dårlig med faktiske forhold (E J Chamberlain 1982).

### **2.3.2 Sekundær telehiv**

Sekundær telehiv er en videreutvikling av kapillær teori, som også ser på trykkforskjeller. Miller (1972) var uenig teorien til Penner og mente at teorien fungerte bare på isnåler som blir dannet på overflaten, uten overliggende trykk. Miller mente at ved sekundær telehiv, begynner dannelsen av is å skje i porene ved ubevegelige jordpartikler rett under islinsene. Han kalte dette området for «frozen fringe», oversatt på norsk som frysesone og overgangssone, Figur 7. I dette området blir både is og vann transportert (Miller 1972).



Figur 7 Utsnitt av vann/is grenseflaten, hvor det befinner seg et område kalt for frysesone (eng: *Frozen fringe*). Gjengitt etter Chamberlain (1982).

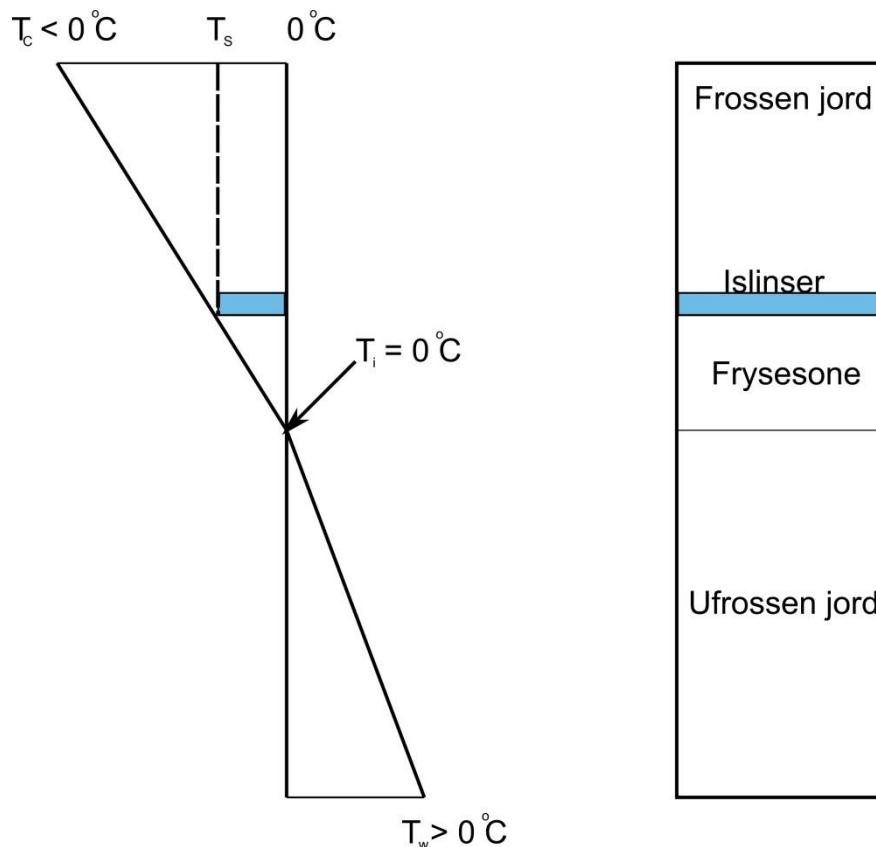
Miller benyttet Clausius-Clapeyrons ligning, for å forklare trykkforskjellen som blir dannet ved bunnen av islinsen og i porevannet, ved å bruke denne ligningen slapp Miller også å benytte radiusen av is-vann grenseflaten som gjorde kapillær teorien unøyaktig:

$$\frac{p_u}{\rho} = \frac{p_i}{\rho_i} + \left(\frac{L}{K}\right)T \quad \text{Formel 3}$$

Hvor:

- $P_i$  = Trykket ved bunn av islinsen
- $P_u$  = Poretrykket i vann
- $\rho$  = Tetthet av vann
- $\rho_i$  = Tetthet av is
- $L$  = Latent varme for faseovergangen
- $K$  = Absolutt frysepunkt av vann
- $T$  = Frysetemperatur av porevann

Teorien til Miller ble videreutviklet av Konrad og Morgenstern (1980). De delte jorden inn i en passiv sone som var den fryste jorden, og en aktiv sone som var den ufryste delen, illustrert i Figur 8.



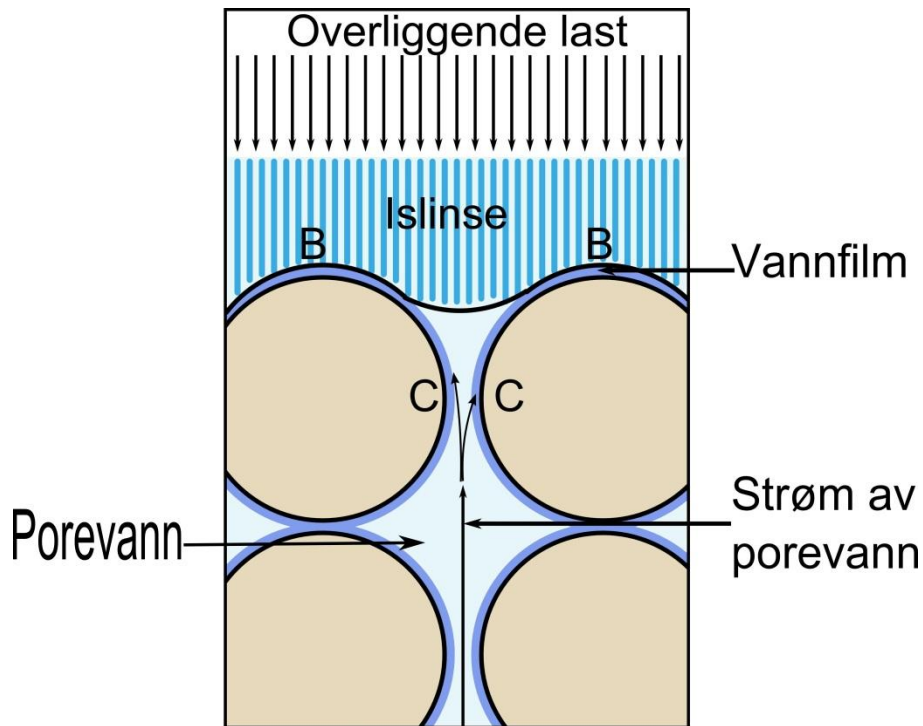
Figur 8 Temperatur ved dannelse av islinser. Gjengitt etter Jean-Marie Konrad & Morgenstern (1980).

Figur 8 viser temperaturer ved dannelse av islinser.  $T_s$  er temperaturen ved bunn av islinser, som også er toppen av frysesonen. Dannelse av islinser starter og formeres i frysesonen, så den varmeste temperaturen der en islinse kan bli dannet er  $T_i$ , som er bunn av frysesonen.  $T_c$  viser kaldt område (passivt område) som viste seg å ha liten betydning for telehiv i jord. Mens  $T_w$  viser varmt område (aktivt område), som begynner ved  $T_s$  og har stor betydning for dannelse av islinser.

### 2.3.3 Adsorpsjons-modellen

En annen teori som skiller seg ut fra de to foregående er adsorpsjons-modellen. Takagi (1980) mente at den primære årsaken til telehiv er dannelsen av «fasthetsaktig-spenningen» (*eng: Solid-like stress*) i den ufryste vannfilmen mellom is og jord partikler, Figur 9. Denne «fasthetsaktig-spenningen» kommer fra den overliggende lasten. Telehivtrykket er bestemt fra «fasthetsaktig-spenning» inne i vannfilmen, og den kan ikke overgå trykket som er påtvunget av materialet som ligger over en voksende islinse. Dannelsen av denne «fasthetsaktige-spenningen» i vannfilmen senker frysepunktet i vannfilmen, dette kaller Takagi for den segregerte frysetemperaturen (*eng: segregation freezing temperature*).



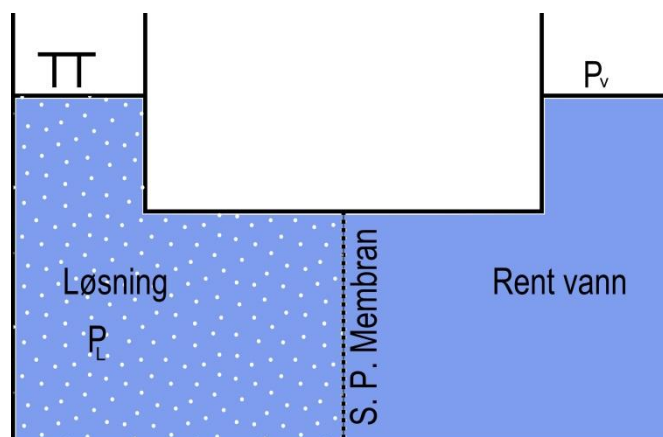


Figur 9 Islinsedannelse på vannfilm. Gjengitt etter Takagi (1980).

Den fryste vannfilmen prøver å gjenopprette tapet av vannfilmen ved at det skapes en spenningsgradient i vannfilmen nær punkt B og C, Figur 9. Denne spenningsgradienten oppstår på grunn av fryst is, og skaper en sugekraft som drar porevann til frysefronten. Hvis jordpartiklene forblir stasjonære vil vann strømme til frysefronten og islinsene vokse (E J Chamberlain 1982; Takagi 1980).

### 2.3.4 Osmose

Når en vannholdig løsning er separert fra rent vann, eller en løsning med lavere konsentrasjon, av en semipermeabel membran, Figur 10. Vil rent vann diffundere gjennom membranen til løsningen med høyere konsentrasjon. Som et resultat av dette vil den potensielle energien over membranene bli redusert.



Figur 10 Osmometer, rent vann og løsning separert med en semipermeabel (S. P.) membran.  $P_v$  = trykk vann,  $\pi$  = Osmotisk trykk,  $P_L$  = Trykk løsning. Gjengitt etter Horiguchi (1987).

Det osmotiske trykket kan bli sett på som det motsatte trykket som må bli tilført løsningen for å forhindre diffusjon mellom membranen. Det er forskjellige uttrykk for å definere osmotisk trykk. Ett er uttrykt med frysepunktsnedsettelse av løsningen:

$$\pi = \frac{\rho_v L}{T_0} \Delta\bar{\theta}$$

Formel 4

Hvor:

$\pi$  = Osmotisk trykk

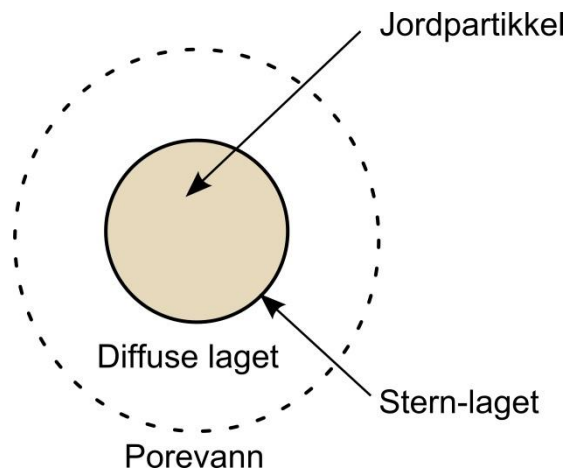
$\rho_v$  = Tetthet av vann

$L$  = Latent varme av is

$T_0$  = Smeltepunkt av is (K)

$\Delta\bar{\theta}$  = frysepunkt nedsetting av løsningen

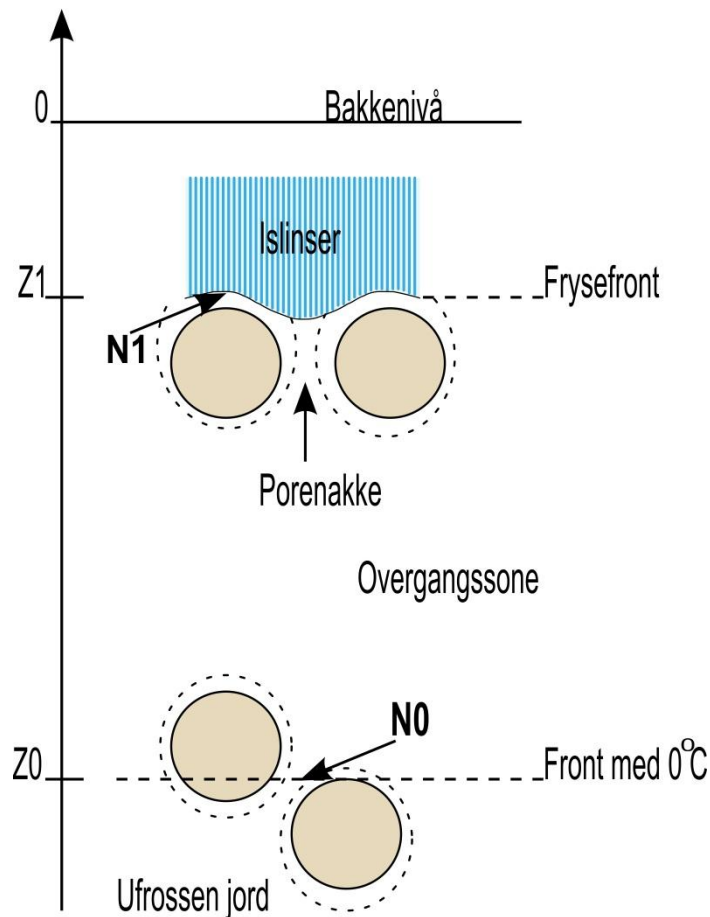
Jordpartikler har alltid en elektrisk ladning blant annet på grunn av brutte bindinger på overflaten. Jordpartikler prøver derfor alltid å trekke til seg ioner til sin overflate for å være elektrisk nøytrale. I våt jord vil dette skape et lag kjent som Stern-laget (*eng: Stern layer*). Dette laget er mer eller mindre fast på grunn av nye bindinger. Jordpartiklene vil også dannet et lag rundt dette som blir kalt for det diffuse laget (*eng: diffused layer*), Se Figur 11.



Figur 11 Jordpartikkel med Stern-lag og diffust lag. Gjengitt etter Horiguchi (1987).

Vannmolekylene i det diffuse laget er alltid under spenning. På grunn av denne spenningen fryser ikke vannet her ved 0 °C. Mengden av vannet blir redusert eksponentielt med lavere temperaturer (Horiguchi 1987).

Ved å se på frysning på jord uten ioner i porevannet, vil karakteristikken i jorden oppføre seg som forklart i Figur 12.



Figur 12 Karakteristikk av jordfrysning. Gjengitt etter Horiguchi (1987).

Islinsedannelsen skjer ved frysefronten ved Z1 hvor det befinner seg stasjonære partikler med et diffust lag og en vannfilm, N1, her er det under  $0^{\circ}\text{C}$ . Rundt de diffuse lagene finner en porevann. Frysefronten går over i en overgangssone/frysesone, som forklart i kapittel 2.3.2. I bunn vil en ha en front ved  $0^{\circ}\text{C}$ , med en typisk poreåpning, Z0, her finnes også partikler med diffuse lag. Under dette vil det være ufrossen jord (Horiguchi 1987).

Når temperaturen i N1 synker under  $0^{\circ}\text{C}$  vil vannfilmen rundt partiklene bli tynnere. Dette vil øke konsentrasjonene i vannfilmen og det blir her en lokal osmotisk konsentrasjon. I punkt N0 vil temperaturen være høyere, vannfilmen vil derfor være tykkere i dette punktet, og konsentrasjonene vil være lavere. Siden den ufryste vannfilmen befinner seg i et stasjonært område under  $0^{\circ}\text{C}$ , vil vann bare kunne bevege seg inn til vannfilmen i poresystemet. Dette gjør at det dannes en osmotisk gradient over høyden av overgangssonene, fra punkt Z0 til punkt Z1. Drivkraften for vann opp til bunnen av islinsen vil derfor være induisert av en osmotisk gradient som er avhengig av temperatur på grunn av tykkelsen av vannfilmen (Torrance & Schellekens 2006).

Den osmotiske gradienten og temperaturgradienten skaper da en trykkforskjell som ved flere utledninger av Horiguchi (1987) gir vannstrøm i materiale:

$$q_w(t) = \frac{P_s(z_1, t) - P_w(z_0, t)}{\Delta z}$$

Formel 5

*Hvor:*

$q_w(t)$  = vannfluks fra front med 0°C til frysefront

$P_s(z_1, t)$  = Totalt trykk ved frysefront

$P_w(z_0, t)$  = Porevannstrykk ved front med 0°C

$\Delta z$  = Tykkelse av overgangssone

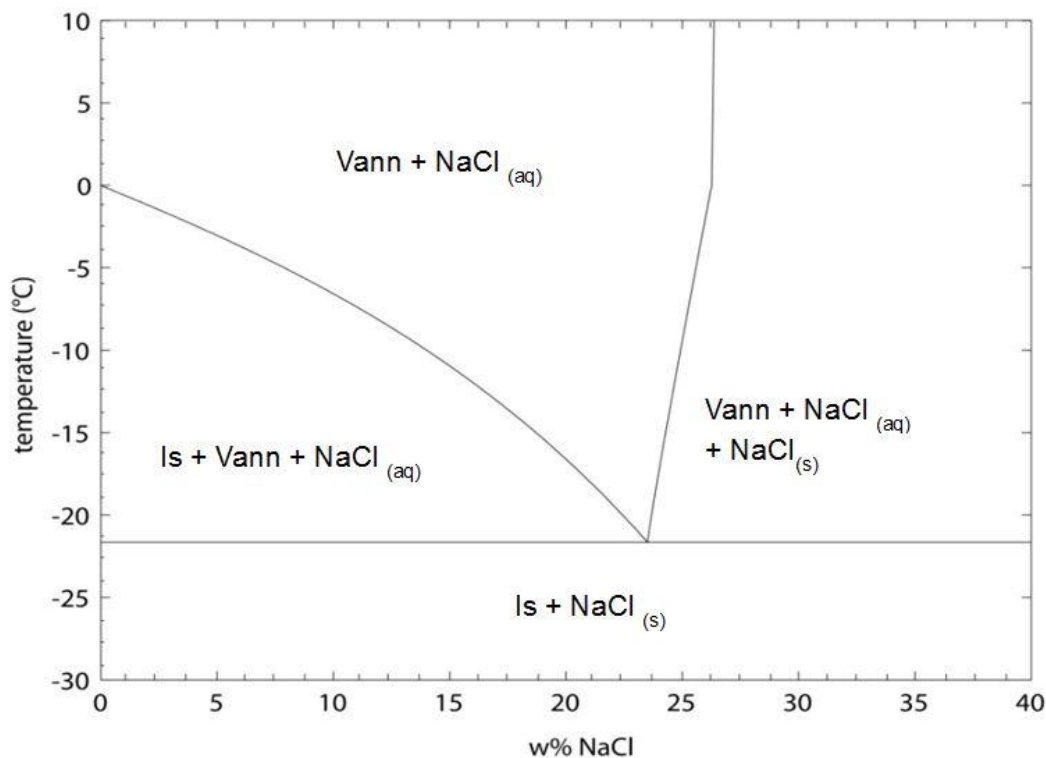
## 2.4 Salt og kjemisk påvirkning av frossen jord og telehiv

Salt påvirker flere prosesser ved frost i jord. Det finnes derimot mindre litteratur som tar for seg salts påvirkning av telehiv. Videre er salts påvirkning på flere viktige prosesser forklart.

### 2.4.1 Salts påvirkning av fryseprosessen til vann

Rent vann skifter fase fra væske til fast form ved  $0^{\circ}\text{C}$ . Ved å tilsette salt i vann forandrer man frysepunktstemperaturen. Løsningen vil da ikke fryse ved  $0^{\circ}\text{C}$ , men holder seg flytende. Dette kalles frysepunktsnedsettelse.

Et fasediagram viser hvor stor frysepunktsnedsettelsen er når man har en løsning med en viss vekt- % salt. Figur 13 viser et slikt fasediagram for NaCl-løsning. Frysepunktsnedsettelse for NaCl-løsning kan leses fra kurven som begynner ved  $0^{\circ}\text{C}$  og ender i ett eutektisk punkt ved  $-21,2^{\circ}\text{C}$ , ved 23,3 vekt- % NaCl. Under det eutektiske punktet vil løsningen fryse til is uansett hvor mye mer salt du tilsetter blandingen. I det eutektiske punktet og linjen som går videre opp viser hvor mye NaCl du kan løse i en NaCl-løsning. Her kan en finne NaCl krystaller i tillegg til NaCl løst i vann.



Figur 13 Fasediagram for NaCl-H<sub>2</sub>O. Basert på CRC (2011).

Frysepunktsnedsettelse er grunnen til at man anvender salt på veien om vinteren. Ved å tilføre salt på veien vil vannet blande seg med salt og du får en saltløsning. Denne saltløsningen kan hindre at vann fryser, og dermed unngå at vegbanen blir glatt.

Ved frysepunktet finnes det både is og vann, og det kjemiske potensialet av de to fasene er i likevekt:

$$\mu_{is} = \mu_{rent\ vann}$$

Formel 6

Kjemisk potensial er et mål på kjemisk stabilitet som kan bli brukt til å forutsi og forklare faseoverganger og kjemiske reaksjoner.

Når salt tilsettes vil det senke det kjemiske potensialet til vann uten å senke det kjemiske potensialet til is. Dette betyr at vann er mer stabilt enn is og at is vil begynne å smelte.

Ved å senke temperaturen kan man da gjenoppnå balanse i kjemisk potensial. Formelen for det kjemiske potensialet i løsningen er:

$$\mu_{is} = \mu_{rent\ vann} + R \cdot T \cdot \ln x_{l\o sning\ vann}$$

Formel 7

Hvor:

R = gass konstanten  
 T = temperatur i løsningen  
 $X_{l\o sning\ vann}$  = Mol fraksjonen  
 av vann i løsningen

Når mer salt blir tilsatt vil konsentrasjonen av vann gå ned. Dette gjør at  $X_{l\o sning\ vann}$  vil bli mindre enn 1, logaritmen av et tall lavere enn 1 er negativ. Det kjemiske potensialet av rent vann vil derfor bli lavere enn det kjemiske potensialet av is.

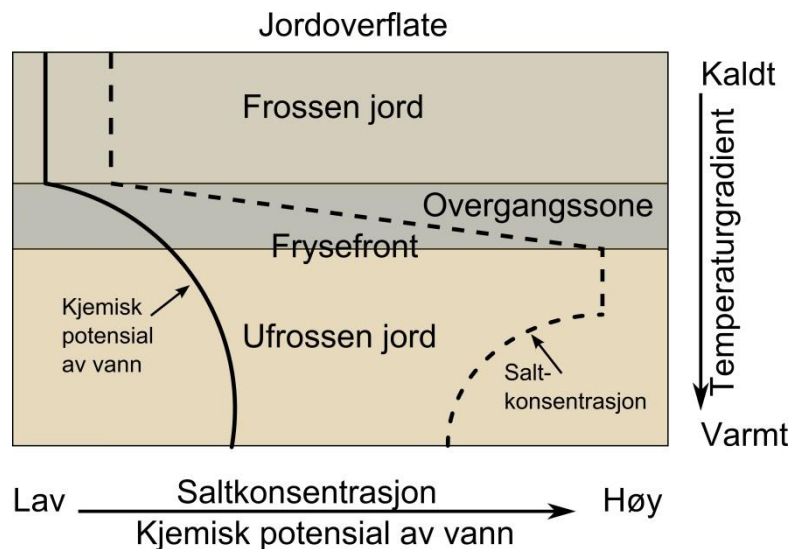
### 2.4.2 Vannstrøm

Vannstrøm (fluks) i frossen jord er viktig for fryseprosessen. Vannstrøm i henhold til dannelse av telehiv, er også forklart i kapittel 2.3. Det finnes mange drivkrefter (gradienter) for hvordan vann strømmer i frossen jord. For å vise mangfoldet er det gjengitt en tabell som er laget av Perfect et al. (1991), Tabell 4. Tabellen viser de forskjellige drivkreftene og hvordan de er delt inn.

Tabell 4 Drivkrefter for vannstrøm i porøse materialer. Gjengitt etter Perfect et al. (1991)

Drivkrefter				
Fluks	$\nabla T$ Termisk- gradient	$\nabla p_l$ Hydraulisk- gradient	$\nabla \pi$ Trykk- gradient	$\nabla \epsilon$ Elektrisk- gradient
$j_h$	Fouriers lov	Termofiltrasjon	Dufor effekt	Peltier effekt
$j_w$	Termo-osmose	Darcy's lov	Kapillær osmose	Elektro-osmose
$J_s$	Soret effekt	Revers osmose	Fick's lov	Elektroforese
$J_c$	Seebeck effekt	Strømmings potensial	Diffusjons potensial	OHM's lov

Generelt vil vann strømme fra: Varme områder til kalde områder, områder med lav konsentrasjon til høy konsentrasjon og fra områder med høy fuktighet til områder med lav fuktighet. Det kjemiske potensialet for vann sammenlignet med hydrostatisk trykk, konsentrasjon av løsninger og temperatur er med på å skape ett sterkt termodynamisk fall for flytende vann ved frysefronten, som fører til en vannstrøm, Figur 14 (Perfect et al. 1991).



Figur 14 Skjematisk tegning av fryseprosessen og potensialene til vann, salt og temperatur. Gjengitt etter Perfect et al. (1991)

Når jord fryser fra toppen og nedover i bakken vil den termiske gradienten gjøre at vann strømmer til frysefronten, Figur 14. Saltløsninger er utfelt i fryseprosessen og den høyeste konsentrasjonen av løsningen finner man derfor rett foran frysefronten, Figur 14. Denne løsningsgradienten (osmotisk gradient) vil generere en vannstrøm oppover i materialet (Marion 1995).

Løsninger kan teoretisk føre til økende vannstrøm til frysefronten på grunn av den direkte effekten på diffusjon av vann. Løsninger fører også til en indirekte effekt på grunn av frysepunktsnedsenkning, ufrossen vann kan føre til tykkere vannfilm rundt jordpartiklene. Likevel fører løsninger oftest til en forminsket vannstrøm. Løsninger har ofte en reduksjon i hydraulisk konduktivitet som er større enn de teoretiske prinsippene som fører til økt vannstrøm (Marion 1995).

Hydraulisk konduktivitet uttrykker volum væske per tidsenhet i et porøst medium. Hydraulisk konduktivitet i frossen jord avhenger av porøsitet, grad av blokkering i porer, viskositet og forholdet mellom frosset vann og fritt vann. Desto høyere vanninnhold (mer is), desto lavere hydraulisk konduktivitet (Kane 1980).

Cheverev og Vidyapin (2003) viste at den hydrauliske konduktiviteten gikk ned i den ufryste delen av materiale med økende saltinnhold av NaCl. Kay og Scott (1973) viste til at minkende telehiv utelukkende kunne relateres til minkende hydraulisk konduktivitet på grunn av konsentrasjonen av tetraalkylammonium.

Den hydrauliske konduktiviteten synker med synkende temperatur (J.-M. Konrad 1988; Ishizaki et al. 1985). Årsaken til at temperaturen påvirker hydraulisk konduktivitet er at viskositeten varierer med temperaturen (Korson et al. 1969).

Temperaturen vil også ha betydning for hvor frostfronten befinner seg. I tillegg vil temperaturen ha betydning for hastigheten til vannstrømmen. Konrad (1988) benyttet Darcys lov for å finne vannsuget. Og viser til at det gjennomsnittlige suget kan identifiseres ved vannsuget i overgangen mellom fryst og ufryst del i prøven, Formel 8:

$$P_{atm} + P_u = \frac{v \cdot l_u}{K_u} \quad \text{Formel 8}$$

Hvor:

$P_{atm}$  = Atmosfærisk trykk  
 $P_u$  = Vanntrykk i overgang mellom fryst og ufryst del  
 $v$  = hastigheten til vannstrøm  
 $K_u$  = Permeabilitet  
 $l_u$  = lengden av vannstrøm til ufryst del

### 2.4.3 Salt og telehiv

Generelt fører salt til en reduksjon i telehiv, og har blitt dokumentert i flere forsøk (Marion 1995). Beskow (1935) fant midlertidig ut at lave konsentrasjoner, < 0,05M av NaCl førte til mer telehiven, mens mer konsentrerte løsninger fører til en minskning i telehiv.

Det blitt forsket på å tilføre salt i jord for å forbedre (forminske) telehiv. Lambe og Keplar (1971) prøvde over 50 tilsetningsstoffer for å forminske telehiv. De fant to stoff som reduserte telehiv, dispersjonsmiddelet tetranatrium pyrofosfat (*eng: tetrasodium pyrophosphate*), hvor pyrofosfat er et salt av pyrofosforsyre, og aggregatet, jern klorid (*eng: ferric Chloride*). Begge stoffene reduserte telefarlighet i materiale fra Medium-Høy, til veldig lav – lav (Lambe & Kaplar 1971).

Eldin (1991) fant ut at telehiv minket med økende saltinnhold av NaCl. Han forklarte reduksjonen i telehiv med:

«Når salt blir utfelt under frysning øker det osmotiske trykket og man får en frysepunktsnedsettelse i porevannet. Dette fører til at vannfilmen rundt partiklene blir tykkere. Dette gjør igjen at den ufryste vanngradienten minker og det kapillære trykket minker som følge av Darcy's lov. Dette betyr med andre ord at salt reduserer omfanget av frysning i frysesonen ved å senke overflatespenning eller grenseflateenergien som genererer poresuget og er vesentlig for dannelsen av telehiv.» (Eldin 1991)



Se også kapittel 2.3.1, for en nærmere forklaring av kapillær teori.

Det er også utviklet teoretiske modeller for telehiv som tar hensyn til løsninger. Cary (1987) utledet denne formelen for maksimal telehivtrykk:

$$HP_{max} = 0,5(\phi T - OP)$$

Formel 9

Hvor:

$HP_{max}$  = Maks telehivtrykk i cm  
vannsøyle  
 $\phi$  = Faktor for å konvertere temperatur  
til vannsug i overgang mellom fryst og  
ikke fryst del (12 000 cm vannsøyle/ $^{\circ}$ C)  
T = Temperatur i  $^{\circ}$ C  
OP = Løsningskonsentrasjon uttrykt som  
omotisk trykk i cm vannsøyle

Formel 9 viser at telehivtrykket går ned ved økende løsningskonsentrasjon. For nærmere utledning av formel, se Cary (1987).

Sheeran & Yong (1975) har foreslått fem hypoteser for å forklare effekten av salt på telehiv, salt kan ha innvirkning på:

- Posisjonene og temperaturen på frysefronten
- Kjemiske forbindelsene til jord
- Permeabiliteten av frossen jord
- Størrelsen av vannstrømning til frysefronten
- Fryseprosessen

Den største faktoren for hvorfor salt fører til en reduksjon er at salt fører til en lavere vanntilgang ved frysefronten, her nevnes (Marion 1995):

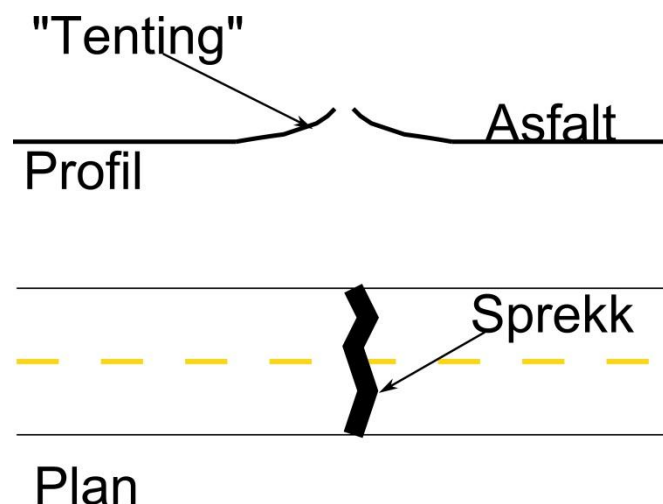
- Lavere temperaturer fører til reduksjon i jorden hydraulisk konduktivitet.
- Salt fører til en større frysese/overgangssone som fører til mindre vannstrøm ved dannelse av islinser.

Salt har betydning for dannelse av islinser. Chamberlain (1983) fant at islinser ble tynnere og lavere med salttilgang i jorden. Dannelse av slike islinser kan ha noe å si for vannstrømmen til frysese/overgangssone hvor islinsedannelsen skjer. Chamberlain forklarer dette med at islinser som ble dannet lå lavere i den aktive frysese/overgangssone, hvor temperaturen og saltinnholdet er lavere. Dette hindrer den hydrauliske konduktiviteten i den aktive frysese/overgangssone og stopper dannelse av større islinser.

Salt har også betydning for hvor frysesonene blir liggende og størrelsens på denne frysesonen. Dette har igjen betydning for det overliggende trykket for hvor islinsene blir dannet. Chamberlain viste også at saltinnholdet varierte nedover i jordprøven (E.J. Chamberlain 1983).

Guy Dore med fler (1997), viste gjennom et forsøk i laboratoriet at salt kan føre til økt telehiv. Hypotesen var å simulere en sprekk i vegene hvor salt strømmer fritt ned i jorden. Vannet nær sprekken vil da ha en større konsentrasjon av salt enn lengre ned jorden, og at dette føre til mer telehiv. Laboratorietesten besto av fire lag jord med ulike saltkonsentrasjoner (fra 0g/l til 48 g/l). Ved å fryse prøven fra siden og bunn veldig langsom (isotermisk nedfrysning) vil det ikke bli dannet en temperaturgradient, som er med på dannelsen av til telehiv. Resultatet var at det ble telehiv i de prøvene med salt, og ikke i prøvene uten salt. Dore forklarte dette med at saltgradienten erstatter temperaturgradienten, og at denne saltgradienten blir en drivmekanisme for dannelse av telehiv. Testen viste også at jord som ikke ble sett på som telefarlig kunne bli telefarlig med oppsette som ble kjørt (Dore et al. 1997).

New Hampshire Department of Transportation (NHDOT) i samarbeid med US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) utførte fra 1993-1994 et feltforsøk som så på telehiv rundt sprekker. Problemet var at i vintertiden fikk asfalten en vertikal forhøyning på hver side av sprekken på engelsk kalles dette for «tenting» eller «lipping», Figur 15. (utseende som et telt, eller en leppe.)



Figur 15 Bilde av "tenting", øverst profiltegning av sprekk, nederst plantegning av sprekk.

Målinger ble utført og det ble registrert forhøyninger som lå rundt 1cm, den største forhøyningen ble registrert til 3 cm. Det ble også utført målinger av saltkonsentrasjoner i området rundt sprekken, men det ble ikke funnet noe klart forhold mellom saltkonsentrasjon og avstand til sprekk (Kestler et al. 1999).

Forklaringen rundt «tenting» var diskutert og mulige årsaker var:

- Nedbrytning av asfalt, og andre finstoffer som renner ned i sprekken gjør materialet i sprekken mer telefarlig.
- Salt fører til en konsentrasjonsgradient, som kan erstatte temperaturgradienten. Salt fører til at materiale blir mer telefarlig.
- Større vanntilgang ved sprekk fordi salt fører til en frysepunktsnedsenkning.



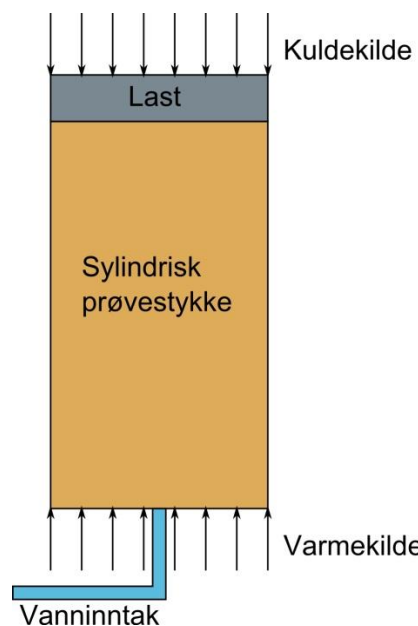
## 2.5 Målemetoder for telehiv

Det er ofte mest interessant og finne ut hvor telefarlig et materiale er. Dette gjøres for å unngå å bruke materiale som kan skade konstruksjoner. Som tidligere forklart defineres telefarlighet som oftest ved kornfordeling. Men det finnes også metoder for å måle telefarlighet i et materiale. I laboratorium gjøres dette ved å simulere de naturlige prosessene så realistisk som mulig. I felt vil man måle faktisk telehiv på valgt område. Det er i denne delen valgt å se på hvordan man kan skape telehiv i laboratorium og med dette måle telehiv. Det er også sett på hvordan man kan måle telehiv i felt.

### 2.5.1 Laboratorium

Det finnes ingen internasjonal eller europeisk standard for hvordan et telehivforsøk skal se ut, eller hvordan forsøket skal gjennomføres (Lay 2005). Likevel er det mange land som gjennomfører telehivforsøk ved å utvikle sine egne metoder, blant annet Norge. Dette kan gjøre det vanskelig å sammenligne resultater på tvers av land. Chamberlain (1982) gikk gjennom flere land sine telehivforsøk og prøvde å oppsummere disse, og hvordan landene klassifiserer telefarlighet i materiale. Mange av disse testene begynner nå å bli relativt gamle, spesielt med tanke på datainnsamling. Likevel er grunnlaget for forsøkene ganske like som før.

Telehivforsøk i laboratorium skal prøve å simulere de naturlige prosessene som frost, vannopptak og overliggende last så naturlig som mulig. Dette gjøres på forskjellige måter, men forsøkene pleier å ha en sylindrisk prøve, som står med isolasjon på siden, med en varmekilde i bunn og en kuldekilde på topp. I tillegg pleier toppen av å bestå av en last, som skal simulere vegdekke. Bunnen pleier å ha et vanninntak for å simulere vannopptak i prøven, se Figur 16.



Figur 16 Skisse av elementer i et telehivforsøk.

Dokumentasjonene pleier å bestå av å registrere vannopptak, temperatur og vertikal forflyttingen av jordprøven (Lay 2005).

I en telehivprøve er temperaturen som blir brukt viktig. Temperaturgradienten som dannes i en prøve er avhengig av temperaturforskjell ved varm og kald side og lengden av prøven. Lay (2005) samlet temperaturparametere fra 12 ulike telehivforsøk som er vist i Tabell 5. Som man ser av tabellen er det stor variasjon av temperaturer og prøvestørrelser som blir benyttet, derfor også en variasjon i temperaturgradient i prøven.

**Tabell 5** Temperaturer, prøvestørrelser og temperaturgradient i ulike test apparater. Gjengitt med omgjøring av benevninger etter Lay (2005).

	<b>Forsker eller institutt</b>	<b>År</b>	<b>Prøvestykke diameter (cm)</b>	<b>Prøvestykke høyde (cm)</b>	<b>Kald temperatur (°C)</b>	<b>Varm temperatur (°C)</b>	<b>Termisk gradient (°C/cm)</b>
1	Taber	1930	8,38	16,00	-17,00	2,50	-1,22
2	Penner	1960	15,24	7,62	NA	NA	NA
3	USACE	1970	13,97	12,70	-15,00	4,00	-1,50
4	Loch and Kay	1978	3,81	13,97	-7,00	0,50	-0,54
5	Jones	1980	10,16	15,24	-17,00	4,00	-1,38
6	Konrad	1980	NA	NA	NA	NA	NA
7	Yong and Boonsinsuk	1984	5,08	11,94	-10,00	2,00	-1,01
8	VTT	1999	9,91	9,91	-4,00	1,00	-0,50
9	Guthrie	2001	15,24	20,32	-17,00	5,00	-1,08
10	Henry	2001	9,91	14,99	-1,40	1,70	-0,21
11	Hermansson	2002	12,19	58,93	-6,00	4,00	-0,17
12	Kolisoja	2003	14,99	14,99	-3,00	1,00	-0,27

Det er viktig å danne en frysefront som står relativt stabilt i prøven, hvis dette ikke skjer kan prøven fryse tvers gjennom og dannelse av telehiv vil ikke finne sted.

I de 12 ulike telehivforsøkene som Lay (2005) undersøkte ble det benyttet ulike måter for å skape temperaturgradienten, disse var:

- Kaldt rom for å kjøle ned toppen av prøven.
- En topplate med sirkulerende kjølevæske som ligger rett på prøven.
- En elektrisk kjøleplate på toppen av prøven.

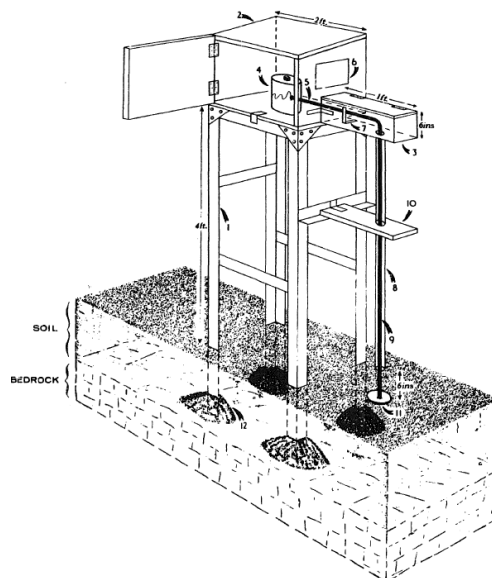
For å samle data benyttes det også forskjellige metoder. Det er i dag vanlig med elektronisk datainnsamling. Temperaturer måles ofte med termoelementer i jordprøven. For å måle telehiv benyttes LVDT (Linear variable differential transformer). Før var det vanlig å benytte kvikksølvtermometer og måleure. For å måle vannoppsug har veiing før og etter forsøk blitt mest benyttet.

Materialprøven blir som oftest plassert i en sylindrisk form som kan bestå av: Frittstående ringer, en membran eller et rør smurt med glidemiddel. Dette gjøres for at prøven kan bevege seg fritt i vertikal retning når den fryser. Prøven blir komprimert ved mekanisk komprimering, som regel etter normer fra hvilke land prøven blir testet. Prøven blir tilsatt optimalt vanninnhold med vanninntak i bunn av prøven. Optimalt vanninnhold er det vanninnhold som ved komprimering gir høyeste tørrdensitet i materiale. Prøven kan også bli utført mettet med vann, vanninntaket er fortsatt i bunn, men med et vannspeil på høyde med toppen av prøven. Det er også viktig at man kan kjøre flere prøver samtidig, da er det viktig å minske variasjoner i parameterne for ikke å få forskjellige resultater i prøvene (Lay 2005).

## 2.5.2 Felt

Kontroll av faktorer for dannelse av telehiv i felt kan gjøres på mange ulike måter blant annet ved: Måle temperatur i bakken, kontroll av værddata, oppgraving av materiale for videre kontroll i laboratorium, kontroll av fuktighet i materiale, måling av vertikale spenninger osv. Videre blir det forklart hvordan en kan måle vertikale forskyvninger i felt, forhøyning i jorden, på grunn av telehiv.

Før benyttet man seg av nivellementer og teodolitter for å måle vertikale forskyvninger i felt. Disse metodene er enkle og gir nøyaktige resultater, men krever at man fysisk må ut å måle inn hvert punkt og gir ikke en kontinuerlig måling over tid. Disse metodene blir derfor mindre benyttet i dag. Det har også blitt prøvd benyttet forskjellige metoder av LVDT festet på rammer, Figur 17 (Matthews 1967).



Figur 17 LVDT festet på ramme for kontinuerlig måling av telehiv. Hentet fra Matthews (1967).

Problemet med LVDT festet på ramme er at den er unøyaktig ved vibrasjoner og plasskrevende. Dette skaper problemer hvis man vil teste grunnen rett under en veg.

Nyere metoder for måling av telehiv i felt er metoder som: Laser, frostpinner, og DGPS. Ved bruk av laser kan man måle IRI (international roughness index) som er et mål på jevnhet av vegen. Dette kan derfor fungere godt som et mål på telehiv, da et av problemene ved telehiv er nedsatt kjørehastighet og komfort på grunn av ujevnheter i vegen. Likevel kan ikke metoden være sikker på at ujevnheten er et resultat av telehiv. Laser har heller ikke vært brukt kun for å undersøke telehiv, men brukes aktivt for å måle jevnhet.

En metode for å sjekke vertikal forskyvning er utplassering av frostpinner (*eng: Frost pins*). Frostpinner ser ut som store spikere som blir slått ned i asfalten. Frostpinner er vist i Figur 18.



Figur 18 Frostpinne som blir slått ned i veg. Hentet fra Forestry suppliers (2012)

Ved å ha et referansepunkt kan man måle inn pinnene, noe som kan gjøres ved manuelle måling med elektronisk teodolitt eller ved bruk av nærfotogrammetri. Ved hjelp av pinnene og referansepunkt kan man nå lese ut forskyvning i vegen (MnRoad 2012).

Det har blitt prøvd å bruke DGPS (Differential global positioning system) for å måle telehiv (Little et al. 2003). DGPS er en mer nøyaktig enn GPS, og kan derfor brukes til å finne små vertikale forskyvninger i bakken. Ved å sette en pinne ned i jorden og feste en DGPS antenne på toppen av pinnen er det mulig, ved hjelp av en totalstasjon, å måle den vertikale forskyvningen i bakken. Dette gjør at man kan få en kontinuerlig måling av den vertikale forskyvningen, i tillegg til koordinatene der målingen blir utført. Dette gjør at DGPS er bedre enn tradisjonelle målemetoder ved at det er tidssparende og at en dermed også har mulighet til å gjøre flere målinger. DGPS har derfor også potensialet til å måle større områder. Ulempen med DGPS er at pinnen og antenne må stå over jorden, dette gjør at DGPS blant annet ikke kan brukes i vegbanen. I tillegg er metoden ikke helt utprøvd og relativt dyr (Little et al. 2003).



## 2.6 Oppsummering

Det er gjennomgått et litteraturstudie for å prøve å besvare forskningsspørsmålet om salt har en effekt på telehiv. Det er også prøvd å finne ut hvordan den eventuelle effekten av salt virker.

Det viser seg at det er betydelig litteratur på emnet om telehiv. Det viser seg at det er mange prosesser som har innvirkning på telehiv. Blant annet finnes det studier som viser til at salt kan gi en økning i telehiv (Beskow 1935; Dore et al. 1997). Likså er det funnet flere studier som viser til mindre telehiv på grunn av salt (Sheeran & Yong 1975; Kay & Scott 1973; Lambe & Kaplar 1971; E.J. Chamberlain 1983; Eldin 1991).

Det viser seg i litteraturen at det ikke er entydige grunnleggende mekanismer og prosesser som forklarer dannelsen av telehiv. Blant annet vises det i kapittel 2.3 at vannoppsuget kan forklares både ved: Kapillær teori, sekundær telehiv, absorptivt og osmose. Disse teoriene kan kobles opp mot salt, da en for eksempel kan tenkes at salt har påvirkning på den osmotiske effekten, og skape mer telehiv. Disse fire hovedteoriene tok ikke for seg saltholdig jord.

Litteraturen viser til at salt har betydning for prosesser som inngår i dannelsen av telehiv, her nevnes: Frysepunktsnedsettelse, vannstrømning, kjemisk forbindelse til jord, hydraulisk konduktivitet.

Det er blitt beskrevet forsøk som viser til en økning av telehiv ved Dore med fler (1997). I dette forsøket ble det vist at en saltgradient kan erstatte temperaturgradient. I midlertidig viser gjennomgang av litteratur at de fleste forsøk blir utført med en temperaturgradient og denne er viktig for dannelsen av telehiv. Denne temperaturgradienten vil også finnes ved dannelse av telehiv in-situ. Denne litteraturen har vært grunnlaget for designet av laboratorieforsøket i kapittel 4.

Ved måling av telehiv i felt måler man det faktiske telehivet som skjer. Det har blant annet blitt registrert lokalt telehiv rundt sprekker, og at en årsak til dette kunne være tilsig av vegsalt i sprekk (Kestler et al. 1999). Feltforsøket som er beskrevet i kapittel 3, tok utgangspunkt i denne rapporten.

Litteraturstudiet viser dermed til at salt vil ha en effekt på telehiv, det er likevel ikke klart og entydig hvilken effekt den har. Litteraturen viser også til at salt kan føre til økt og redusert telehiv. Det gjenstår fremdeles å forske mer på hvordan eller hvilke mekanisme salt påvirker ved dannelsen av telehiv.



### 3 Feltforsøk

For å se på effekten av vegsalt, ble det valgt og gjort et feltforsøk. Videre vises bakgrunnen for forsøket og hvordan feltforsøket ble utført.

#### 3.1 Bakgrunn og avgrensninger

Bakgrunnen for feltforsøket var for å se om salt som kommer gjennom sprekker i asfalten, kan føre til lokalt telehiv rundt sprekken. Forsøket tok utgangspunkt i en rapport skrevet av New Hampshire Department of Transportation (NH DOT) i samarbeid med US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL) (Kestler et al. 1999). Rapporten hevder at man får en opphøyning av asfalten (*eng: tenting or lipping*) rundt sprekker, og at salt kan være en del av grunnen til denne opphøyningen. Rapporten er nærmere beskrevet i kapittel 2.4.3. Det har i feltforsøket blitt sett på om det finnes lokalt telehiv rundt sprekk i forhold til omliggende område. Grunnen til den lokale telehiven kan være:

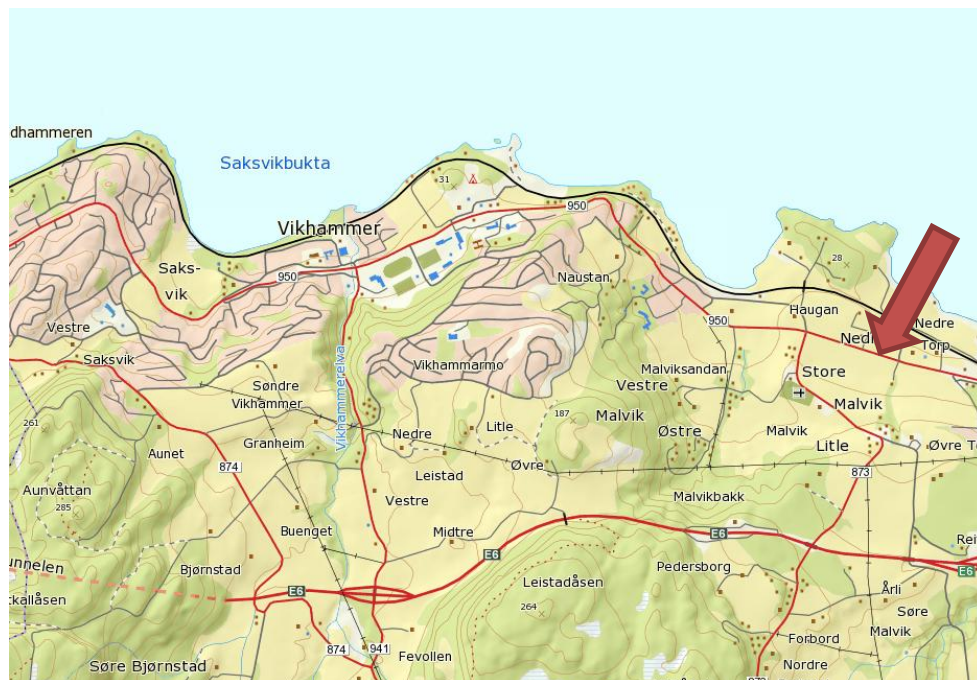
- 1) Tilsig av finstoff i vann som endrer materialet til å bli mer telefarlig. Fra piggdekk, støv eller grus og lignende.
- 2) Tilsig av vegsalt som skaper en saltgradient, som kan være en årsak til økt telehiv.
- 3) Salt gjør ikke telefarlig materiale mer telefarlig.

Forsøket ble utført på et sted som var kjent for å ha telehiv, men det var ingen registrerte problemer med «tenting» i området. Forsøket pågikk fra 1. mars 2012 til 7. mai 2012.

Det ble laget en slisse i asfaltdekke hvor bredden av slissen var omtrent 5mm. Denne slissen skulle simulere en sprekk i asfalten. Det er med dette derfor ikke sett på en naturlig laget sprekk i asfaltdekke.

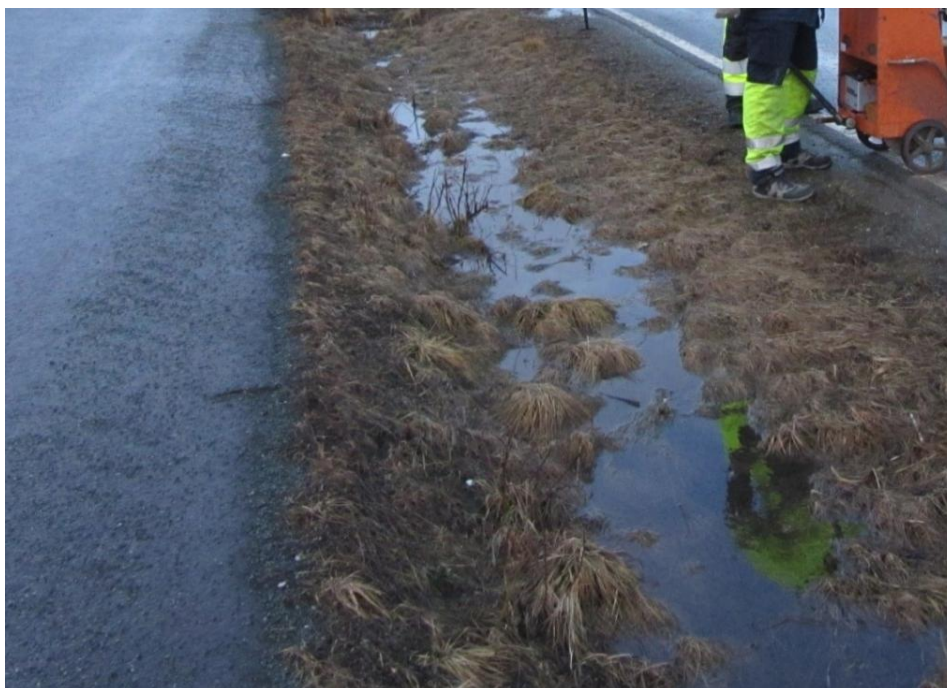
## 3.2 Området

For at forsøke skulle ha best virkning ble det valgt et område som var kjent for å ha telehiv. Området som ble valgt lå på Torp, i Malvik kommune, Sør-Trøndelag, Figur 19, rød pil. Punktet for målingen er 16 FV950 hp2 5612meter (NVDB 2012).



Figur 19 Området for telehivforsøk, markert med rød pil (Kartverket 2012).

Figur 20 viser at det var god tilgang på vann i området, da vegen lå nedenfor en bakke, som gav godt med tilsig av vann i grøfter som drenerte dårlig.



Figur 20 Stor vanntilgang fra grøfter som drenerte dårlig.

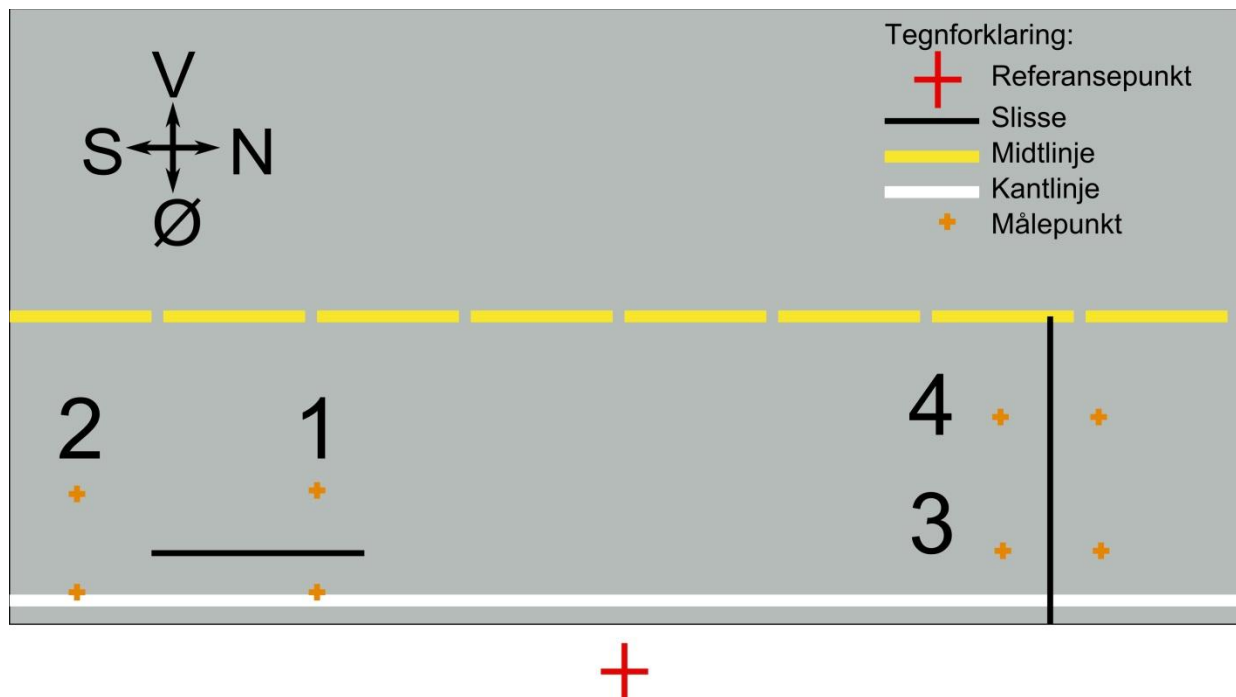
Fv950 har strategien bar veg for vinterdrift (NVDB 2012). Strategi bar veg vi si at vegen er (Vegvesen 2012):

- Normalt snø- og isfri hele vinteren.
- Vegene saltes for å holde bar veg.
- Preventiv salting gjennomføres for å unngå at vann og dugg fra lufta fryser til is og at snøen fester seg på vegbanen.

Dette betyr at vegen saltes, og at salt kan renne ned i slissen. Området har gode forutsetninger for dannelse av telehiv samtidig som den blir saltet, og vil fungere godt for forsøket.

### 3.3 Oppsett

Det ble skåret to slisser i vegbanen, en langsgående slisse på omtrent 2,5 meter og en tversgående slisse på omtrent 3,1 meter, Figur 21. Slissen som ble skåret på langs av vegen skulle simulere en langsgående sprekk. Denne slissen skulle ta opp vannet som rant ned fra midtstripen. Vannet kunne inneholde; salt, vann og/eller finstoff, som kunne være med på å skape det lokale telehivet rundt sprekken.

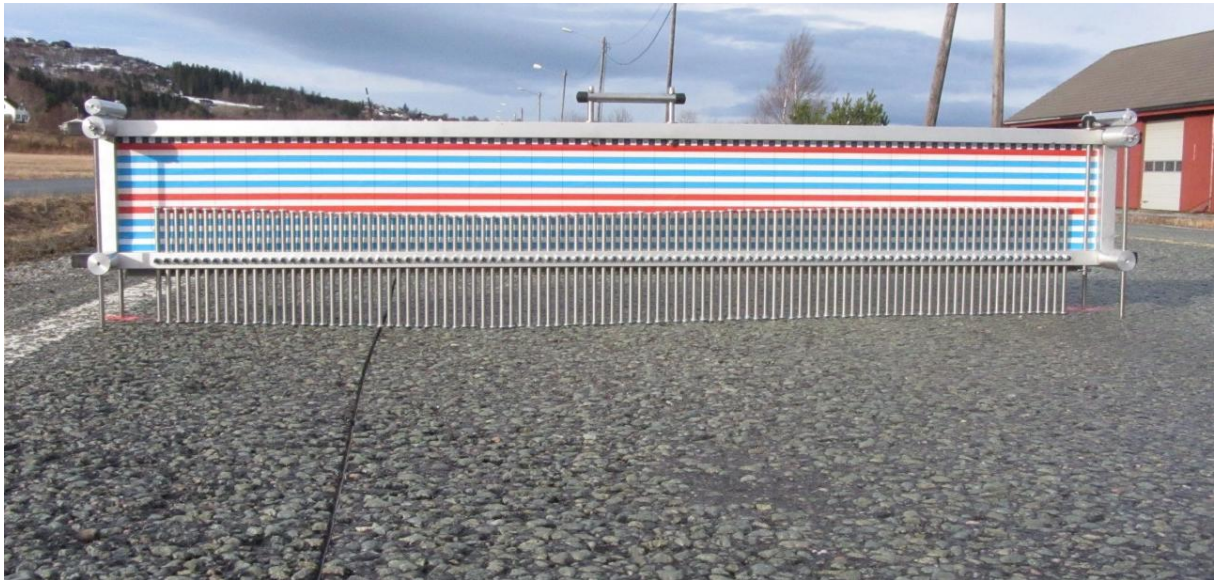


Figur 21 Plantegning av målområder og slisser.

Derneft ble det skåret en tversal slisse som gikk fra grøft til midtlinje, over en hel kjørebane. Denne skulle også ta opp vann, salt og finstoff som kunne være med på å opphøye telehiv rundt sprekken. Det var en slik sprekk som ble analysert i rapporten som var utgangspunkt

for dette feltforsøket (Kestler et al. 1999). Etter å ha skåret slissen ble det valgt fire steder for målinger, Figur 21. Målområdene ble nummerert fra 1-4.

Målingene ble utført ved bruk av apparat som vanligvis brukes for måling av spordannelse, Figur 22. Måleapparatet ble plassert i målområde med de bakerste benene i hvert målepunkt, Figur 21.



Figur 22 Måleapparat for spordannelse blir her brukt for å måle lokalt telehiv.

Apparatet er bygd med 101 pinner (lengde = 150 cm) som henger på et vinkeljern. Vinkeljernet holdes oppe av en knapp. Når knappen trykkes slippes de 101 pinnene ned på asfalten. Bak pinnene er det inntegnet et «rutenett» slik at det er mulighet til å måle hvor høyt pinnene står. Et bilde ble tatt av måleapparatet og analysert på data i ettertid, hvor hver pinne ble angitt med en høyde.

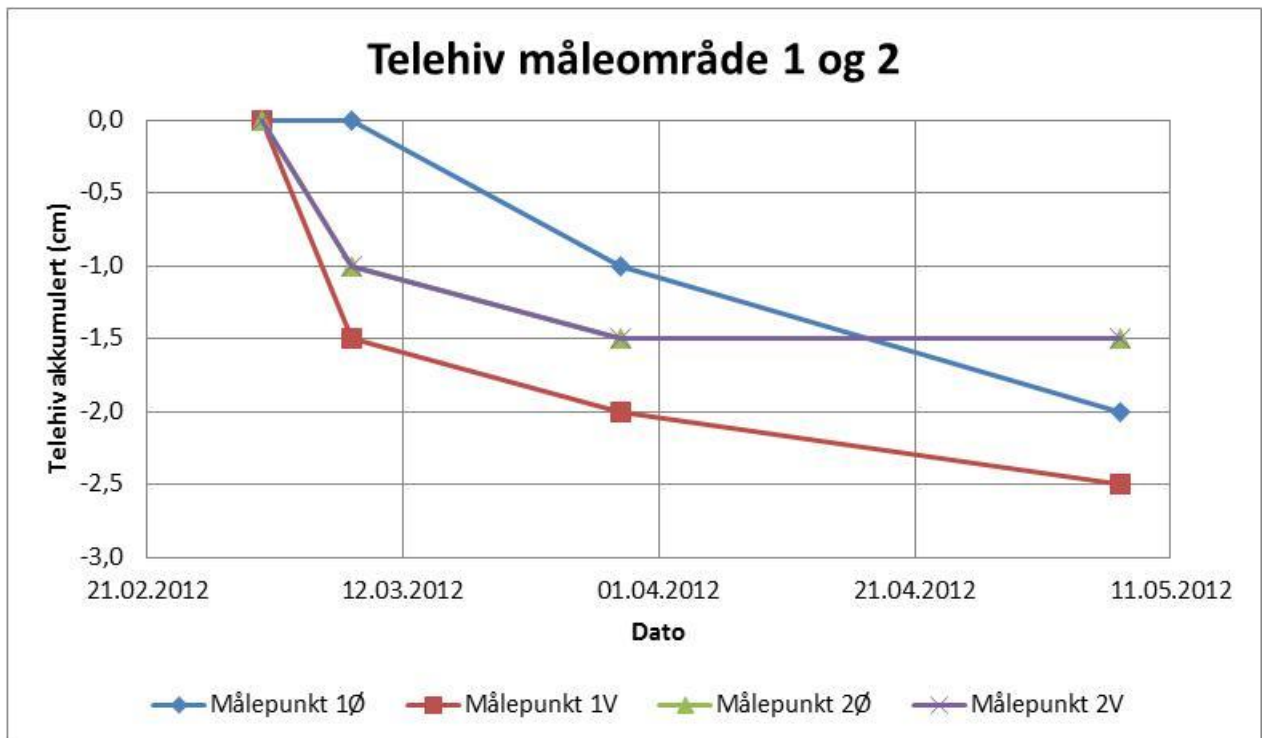
Hvert ytterpunkt ble videre målt inn med nivellement. Dette for å sjekke om alle målerverdiene går opp, altså om hele vegen får telehiv. Det ble også målt med nivellement for å se om hvert ytterpunkt på bjelken går opp eller ned i forhold til hverandre. Totalt ble det derfor 8 innmålingspunkt med nivellement i tillegg til ett referansepunkt, se Figur 21.

### 3.4 Resultater

Resultatene fra feltforsøket ved måling med nivellement og spordannelse blir her presentert. Det er også hentet ut lufttemperatur i området, ved målestasjonen i Værnes.

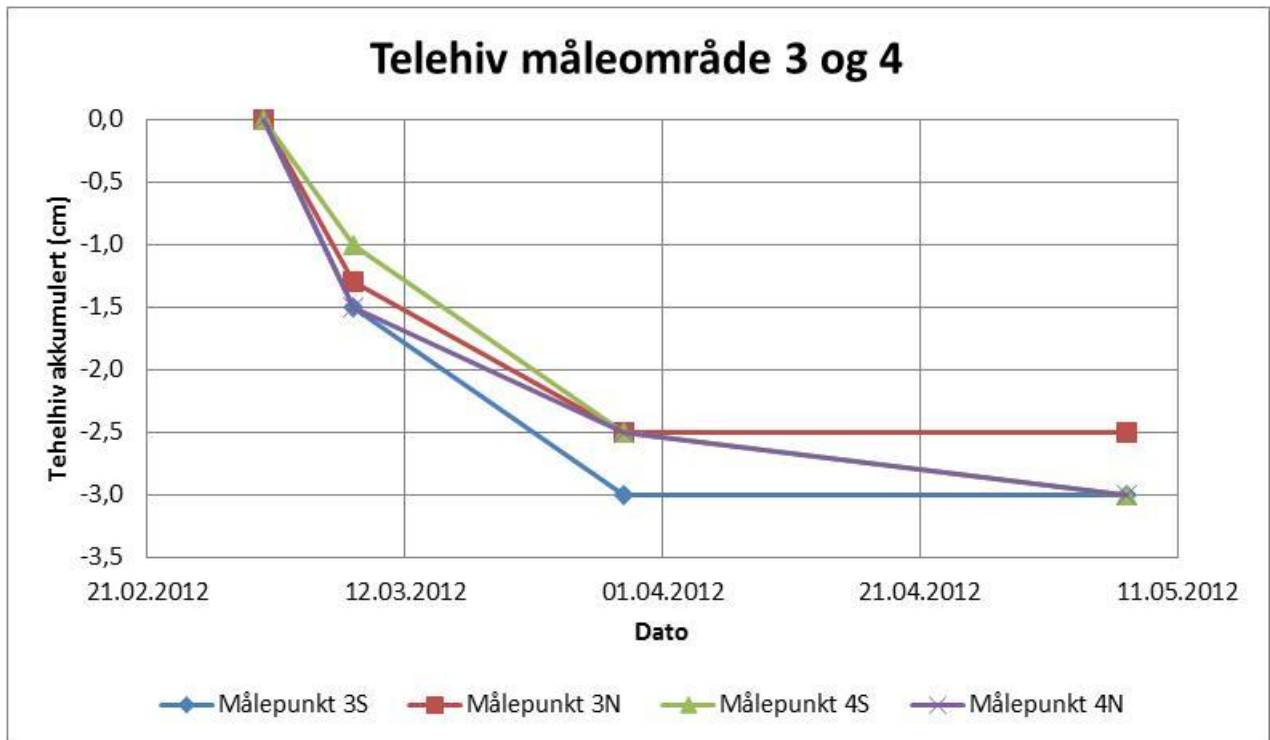
#### 3.4.1 Resultat fra nivellementet

Figur 23 viser telehiv ved målområde 1 og 2, telehivet er målt inn med nivellement i hvert målepunkt, se Figur 21. Resultatet viser at det ikke ble registrert telehiv i periode fra mars til mai. Midlertidig viser det at det har vært telehiv i området og at en hadde en tilbakegang på telehiv på 1,5 cm til 2,5 cm. Tallgrunnlaget finnes i Vedlegg 22.



Figur 23 Måling av telehiv med nivellement på målområde 1 og 2.

Figur 24 viser at målområde 3 og 4 også hadde en tilbakegang på telehiv, i størrelsesordene 2,5 cm til 3 cm.

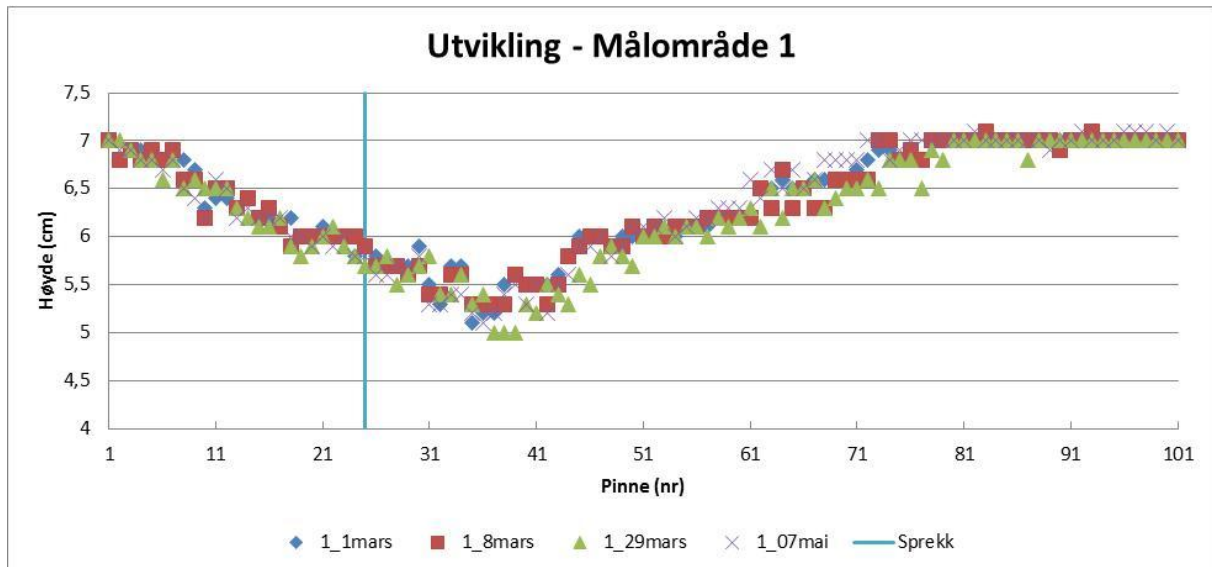


Figur 24 Måling av telehiv med nivellement på målområde 3 og 4.



### 3.4.2 Måling med spordannelseapparat

Måling med spordannelsen, som nærmere forklart i kapittel 3.3, er her vist med et eksempel i Figur 25. Eksempelet viser utvikling rundt slisse ved målområde 1 over en tidsperiode fra 1. mars til 7. mai. Y-aksen er høyden til pinnen mens x-aksen er nummeret på pinnen. Blå strek viser hvor sprekken befant seg.



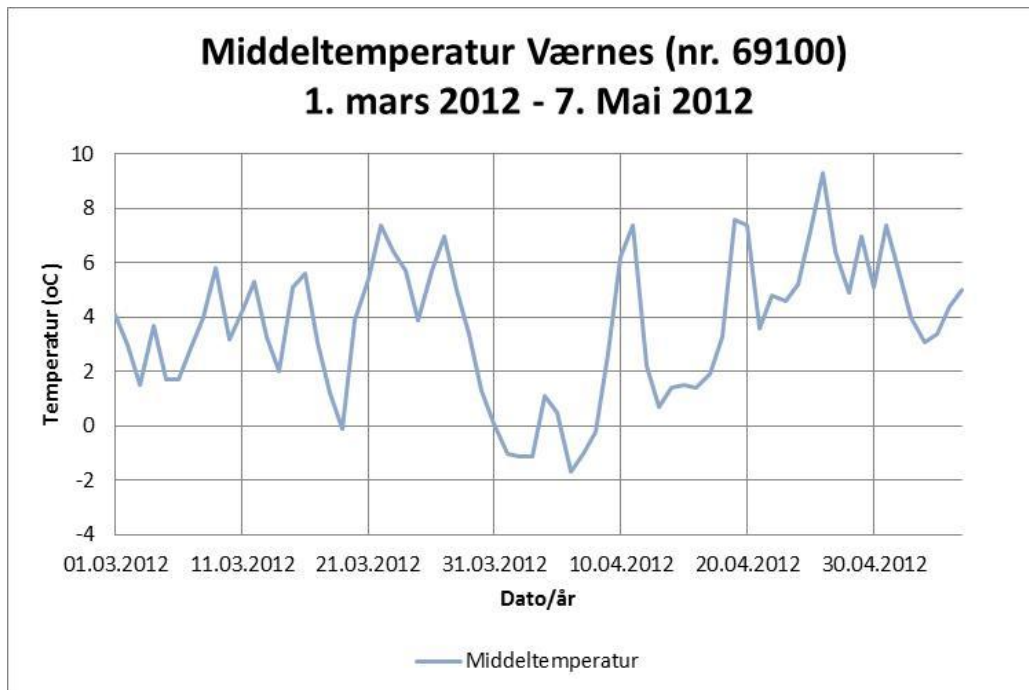
Figur 25 Utvikling av sprekk i målområde 1.

Vedlegg 23 viser utvikling av målområde 1-4. Det ble ikke registrert noen utvikling av sprekk, som grafene viser. Det vil si at sprekken holdt seg stabil i hele måleperioden fra mars til mai. Det ble heller ikke registrert noen visuelle forskjeller ved målområdene.

Målområde 1 og 2 varierer med omtrent 5mm, mens målområde 3 og 4 var mer stabilt. I hvert datapunkt er det satt en usikkerhet på  $\pm 2$  mm, på grunn av den manuelle avlesningen av bildene.

### 3.4.3 Temperaturer i prøveperiode

Ved Figur 26 ser en middeltemperatur i luft ved Værnes målestasjon, som er den nærmeste målestasjonen til området. Figuren viser at det i måleperioden fra mars til mai var to perioder med temperaturer under 0°C.



Figur 26 Middeltemperatur over døgn i prøveperioden. Tall fra Meteorologisk institutt (2012).

### 3.5 Feilkilder

En av feilkildene som ble registrert under forsøket var plassering av spordannelsesapparat. Spordannelsesapparatet er nøyaktig, og vil gi utslag på steinmaterialet i asfalten. Dette betyr at det vil ha betydning for hvor benene til apparatet plasseres. Hvis benet blir plassert litt forskjellig hver gang vil dette ha en betydning i resultatet.

Ved nivellering vil avlesning og vinkel på målepinnen ha betydning for resultatet. Dette er en feilkilde som finnes ved manuell nivellering, ved bruk av digital nivellering kunne dette vært unngått.

Ved manuell avlesning av bilder er det satt en usikkerhet på  $\pm 2$  mm. Rutenettet bak spordannelsesapparatet hadde ikke mm mål og det gjorde avlesningen mer usikker.

Under saging av slisser ble det brukt vann til avkjøling av bladet, dette kan føre til at undergrunnen blir tilført mer vann, som kan ha betydning for dannelse av telehiv. Sagingen fører også til dannelse av finstoff fra asfalten og omrøring i jorden som kan være av betydning for dannelsen av telehiv rundt sprekk.

### 3.6 Oppsummering

Området så ut til å ha gode forhold for dannelse av telehiv, midlertidig viser grafene liten eller ingen antydning til at det var noe vertikal forskyvning i slissene ved måling med spordannelsesapparat. En av grunnene er som vist at temperaturen over måleperioden ikke lå under 0 °C. Dette kommer også til syne under innmålinger med nivellement der det viste seg at telehiven i målepunktene gikk tilbake i 1,5 -3,5 cm. Midlertidig viser nedgangen at det har vært telehiv i området.

Fra slissen ble skåret til forsøket ble avsluttet var litt over to måneder. Dette betyr at det var denne perioden hvor salt, støy, grus og vann kunne renne ned i slissen. Dette er trolig en for liten periode for at det kan gi utslag på resultatene.

Det er flere parameter som kan ha betydning for resultatet. I forsøket har man ingen kontroll på: Temperatur i bakken, fuktighet i materiale, saltinnhold i materialet. Dette gjør det derfor vanskeligere å finne årsaker og sammenhenger. For å få en bedre oversikt over disse parameterne krever det derfor en mer omfattende undersøkelse.

Til slutt ser det ut at apparatet for spordannelse fungerer fint for å finne små vertikale variasjoner i vegbanen. Måling med nivellement fungerer også godt for å måle telehiv som er relativt store, innen for  $\pm 0,5\text{cm}$ . Forsøket tok kun for seg et lite område, men krevde mange målepunkter. Oppsette kan derfor ses på som litt tungvint og tidskrevende. Likevel fungerte oppsettet for målingene på området som ble valgt.



## 4 Laboratorieforsøk

Det ble utført et laboratorieforsøk for å se på effekten av salt på telehiv. Det er her forklart hvordan forsøkene ble gjennomført og resultater av forsøkene.

### 4.1 Bakgrunn og avgrensninger

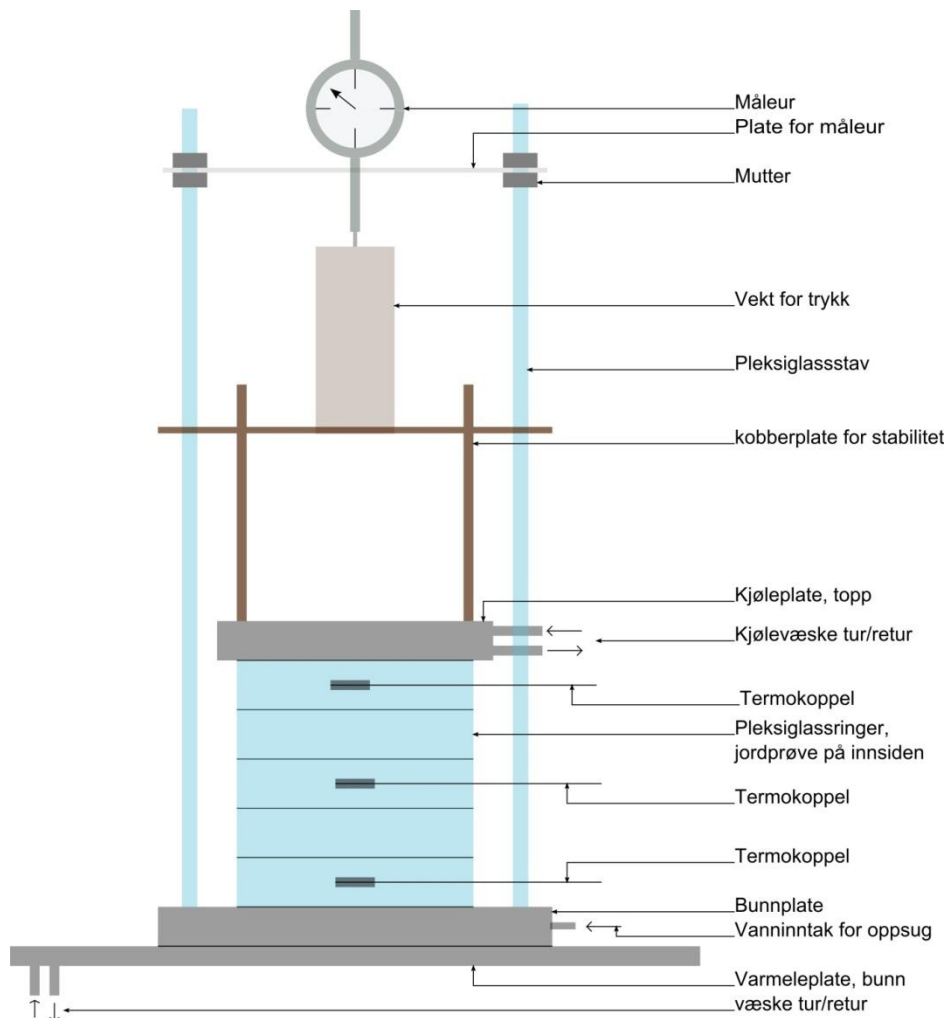
Som forklart i kapittel 2.4 kan salt ha betydning for dannelse av telehiv. Det ble derfor valgt å utføre et telehivforsøk med materiale tilsatt salt for å se på effekten av dette. Det er på forhånd gjort noen tanker på hva salt fører til:

- 1) Mengde salt som ble tilsatt prøven har utslag på hvor stort telehivet blir. Mer tilsatt salt fører til mindre telehiv.
- 2) Eventuelle islinser på samme plassering i prøven ville ha forskjellig størrelse. Islinser i prøven med salt vil være mindre enn islinser i prøven uten salt.
- 3) Telehivet skal også være relatert til den frysede delen av prøven. Det vil si at saltets påvirkning av telehivet kun har med at salt fungerer som at frysning ikke finner sted. Salt påvirker vannets frysepunktsnedsekning, og dette fører til mindre telehiv.

Det ble utført tre forsøksserier. Forsøkene ble utført med ulike temperaturer som skulle forandre temperaturgradienten. Det er kun brukt én type materiale og én type salt i alle forsøkene. I forsøket er det brukt ulike typer saltkonsentrasjoner av NaCl, men ingen saltgradient. Det er valgt å kjøre et telehivforsøk med temperaturgradient, det er derfor ikke blitt prøvd å replisere forsøket til Dore med flere (1997) hvor det ble sett på materiale tilsatt saltgradienter uten en temperaturgradient, som forklart i 2.4.3.

### 4.2 Oppsett

For en detaljert beskrivelse av forsøk, se Vedlegg 21. Forsøket går ut på å simulere en jordprøve som står i bakken under frost. Ved hjelp av en frysetopp og en varmeplate i bunn, simulere man en frostnedtrenging fra topp-ned som danner en temperaturgradient i prøven. For å danne frost brukes to kryostater som pumper kjølevæske til topp og bunnplate. Når topplaten holder  $-5^{\circ}\text{C}$ , mens bunnplaten holder  $1^{\circ}\text{C}$ , vil det dannes en frostfront omtrent midt i prøven ved et vanlig telehivforsøk. Resterende utsyr et satt opp som på Figur 27.



Figur 27 Skjematisk optegning av hvordan utstyret til prøven monteres.

Utstyret består av pleksiglassringer med jordprøve på innsiden som er 100mm høy, og indre diameter på 140 mm. Jordprøven holder optimalt vanninnhold og er kompaktert ved 100% håndholdt Standard Proctor. Tre termoelementer er plassert midt i jordprøven, ved ulike høyder, og logger temperaturer i prøven under hele forsøket. På topplaten står det en kobberplate med tre ben. På toppen av denne er det plassert en last på omtrent 6 kg. Telehiv måles med et måleur som er satt fast i fire pleksiglasstaver, måleur avleses helst tre, minimum to ganger daglig. I bunnplaten er det et vanninntak som er koblet med rør til en flaske. Flasken skal stå på samme nivå som bunnplaten, for å unngå trykkforskjeller. Det er materialet som skal suge vann. Det kontrolleres hvor mye vann som blir sugd inn i prøven under forsøketiden.

### 4.3 Simulering og forberedelser

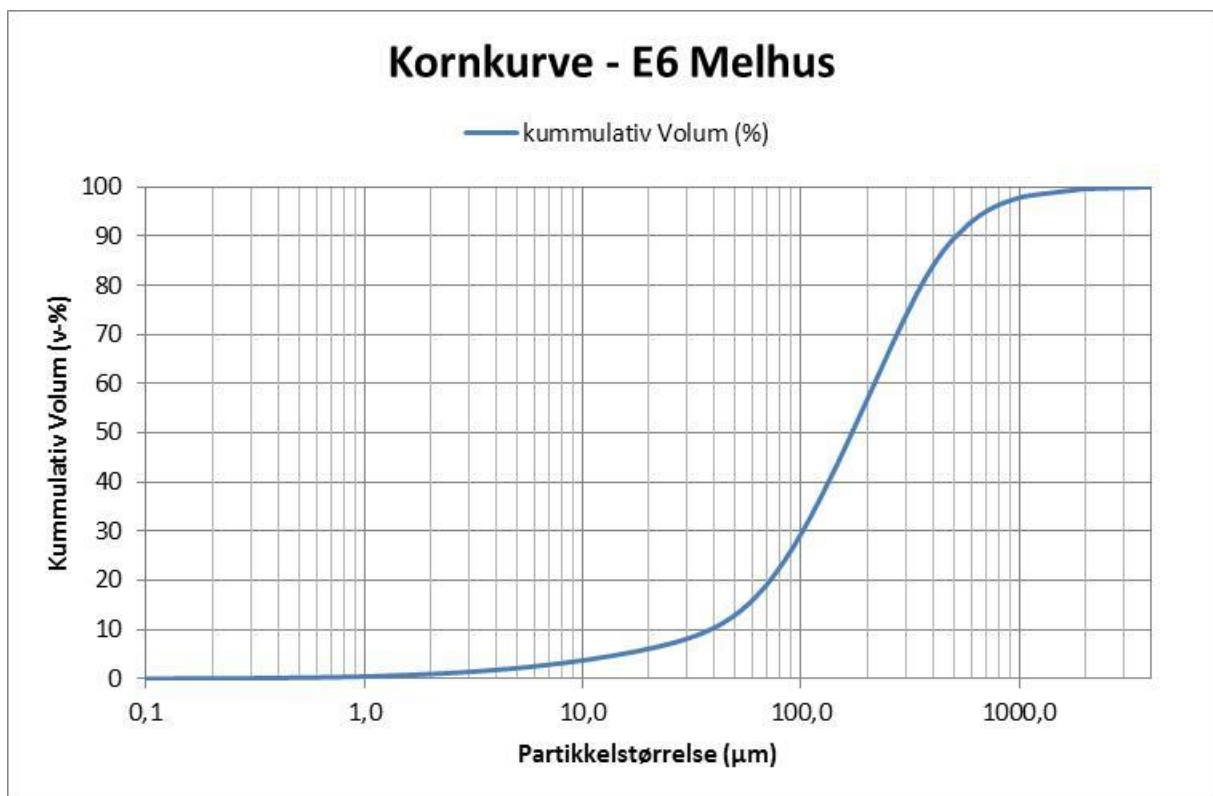
For å simulere telehiv må man ha tilgang på vann, telefarlig materiale og frost. Hvordan dette ble gjort, type vann og saltløsninger, hvilke materialtyper og temperaturområder som er brukt er beskrevet nærmere her.

#### 4.3.1 Materiale

Forsøket utføres med materialer som er telefarlig. Materialet i forsøket er hentet ved E6 Melhus. Det ble utført en sikteanalyse for å finne kornkurven til materiale, som ble sjekket opp mot Nordals telekriterium. Prøven forberedes ved optimalt vanninnhold. For å finne optimalt vanninnhold ble det utført en Modifisert Proctor.

#### Kornkurve

Telefarlighet i materialet er vurdert ut fra kornfordeling som forklart i kapittel 2.2.3. Resultatet finnes i Vedlegg 3 og her vist i Figur 28.



Figur 28 Kornkurve av materiale brukt i telehivforsøket.

Materiale ble først tørrsiktet ned til 0,5mm. Resten av prøven ble analysert ved hjelp av Coulter-analyse. Coulter er en tørranalyse som ved hjelp av laser bestemmer diameter av partikkelstørrelsen. Coulter-analysen gir som resultat diameteren til kuler av samme volum som målte partikler. Dersom formen på partikkelen avviker mye fra kuleform, vil dette påvirke resultatet (Teknologiavdeling 2009). Figur 28, skiller seg ikke ut fra andre prøvetakninger som er tatt i samme område (Malla 2005), og det er naturlig å tro at resultatet stemmer.

På grunn av Colter-analysen fikk en ikke valgt 2, 20 og 200 $\mu$ m, som er kornstørrelsene som brukes i Nordals telekriterium. Tallene som ble tatt ut er vist i Tabell 6, og er hentet fra Vedlegg 3.

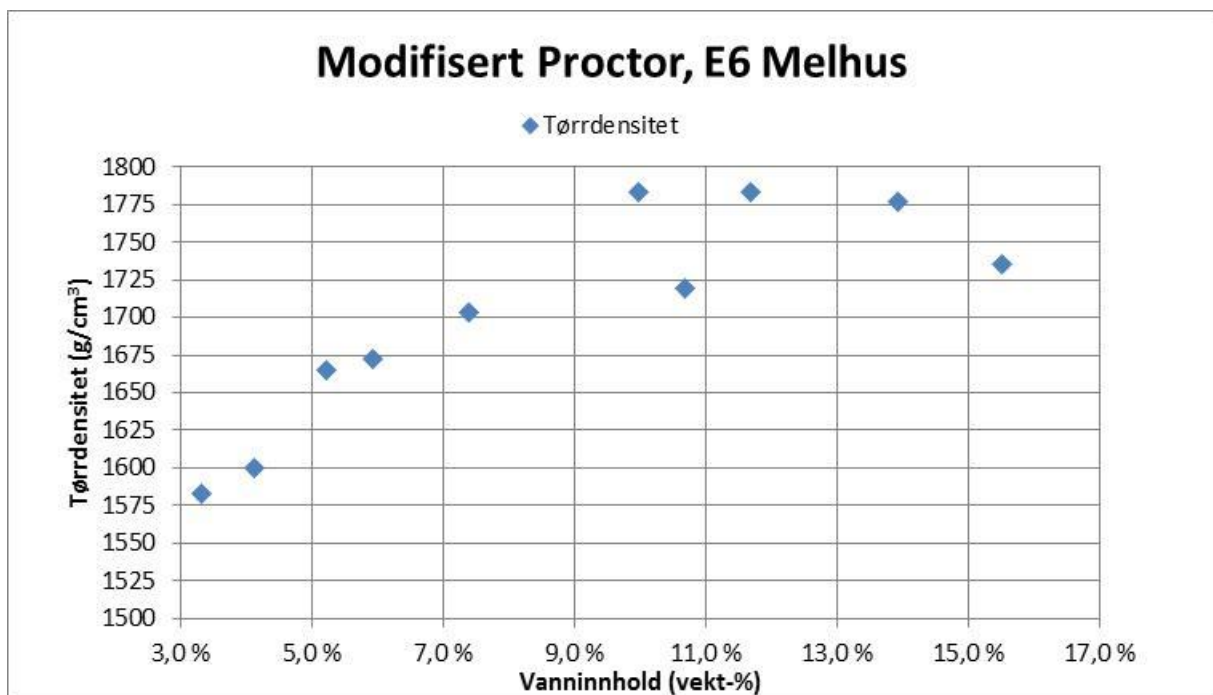
Tabell 6 Kornstørrelse og kumulativandel i % som ligger nærmest Nordals telekriterium.

Kornstørrelse ( $\mu$ m)	Kumulativ volum (v- %)
2,01	0,96
20,7	6,25
194,2	55,44

I forhold til Nordals telekriterium, se kapittel 2.2.3, er dette materiale litt telefarlig, med klassifisering som et T2-materiale. Det er derfor forventet at det dannes telehiv i prøven, men ikke av stor grad.

### Optimalt vanninnhold

For å finne optimalt vanninnhold i prøven ble det utført en Modifisert Proctor. Testen er utført etter Statens Vegvesen håndbok 014 (Vegdirektoratet 2005b). Resultatet av testen finnes i Vedlegg 2, og er her vist i Figur 29.



Figur 29 Modifisert Proctor av materialet som ble brukt i telehivforsøket.

Av Figur 29 kan en se at kurven er relativt flat fra 10 vekt- % vanninnhold. Med unntak av punktet på 10,7 v- % vanninnhold. Punktet stemmer ikke med resten av punktene på kurven, men er tatt med da det er usikkert om eller hvor feilen ligger. Et tilfelle kan være at Modifisert Proctor ikke var optimalt for denne materialtypen. Materiale består av små kornstørrelser. Når vekten ble sluppet ned i materiale reagert prøven kraftig på vekten. Et annet punkt var at prøven reagert på om vekten ble slått inntil veggen eller midt i



prøvesylindere ved de siste slagene. Disse to punktene kan ha ført til unødig omrøring i prøven. I ettertid kunne det med fordel vært utført en Standard Proctor på prøven, som har en mindre vekt enn Modifisert Proctor.

Til prøven i forsøket ble det valgt 10 vekt- % vanninnhold da denne hadde den høyeste tørrdensiteten, som er definisjonen på optimalt vanninnhold.

### Metningsgrad

Metningsgrad i jord er prosentvis hvor mye vann av totalt vann materialet kan binde.

Metningsgrad er uttrykt ved:

$$S = \frac{w}{\frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s}} \quad \text{Formel 10}$$

Hvor:

S = Metningsgrad  
 $\rho_d$  = Tørrdensitet av materiale  
 $\rho_s$  = Spesifikk densitet av materiale  
w = vanninnhold

For materiale som ble brukt blir metningsgraden, etter Formel 10:

$\rho_d = 1,703 \text{ g/cm}^3$  (se Vedlegg 2)

$\rho_s = 2,750 \text{ g/cm}^3$  Hentet fra (Malla 2005) som er lignende materiale hentet fra samme sted.

w = 10 %

$$S = \frac{10}{\frac{1}{1,703} - \frac{1}{2,750}} = 45\%$$

Metningsgraden i jorden som blir testet i telehivforsøket er på 45 %, det vil si at materiale kan binde mer vann enn det som er tilsatt ved begynnelsen av forsøket.

### 4.3.2 Vann og saltløsninger

Det ble laget ulike typer saltløsning av NaCl som ble tilsatt i jorden. Etter tilført vann sto prøven i ett døgn. Materialet trenger tilgang på vann for å danne telehiv, dette ble gjort i forsøket ved å ha en glasskolbe koblet til bunnplaten, for nærmere detaljer se kapittel 4.2. Vann til oppsug besto av samme saltløsning lik saltløsningen tilsatt prøven. Se kapittel 4.4.1 for saltinnhold i ulike prøver. Saltløsningen er oppgitt i vektprosent salt og er definert slik:

$$vekt\%_{salt} = \frac{masse_{salt}}{masse_{salt} + masse_{vann}} \cdot 100\%$$

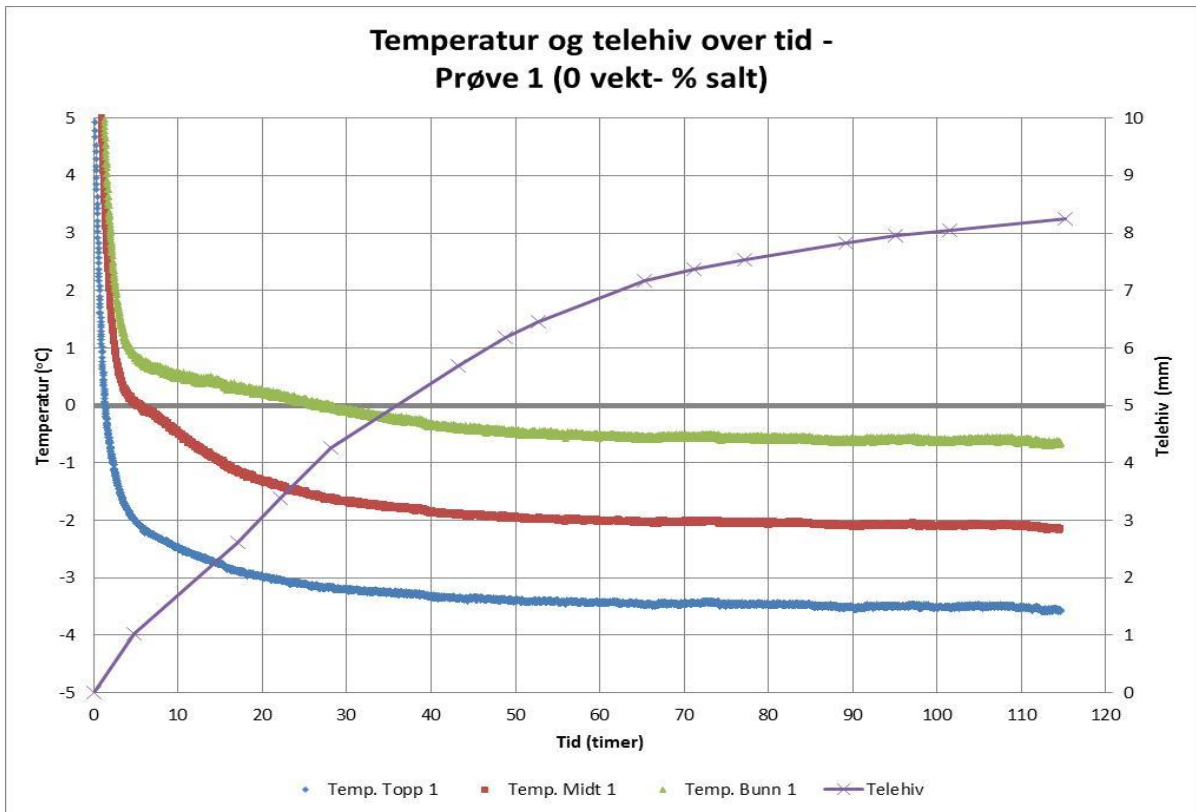
Formel 11

### 4.3.3 Frost

Ved å ha en kald topplate og en varm bunnplate vil det dannes en temperaturgradient i prøven. Ved å ha temperatur på  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  i topplaten og  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  i bunnplaten skal man oppnå en frysefront omtrent midt i prøven. Det ble brukt ulike temperaturer i forsøkene, dette på grunn av at salt påvirker frysepunktstemperaturen.

Temperaturen i prøven ble målt med Type-T termoelementer (*eng: T-type thermocouple*), som består av kobber og konstantan (Ni-Cu legering). Nøyaktigheten på Type-T termoelementer ved  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ligger rundt  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Microlink 2012). Logging ble utført ved hjelp av dataloger CR1000, og programmet PC200W.

Data blir fremstilt i en graf hvor temperaturen på topp, midt og bunn av prøven er vist, Figur 30. Temperaturmåleren i hvert lag var plassert midt i prøven. Eksempelet på temperaturmåling viser at temperaturen faller det første og andre døgnet, for så å holde seg konstant videre i perioden. Alle temperaturmålingene av prøvene er vist i Vedlegg 4, Vedlegg 8 og Vedlegg 14, for henholdsvis forsøksserie 1, 2 og 3.



Figur 30 Eksempel på temperaturmåling av prøve.



## 4.4 Resultater – Telehivforsøk

Totalt ble det utført tre telehivforsøk, forsøksserie 1-3. Prøven ble testet ved forskjellige saltinnhold og temperatur.

### 4.4.1 Forsøksserier

I **forsøksserie 1** ble det satt to prøver: Prøve 1 var tilsatt vann med 0 vektprosent salt. Prøve 2 var tilsatt vann med 1,5 vektprosent salt, Tabell 7.

Tabell 7 Data for vann tilsatt prøver i forsøksserie 1.

Prøve (nr)	Vanninnhold (vekt- % av tørrmasse)	Saltinnhold i tilsatt vann (vekt- %)	Frysepunktsnedsettelse (°C)
1	10	0	0
2	10	1,5	-0,8872

Prøven sto i fem døgn. Prøvehøyden var 120 mm høy.

I **forsøksserie 2 og 3** ble det satt fire prøver med ulike saltinnhold, se Tabell 8.

Tabell 8 Data for vann tilsatt prøver i forsøksserie 2.

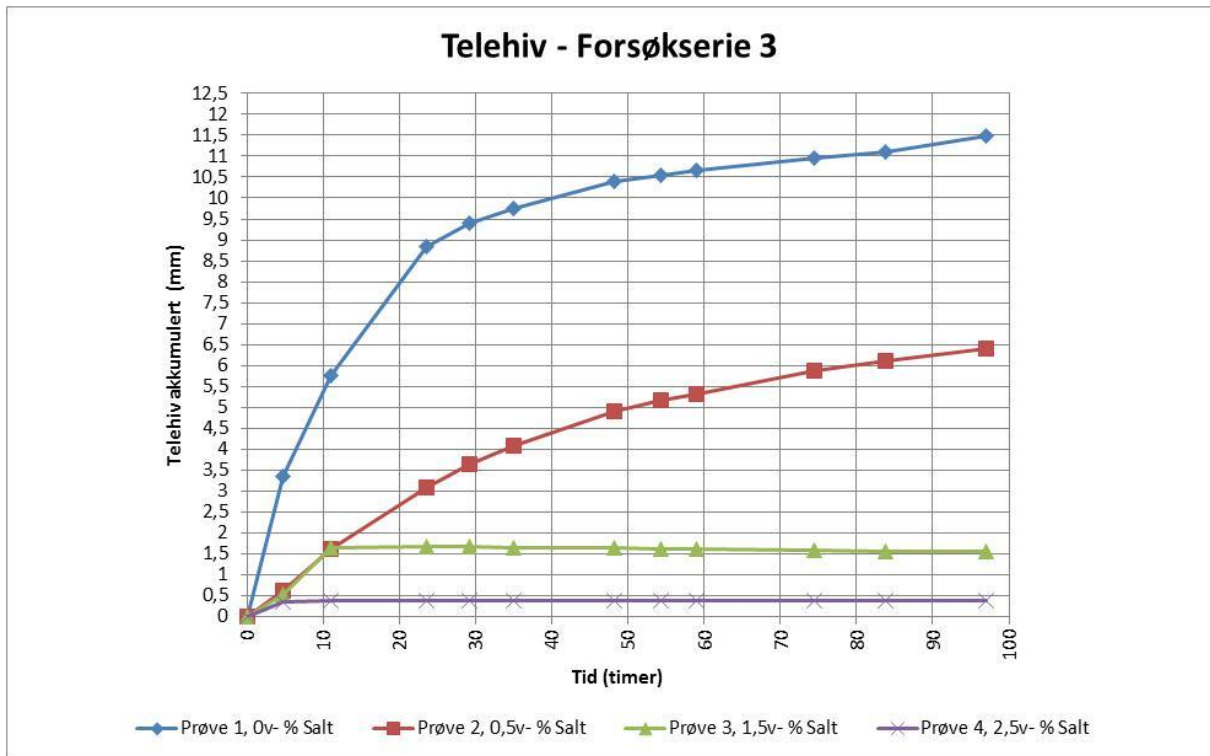
Prøve (nr)	Vanninnhold (vekt- % av tørrmasse)	Saltinnhold i tilsatt vann (vekt- %)	Frysepunktsnedsettelse (°C)
1	10	0	0
2	10	0,5	-0,2881
3	10	1,5	-0,8872
4	10	2,5	-1,4922

Prøvene var 100mm høy og sto i 4 døgn.

Temperaturen i forsøksserie 2 ble justert to ganger i løpet av forsøket. Dette kan ses av graf i Vedlegg 8. Prøvene i Forsøksserie 3 ble plassert i andre kammer enn i Forsøksserie 2, dette for å unngå temperaturvariasjoner i hvert kammer. Temperaturen i forsøksserie 3 var også lavere enn forsøksserie 2 under hele forsøket.

#### 4.4.2 Telehiv

Figur 31 viser telehiv i forsøksserie 3. Figuren viser at telehiven minker med økende saltinnhold. Telehivet er størst i prøven uten salt. I prøven med 0,5 v- % salt er det også tegn til telehiv. I Prøvene med mest salt, 1,5v- % og 2,5 v- %, er det kun er reaksjon i starten av forsøket.



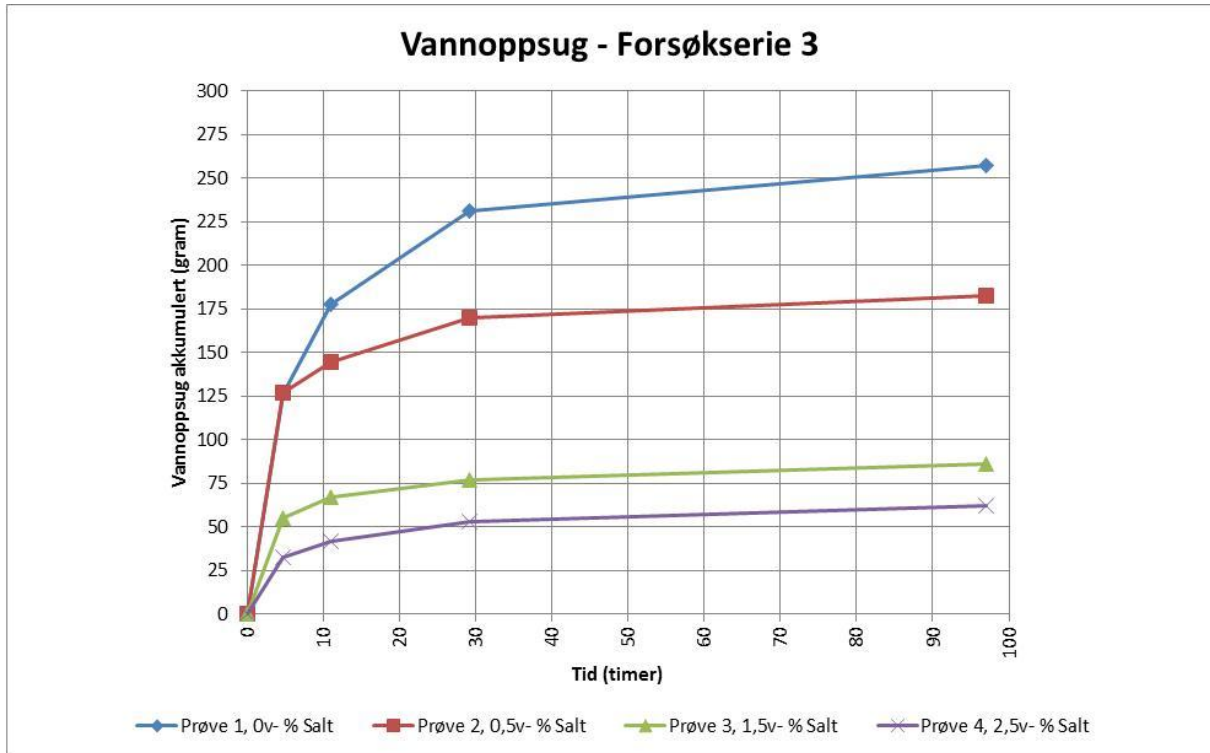
Figur 31 Telehiv i forsøksserie 3.

Forsøksserie 1 og 2, se Vedlegg 6 og Vedlegg 10, viser samme tendens som i Figur 31. I forsøksserie 2 ble det derimot mindre telehiv i prøven med 0,5 vektprosent salt, enn i forsøksseriene 3.

Vedlegg 4, Vedlegg 8 og Vedlegg 14, viser telehiv plottet i samme graf som temperatur for henholdsvis forsøksserie 1, 2 og 3. Av dette kan en se en tendens til at det meste av telehivet skjer i den første tiden av telehivforsøket, de første 24 timene. I de første 24 timene av forsøket er ikke temperaturen helt stabilisert.

### 4.4.3 Vannoppsug og vanninnhold

Figur 32 viser vannoppsuget i prøvene i forsøksserie 3. Av figuren kan en se av vannoppsuget minker med økende saltinnhold. Figuren viser også at vannoppsuget avtar etter omtrent 30 timer.



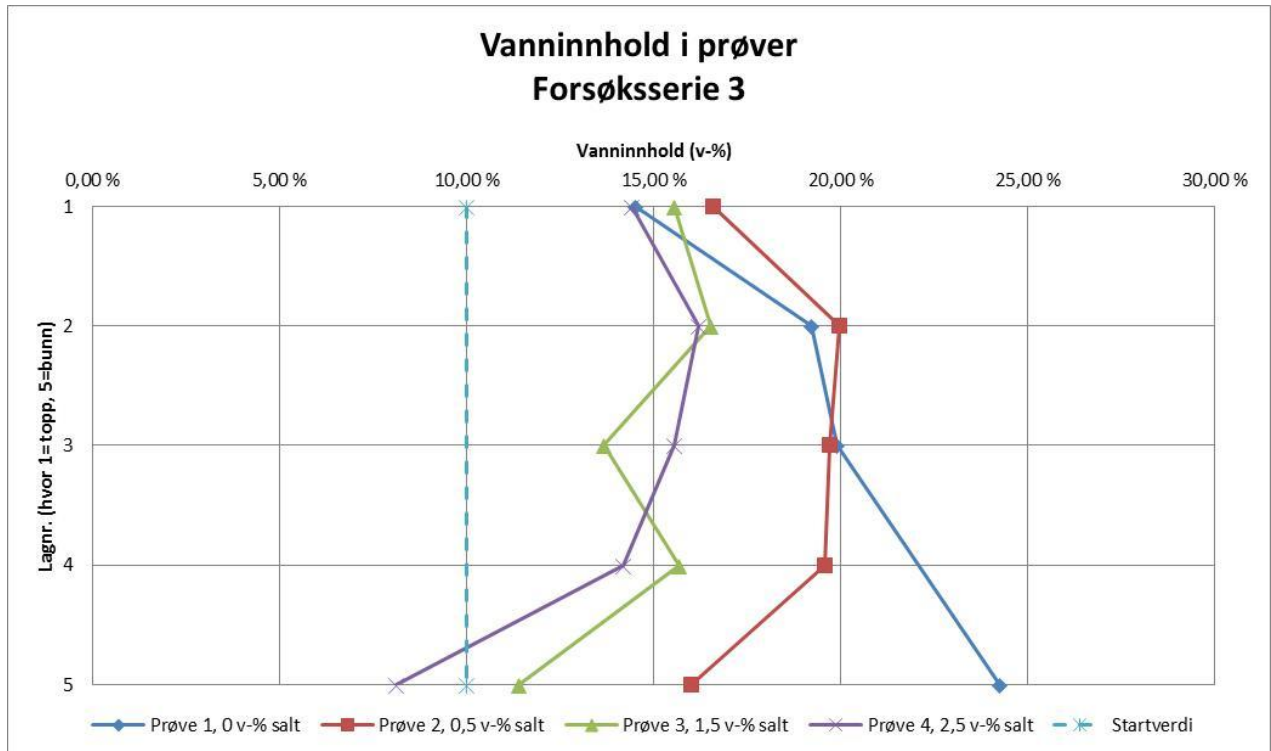
Figur 32 Vannoppsug i forsøksserie 3.

Forsøksserie 1 og 2, se Vedlegg 7 og Vedlegg 11, viser også samme tendens som i Figur 32. Unntaket er Prøve 4 som inneholdt 2,5 v- % salt i forsøksserie 2.

Vedlegg 5, Vedlegg 9 og Vedlegg 15 viser vannoppsug plottet i samme graf som temperatur for henholdsvis forsøksserie 1, 2 og 3. Her kan man tydelig se at vannoppsuget avtar etter omtrent 30 timer. Dette kan kanskje relateres til temperaturen i bunn av prøven. Når denne temperaturen synker avtar også vannoppsuget. Dette kan også forklare det høye vannoppsuget i Prøve 4 som inneholdt 2,5 v- % salt i forsøksserie 2, da temperaturen her var høyere enn de andre prøvene.

### Vanninnhold:

I forsøksserie 3 ble vanninnholdet som funksjon av dybden i prøven ble funnet ved å dele prøven i fem deler, dette ble ikke gjort i forsøksserie 1 og 2. Prøvene ble deretter tørket og veid. Resultatet er vist i Figur 33. Tallgrunnlaget finnes i Vedlegg 19.



Figur 33 Vanninnhold i prøver som funksjon av dybde.

Figur 33, viser at alle prøvene har omtrent likt vanninnhold i toppen av prøven. Figuren viser også at vanninnholdet har gått opp i alle prøvene fra startverdien som lå på 10 vekt- %. Videre ser man at vanninnholdet er lavt i bunn av Prøve 2, 3 og 4, som inneholdt henholdsvis 0,5, 1,5 og 2,5 v- % salt. En kan også se at vanninnholdet i prøven synker med økende saltinnhold, dette kommer spesielt til syne ved vanninnholdet i bunn av prøven, dette har også blitt sett av Bing & He (2008) og Eldin (1991). Det høye vanninnholdet i bunn av Prøve 1, som var uten salt, kommer trolig av de synlige islinjene som ble dannet i dette området.



#### 4.4.4 Temperaturer

Tabell 9 viser temperatur i prøven etter stabilisering, det vil si temperatur etter omtrent 1 døgn. Hele temperaturprofilen over tid kan ses i Vedlegg 4. Som tabellen viser er det forskjell i temperatur i Prøve 1 og 2. Tabellen viser også at temperaturgradienten er forskjellig i de to prøvene, hvor det er antatt en lineær temperaturgradient nedover i prøven.

Tabell 9 Temperatur i Prøve 1 og 2 etter stabilisering.

		Temperatur °C	Temperaturgradient i hele prøven °C /120mm
Prøve 1	Topp	-3,56	-2,89
	Midt	-2,14	
	Bunn	-0,67	
Prøve 2	Topp	-4,34	-3,21
	Midt	-3,23	
	Bunn	-1,13	

Temperaturprofilen viser også at Prøve 2 med salt hadde en lavere temperaturer enn Prøve 1. Temperatur i lagene lå omtrent -0,8 til -1°C lavere enn prøve 1, mens temperaturgradienten ligger omtrent -0,5°C lavere i Prøve 2. Dette kan være årsak til at en fikk telehiv i Prøve 2, og at en lavere temperatur kan motvirke frysepunktsnedsettelsen i Prøve 2 som er på -0,8872°C.

Tabell 10 viser temperatur i Prøve 1-4 i forsøksserie 2, temperaturen er hentet fra siste del av forsøks tiden. Temperaturen ble justert to ganger i løpet av forsøks tiden.

Tabell 10 Temperaturer i forsøksserie 2, i siste del av forsøket hvor temperaturen var lavest.

		Temperatur °C	Temperaturgradient i hele prøven °C /100mm
Prøve 1	Topp	-4,94	-4,43
	Midt	-4,20	
	Bunn	-0,51	
Prøve 2	Topp	-5,67	-5,09
	Midt	-3,28	
	Bunn	-0,58	
Prøve 3	Topp	-6,15	-5,39
	Midt	-3,54	
	Bunn	-0,77	
Prøve 4	Topp	-3,19	-3,53
	Midt	-1,75	
	Bunn	0,34	

Temperaturer av hele forsøksstiden kan ses i Vedlegg 8, her kan en se at temperaturen ble nedjustert to ganger i løpet av forsøket. Dette ble gjort for å se om en fikk en reaksjon i telehiv på grunn av temperaturjustering. Dette skjedde ikke.

Tabell 11 viser temperaturer og temperaturgradienter i forsøksserie 3. En kan se av tabellen at temperaturgradienten lå lavere enn de to andre forsøksseriene.

Tabell 11 Temperaturer i forsøksserie 3, når temperaturen var stabilisert (siste del av forsøksstiden).

		Temperatur °C	Temperaturgradient i hele prøven °C /100mm
<b>Prøve 1</b>	<b>Topp</b>	-6,268	-5,646
	<b>Midt</b>	-3,41	
	<b>Bunn</b>	-0,622	
<b>Prøve 2</b>	<b>Topp</b>	-4,366	-4,253
	<b>Midt</b>	-2,759	
	<b>Bunn</b>	-0,113	
<b>Prøve 3</b>	<b>Topp</b>	-6,574	-5,356
	<b>Midt</b>	-4,148	
	<b>Bunn</b>	-1,218	
<b>Prøve 4</b>	<b>Topp</b>	-7,283	-6,859
	<b>Midt</b>	-4,079	
	<b>Bunn</b>	-0,424	

#### 4.4.5 Observasjoner

I Prøve 1, uten salt i forsøksserie 1, ble det observert synlige islinser i bunn av prøven, som et separert lag, Figur 34. Hele prøven var frossen.



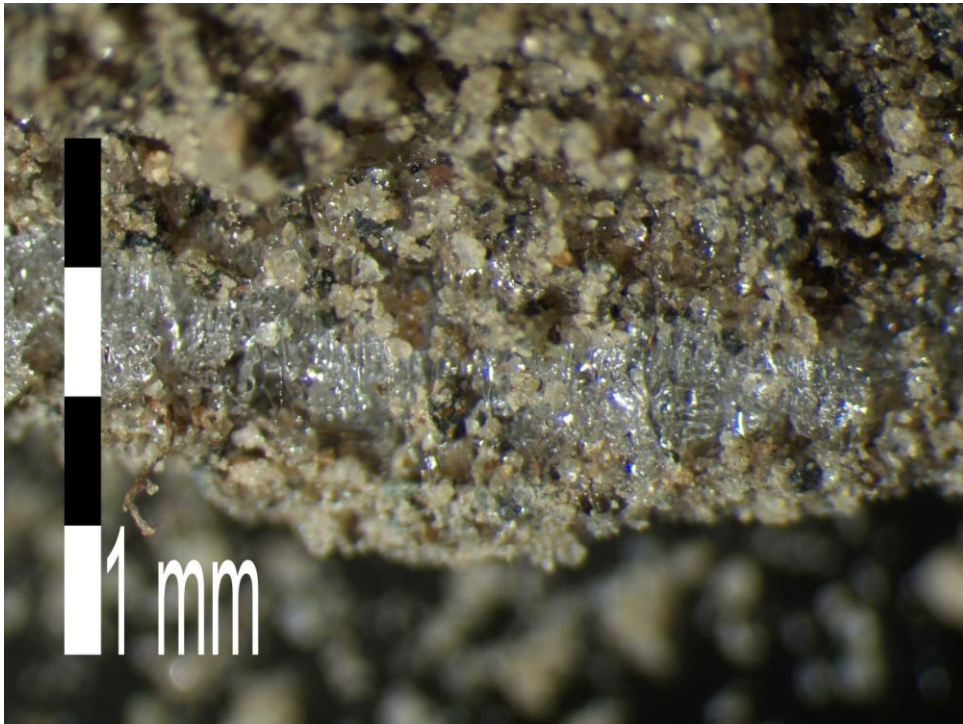
Figur 34 Islinsedannelse i bunn av prøve 1, forsøksserie 1.

I Prøve 2 med 1,5 v- % salt i forsøksserie 1, ble det observert islinser i toppen av prøven, men ikke i et tydelig separert lag, Figur 35. Likevel kan islinsedannelsen i toppen av prøven tyde på at materiale har evne til å suge vann helt til toppen. Bunnen, ca. 1-2 cm av prøven var ikke fryst.



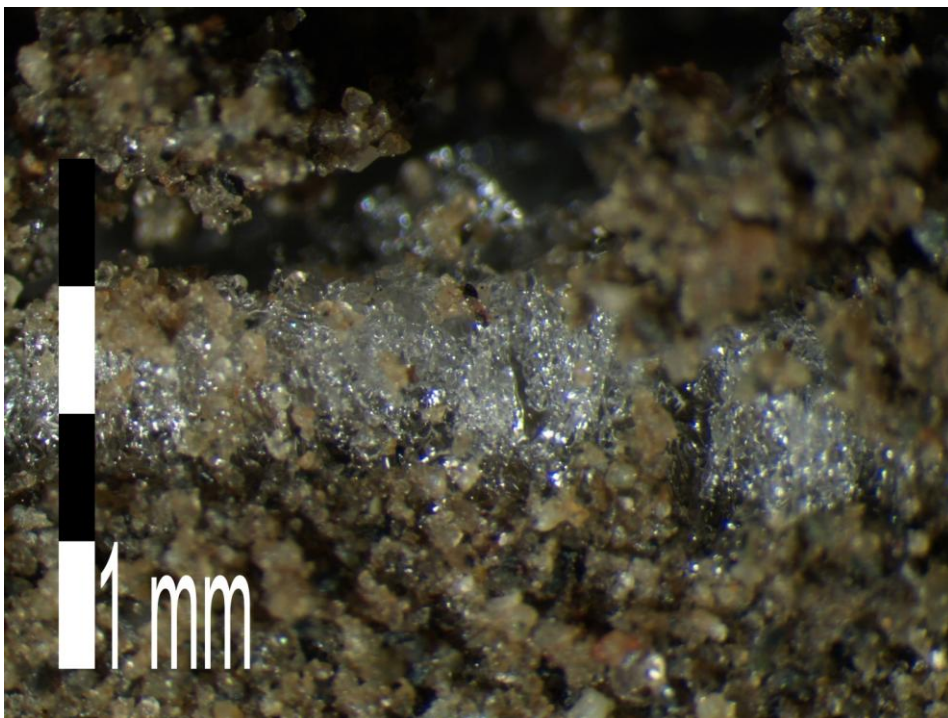
Figur 35 Islinsedannelse i topp av prøve 2, forsøksserie 1.

Det ble sett på islinser i mikroskop, for å se på størrelsen av islinser. Figur 36 viser islinser i prøve 1, forsøksserie 1. Av figur ser man av islinserne var i størrelsesorden 1,5 mm store, og islinserne var tatt ut i bunn av prøven.



Figur 36 Islinse i Prøve 1 uten salt, forsøksserie 1 sett i mikroskop.

I Figur 37 ser man islinser i Prøve 2, forsøksserie 1 og er i størrelsesorden 1,8 mm høye. Islinserne var tatt ut i toppen av prøven.



Figur 37 Islinse i Prøve 2 med salt, forsøksserie 1, sett i mikroskop.

Det ble ikke registrert forskjeller ved islinjene i mikroskopet. Det er heller ikke korrekt å sammenligne disse, da islinjene er tatt ut på forskjellige steder i prøven.

Det ble ikke registrert synlige islinjer i prøve 2-3-4 i forsøksserie 2 og 3. I Prøve 1, forsøksserie 2 og 3 som ikke var tilsatt salt, ble det registrert synlige islinjer, Figur 38. Islinjene ble observert nær bunn av begge prøvene.



Figur 38 Islinse i Prøve 1, forsøksserie 2, ingen salt tilsatt.

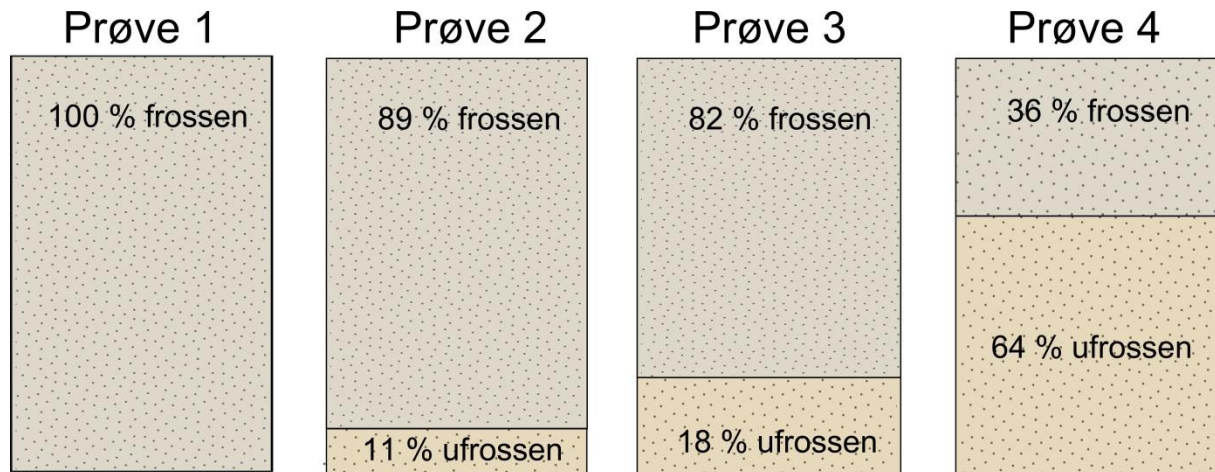
Dette betyr likevel at det ikke er islinsedannelse i prøvene med salt, da islinsene kan være av liten størrelse, og ikke synlig med det blotte øye. Figur 39 viser prøve med salt uten synlige islinsler.



**Figur 39** Bilde av prøve med 2,5 v- % saltinnhold etter frysning

#### 4.4.6 Andel fryst prøve og saltinnhold

I forsøksserie 2 ble det sett på andel fryst og ufryst prøve som funksjon av saltinnhold. Dette ble gjort for å se om en kunne relatere reduksjon av telehiv kun til andel fryst eller ufryst prøve. Andel fryst og ufryst prøve er vist i Figur 40, og tallgrunnlag finnes i Vedlegg 12.



Figur 40 Prøven 1-4 andel frossen og ufrossen del.

Det ble også utført en konduktivitetsmåling av materialet. Dette ble gjort ved å tørke prøven først. Prøven ble igjen tilsatt en gitt mengde vann slik at blandingen ble gjørmete. Prøven sto i 24 timer til partiklene sank til bunn av prøven. Målingen ble etter dette gjort med et konduktivitetsapparat. Videre ble resultatet tilbakeregnet til opprinnelig vanninnhold i prøven. Resultatet er vist i Tabell 12. Konduktivitetsprøven ble gjort for å se på om saltinnholdet variere i prøven, tallgrunnlag kan ses i Vedlegg 13.

Tabell 12 Vanninnhold og saltinnhold i frossen og ufrossen prøve, forsøksserie 2.

Prøve	Seksjon	Andel (%)	Vanninnhold (v- %)	Saltinnhold målt (v- %)
1	Frossen	100,0	22,3	0,1
2	Frossen	89,1	13,7	0,5
2	Ufrossen	10,9	1,3	3,7
3	Frossen	81,8	15,5	1,8
3	Ufrossen	18,2	5,0	2,9
4	Frossen	36,4	19,0	3,0
4	Ufrossen	63,6	15,5	2,8

Av Tabell 12 kan en se at den ufrossne prøven er større med økende saltinnhold. En kan også legge merke til at i Prøve 2 og 3 er saltinnholdet i den ufryste delen betydelig høyere enn startverdien. En ser også at vanninnholdet i disse delene er lav. Dette kan gi en tydning på at salt blir felt ut under fryseprosessen og skaper da et høyere saltinnhold foran frysefronte. I

Prøve 4 er ikke tallene like, årsaken til dette kan være at andel ufryst prøve er stor og at saltutfelling foran frysefronten da får liten betydning.

### **Teoretisk utregning av andel frossen og ufrossen prøve**

Hvis en antar en lineær temperaturgradient nedover i prøven, er det mulig å finne ut hvor stor den ufryste delen er ved å dele frysepunktsnedsettelsen på temperaturgradienten. Dette ble gjort i Prøve 1-4. og vist i Tabell 13.

**Tabell 13** Utregning Teoretisk andel frossen og ufrossen prøve.

Prøve (nr)	Opprinnlig saltinnhold (vekt- %)	Frysepkt.nedsettelse opprinnelig saltinnhold (°C)	Temp gradient hele prøve (°C/100mm)	Temp gradient (°C/mm)	Teoretisk andel frossen (mm)	Teoretisk andel ufrossen (mm)
1	0,00	0,000	-4,4	0,0443	100,0	0,0
2	0,50	-0,288	-5,1	-0,0509	94,3	5,7
3	1,50	-0,887	-5,4	-0,5390	83,5	16,5
4	2,50	-1,492	-3,5	0,0353	57,7	42,3

Ved å sammenligne den målte prøven og teoretisk utregning, Tabell 14, kan en se at den teoretiske utregningen av frossen del er større enn den målte delen. Det forenklete teoretiske forholdet mellom ufrossen del og frysepunktsnedsettelse er ikke helt korrekt. Blant annet kan man anta en underkjøling i prøven som gjør at den frossene prøven er mindre en den teoretiske utregningen. Variasjon av saltinnhold nedover i prøven kan også ha betydning på andel frossen prøve.

**Tabell 14** Teoretisk og målt andel frossen og ufrossen prøve.

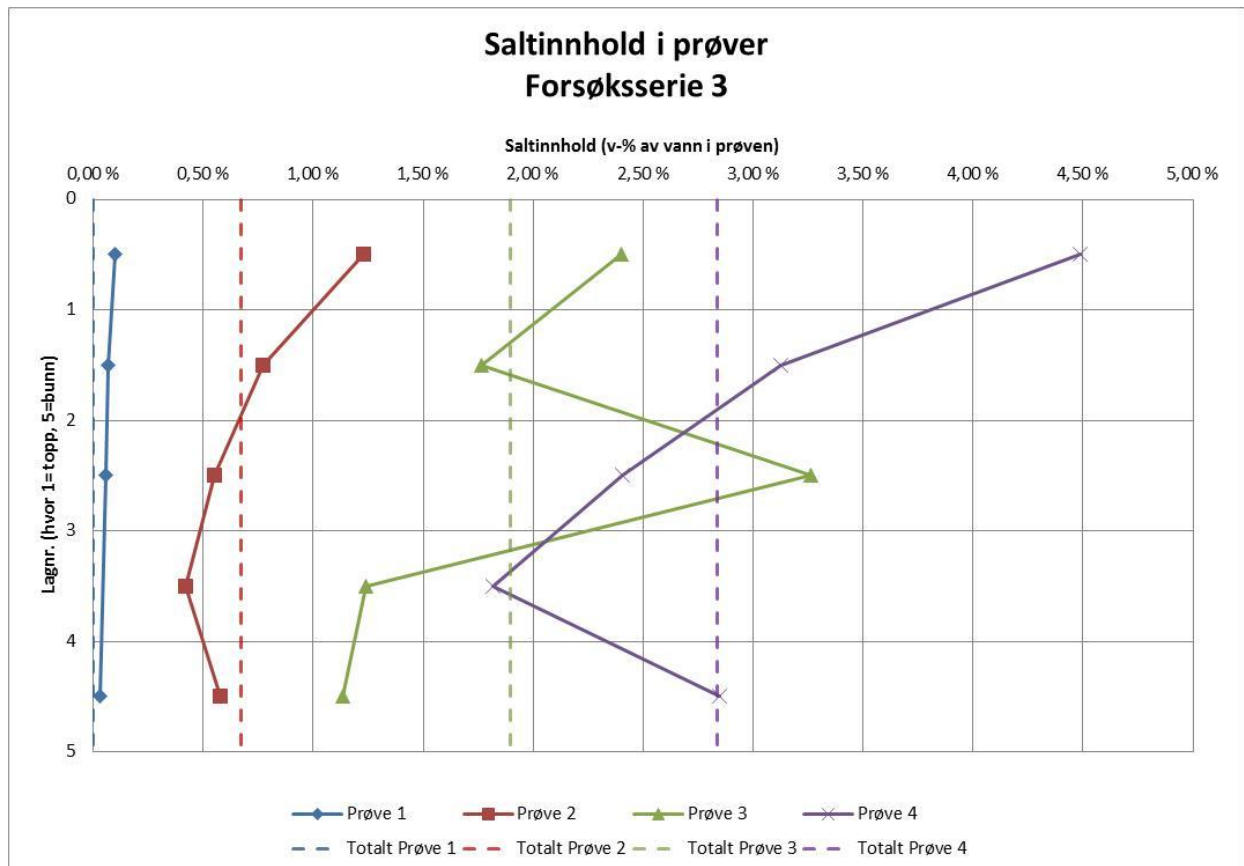
Prøve (nr)	Teoretisk frossen (%)	Målt frossen (%)
1	100,0	100,0
2	94,3	89,1
3	83,5	81,8
4	57,7	36,4



## Konduktivitetstest

I forsøksserie 3 ble det utført en konduktivitetstest som i forsøksserie 2. I denne konduktivitetstesten ble prøvene delt i lag og ikke i andel fryst og ufryst prøve.

Figur 41 viser gjennomsnittlig saltinnholdet i hvert lag, som funksjon av dybde. Figuren viser at saltinnholdet varierer i prøven. Figuren viser en tendens til lavere saltinnhold i bunn av prøven, men det er ingen klar antydning til dette. Vedlegg 20 viser tallgrunnlaget for Figur 41.



Figur 41 Saltinnhold som funksjon av dybde i forsøksserie 3.



## 4.5 Feilkilder

Plassering av vannkolbe som gir vann og saltløsninger til prøven kan ha betydning for vannoppsuget i prøven. Kolben ble plassert med kolbens vannuttak på høyde med vanninntak i bunnplaten av prøven. Dette betyr at når vannivået er høyt i kolben vil det dannes et trykk. Dette trykket kan bidra til å presse vann inn i prøven, og at vannoppsuget ikke bare kommer på grunn av sug fra materialet i prøven.

Temperaturen er en viktig faktor for resultatene, det vises at temperaturen varierer fra hvor prøven blir plassert. Dette er blitt tatt hensyn til ved å skifte plassering av prøver, og ved å være oppmerksom på temperatur ved gjennomgang av resultater.

Ved konduktivitets testen blir prøven målt i gjørmete prøver som har stått i 24 timer. Hvis ikke alle partikler er sunket til bunn av prøven, kan dette ha betydning for resultatet. Dette på grunn av at partikler kan forstyrre målområde i konduktivitetsapparat.

Av andre feilkilder som kan ha betydning for resultatet kan disse nevnes: Vanninnhold i prøve ved start, saltinnhold i saltløsninger, komprimering av prøver, manuell avlesning av telehiv. Disse nevnte feilkildene ble ikke registrert under forsøket.

## 4.6 Oppsummering

Laboratorieforsøket viser at salt har en effekt på telehiv. Telehivet minker eller er fraværende med økende mengde salt. Det ble registrert synlige islinser i alle prøvene uten salt. Det ble også observert islinser i prøven med 1,5 v- % salt i forsøksserie 1. Forsøket viser også at det er mest telehiv og vannoppsug i den første delen av forsøket, omtrent 24 timer.

Forsøkene viser at det er en reduksjon i vannopptak med økende mengde salt. I prøven hvor det ble dannet telehiv er vannoppsuge betydelig høyere enn i prøvene hvor det ikke ble dannet telehiv. Ved å se på vanninnholdet i som funksjon av dybden, i den tredje forsøksserien, viser det seg at vanninnholdet er minkende med økende mengde salt. Det viser seg også at det er minst vanninnhold nederst i prøvene med salt.

Temperaturen er en viktig faktor. I forsøkene ble temperaturen og dermed også temperaturgradienten forandret. Dette hadde ikke så stort utslag på prøvene som forventet. Temperaturen og innholdet av salt har også betydning for hvor stor andel av prøven som var fryst og ufryst.

Andelen fryst prøve, i forsøksserie 2, var minkende med økende mengde salt. Det viste seg også at saltinnholdet varierte som funksjon av dybde, dette kan tyde på at under frysning blir salt lukket i lommer og/eller i lag nedover i prøven.



## 5 Diskusjon

Det har i denne oppgaven blitt sett på effekten av salt på telehiv. Det har blitt utført et litteraturstudie, feltforsøk og laboratorieforsøk for å svare på om salt har en effekt på telehiv. Oppgaven har konsentrert seg om dannelsen av telehiv og ikke om teleløsning.

I teorien kom det frem at det er flere mekanismer som har betydning for dannelse av telehiv, og at salt kan ha påvirkning på flere av disse mekanismene. Det er blant annet vist i mye litteratur at salt fører til en reduksjon i telehiv (Sheeran & Yong 1975; Kay & Scott 1973; Lambe & Kaplar 1971; E.J. Chamberlain 1983; Eldin 1991). Men det er også vist at salt kan føre til økt telehiv (Beskow 1935; Dore et al. 1997). Vannstrømmen i den ufryste delen av materiale blir påvirket av saltinnholdet, og det er vist at vannstrømmen går ned ved økende saltinnhold (Kay & Scott 1973; Eldin 1991; Cheverev & Vidyapin 2003). Dette vil direkte påvirke størrelsen av telehiv, da tilgangen på vann er en viktig mekanisme for dannelse av islinser og størrelsen av telehiv. Ved gjennomgang av litteraturen vises det derfor at salt har en effekt ved dannelse av telehiv. Samtidig viser litteraturgjennomgangen at salts påvirkning på telehiv er komplekst og at det ikke er kun en entydig forklaring som kan forklare salts påvirkning på telehiv. Mye tyder på at det har noe med vannstrømmen til den aktive frysefronten hvor dannelsen av islinser skjer.

Feltforsøket viste at det ikke ble lokalt telehiv rundt sprekk. Dette ble heller ikke mulig å registrere, da det ikke var tilstrekkelig frost i forsøksperioden. Rapporten som var utgangspunkt for feltforsøket rapporterte lokale vertikale forhøyninger rundt 1 cm, med 3 cm som største forhøyning (Kestler et al. 1999). Rapporten henviste også til at salt kan være en bidragsyter til lokalt telehiv, i tillegg til økt tilgang på finmateriale og vann i sprekken. Det er flere steder i litteraturen henvist til at salt fører til reduksjon i telehiv. Rapporten fant heller ingen sammenheng mellom saltmengde og avstand til sprekk. Det er derfor usikkert om salt har betydning for lokalt telehiv, og at tilsig av finmateriale og en større tilgang på vann kan være større faktorer for det lokale telehivet. Feltforsøket i denne oppgaven fant ingen svar på dette.

Laboratorieforsøket viste at det var en tydelig effekt av salt på telehiv. Det ble registrert en reduksjon i telehiv med økende saltinnhold. Forsøket viste også en reduksjon i vannoppsug med økende saltinnhold. Grunnen til reduksjon i telehiv kan være at det var for liten tilgang på vann ved den aktive fryseseonen. Uten nok vann i den aktive fryseseonen vil det ikke skje dannelse av telehiv eller en forminskert telehiv. Grunnen til lite vannoppsug kan, med kobling til teorien i litteraturstudiet, forklares med:

- Fryseseonens plassering på grunn av frysepunktsnedsettelse av salt. Ved en større andel ufrossen prøve, må vann strømme over en lengre avstand, sugetrykket må derfor være høyere i den aktive fryseseone, sett av Darcy's lov (J.-M. Konrad 1988).
- Den hydrauliske konduktiviteten går ned i den ufryste delen av prøven ved økende saltinnhold som vist av Cheverev & Vidyapin (2003).

- Lav temperatur senker den hydrauliske konduktiviteten, temperaturen hvor vann må strømme er lavere i prøvene med salt på grunn av frysepunktsnedsettelsen og plassering av frysefronten (J.-M. Konrad 1988; Ishizaki et al. 1985).
- Dannelse av små islinser i fryseseonen hindrer vann i å strømme, på grunn av salt. Som igjen hindrer dannelse av større islinser (E.J. Chamberlain 1983). Variasjonen i saltinnhold nedover i prøven kan også påvirke dette.
- Salt fører til et høyere osmotisk trykk som igjen gir en tykkere vannfilm rundt jordpartikler. Dette fører til et lavere kapillært trykk etter Darcys lov (E J Chamberlain 1982; Eldin 1991).

Samlet sett kan faktorene nevnt ovenfor forklare hvordan salt kan føre til en lavere vannstrøm i materialet. Disse faktorene kan dermed ha betydning for det totale vannoppsuget og skape reduksjon i telehiv.

Dore med fler (1997) viste at det var mulig å erstatte en temperaturgradient med en saltgradient. Denne saltgradienten fungerte som en drivkraft for dannelse av telehiv. In-situ vil det alltid finnes en temperaturgradient i bakken og det vil trolig også finnes en saltgradient. In-situ vil man derfor ha to drivkrefter. Usikkerheten er derfor om hvilken av drivkreftene som er størst til å skape telehiv. Det ble ikke utført forsøk på saltgradient, men laboratorieforsøket viste at det var en variasjon i saltkonsentrasjon som funksjon av dybden. Likeså viste det seg at saltet hadde mye å si på telehiv med en temperaturgradient. Det er ikke umulig å tro at hvis forsøket hadde blitt utført med både temperaturgradient og saltgradient, hadde saltgradienten vært en lavere drivkraft en temperaturgradient for dannelse av telehiv. Dette gjenstår likevel å undersøke.

Av andre effekter, som det ikke er sett nærmere på i oppgaven, kan salt ha betydning for telehiv. En kan tenke seg at vegbanene blir kaldere på grunn av salt. Dette fordi snø forsvinner på grunn av salting. Snølaget på vegen fungerer som et isolasjonslag for underliggende materialer. Når snøen forsvinner vil også asfalten være svart, og utstrålingsenergien for asfalt vil være større. Vegdekket blir av dette kaldere. Disse to punktene kan føre til lavere temperaturer i bakken som igjen fører til en lavere frostdybde. Dette kan være med på å gi økt telehiv selv om det ikke er salt i undergrunnen. Hvis saltet trenger gjennom asfalten og ned i grunnene vil derimot salt ha betydning, som vist i laboratorieforsøket.

Det er ikke blitt sett på teleløsning i oppgaven, det er derfor vanskelig å si om salt kan ha påvirkning på teleløsning. Likevel skjer mesteparten av skadene i vegdekke i perioden for teleløsning. Salt kan muligens være med på å danne flere tine-fryse sykluser, som kan danne flere skader i vegdekke. Dette kan føre til mer skade på grunn av tine-fryse sykluser enn det skadeomfanget som effekten av salt har ved dannelsen av telehiv.

## 6 Konklusjon

Litteraturstudie viser at salt har en effekt på telehiv, og mesteparten av litteraturen henviser til en reduksjon i telehiv på grunn av saltinnhold. Litteraturen forklarer at salt fører til en lavere vannstrøm i materiale, og at dette kan være årsaken til reduksjon i telehiv i materiale med salt. Litteraturen viser også til kompleksiteten av dannelse av telehiv og at det er mange faktorer som spiller inn på dannelsen av telehiv.

Feltforsøk kunne ikke vise til noe effekt av salt, dette var heller ingen mulighet da det var mangel på frost under forsøksperioden.

laboratorieforsøket viser at NaCl har en tydelig effekt på telehiv, de viktigste resultatene i laboratorieforsøk var:

- 1) Redusert eller ingen telehiv med økende saltinnhold.
- 2) Redusert vannoppsug med økende saltinnhold.
- 3) Lavere vanninnhold med økende saltinnhold.
- 4) Lavere vanninnhold i bunn av prøvene med økende saltinnhold.
- 5) Variasjon i saltinnhold som funksjon av dybden i prøvene.

Laboratorieforsøk klarer dermed å vise til tidligere forsøk og litteratur, at salt reduserte telehiv og at forklaringen kan være at vannstrømmen avtar i materialet tilsatt salt.





## 7 Videre arbeid

For å danne seg en bedre forståelse av hvordan salt påvirker telehiv kan disse punktene være av interesse å gå nærmere inn på:

- 1) Utføre telehivforsøk med saltgradient og temperaturgradient. Dette kan det gjøre det mulig å bestemme hvilken av disse drivkreftene som har største effekt på telehiv.
- 2) Utføre feltforsøk for å finne ut hvor stort saltinnhold som finnes i materialet under vegen, og om det er noen sammenheng mellom størrelse på telehiv, og vegger som har et stort saltinnhold i materiale.
- 3) Kontrollere frysefrontens bevegelse, salt- og vann-strømning i materiale ved ulike saltinnhold. Frysefrontens bevegelse kan være mulig å finne ved å ha en betydelig tettere temperaturmåling. Bruk av kamera kan si noe om frysefronten og strømning, som vist av Arenson et al. (2005). Ved dette kan deg også være interessant å se på hvordan islinser formeres ved frysefronten. Dette kan gjøres ved tilsetning av fargestoff i vannet som vist av Anrenson (2004).



## 8 Referanser

- Aftenposten, 2012a. Finland graver dypt nok - slipper telehiv. Available at: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/article4238413.ece#.T50S39Xmcyh> [Accessed April 29, 2012].
- Aftenposten, 2012b. Telehiv? Her ser du hvorfor! Available at: <http://www.aftenposten.no/nyheter/iriks/Telehiv-Her-ser-du-hvorfor-6805136.html#.T50S3NXmcyh> [Accessed April 29, 2012].
- Andersland, O.B. & Ladanyi, B., 2004. Frozen ground engineering. , (2nd ed), p.xii, 363 s.
- Anrenson, L.U., 2004. *The effect of saline pore water on the freezing of loose Devon silt.*, Edmonton, Alberta, Canada. Available at: <http://www.bgcengineering.com/files/publications/LA2004-cYGEGC.pdf> [Accessed June 5, 2012].
- Arenson, L. et al., 2005. *Brine and unfrozen water migration during the freezing of Devon silt*, Edmonton, Alberta, Canada. Available at: <http://bgcengineering.info/files/publications/LA2005-ARCSACC-Arensonetal.pdf> [Accessed May 27, 2012].
- Berntsen, G., 2011. Forelesning: Aksellast, bæreevne, tele/frostproblematikk. Available at: [http://www.geir.be/Aksellast etc 05092011.pdf](http://www.geir.be/Aksellast%20etc%2005092011.pdf).
- Berntsen, G., 1993. Reduksjon av bæreevnen under teleløsning. , 1993:64, p.1 b. (flere pag.).
- Beskow, G., 1935. *Tjälbildning och tjällyftning med hänsyn till vägar och järnvägar*,
- Bing, H. & He, P., 2008. Experimental study of water and salt redistribution of clay soil in an opening system with constant temperature. *Environmental Geology*, 55(4), pp.717-721. Available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s00254-007-1023-0>.
- Bioforsk, 2011. Salting kan bidra til at vegene sprekker. Available at: [http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/forside/nyhet?p\\_document\\_id=85996](http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/forside/nyhet?p_document_id=85996) [Accessed April 29, 2012].
- CRC, 2011. *Handbook of Chemistry and Physics, 92nd Edition*, CRC Press. Available at: <http://www.amazon.com/CRC-Handbook-Chemistry-Physics-92nd/dp/1439855110>.
- Cary, J.W., 1987. A new method for calculating frost heave including solute effects. *Water Resour. Res.*, 23(8), pp.1620-1624. Available at: <http://dx.doi.org/10.1029/WR023i008p01620>.
- Casagrande, A., 1932. Discussion on "A new theory of frost heaving" by Benkelman and Olmestad. *Highway Research Board Proceedings*, 11, p.168. Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=128067> [Accessed April 19, 2012].
- Chamberlain, E.J., 1983. Frost heave of saline soils. In *4th International Conference on Permafrost*. Fairbanks, Alaska., pp. 121-126.
- Chamberlain, E J, 1982. Frost susceptibility of soil – Review of index test. *Cold Regions Research and Engineering Laboratory*, 8, p.117.

- Cheverev, V.G. & Vidyapin, I.Y., 2003. The hydraulic conductivity of freezing saline soils. *Permafrost*. Available at: [http://research.iarc.uaf.edu/NICOP/DVD/ICOP\\_2003/Permafrost/Pdf/Chapter\\_025.pdf](http://research.iarc.uaf.edu/NICOP/DVD/ICOP_2003/Permafrost/Pdf/Chapter_025.pdf) [Accessed May 25, 2012].
- Dore, G., Konrad, J.-M. & Roy, M., 1997. Role of deicing salt in pavement deterioration by frost action. *Transportation research record*, 76(1596), pp.70-75. Available at: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2212149> [Accessed March 5, 2012].
- Ekspertgruppe telehiv. Vegdirektoratet, 2011. *Telehiv på norske veger. Hvorfor, og hva kan gjøres for å unngå dette.*,
- Eldin, N.N., 1991. Effect of Artificial Salting on Freezing Behavior of Silt Soil. *Journal of Cold Regions Engineering*, 5(4), pp.143-157. Available at: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(1991\)5:4\(143\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(1991)5:4(143)).
- Forestry suppliers, 2012. GAD Stake and Frost Pin. Available at: [http://www.forestry-suppliers.com/product\\_pages/View\\_Catalog\\_Page.asp?mi=4306&title=GAD+Stake+and+Frost+Pin#](http://www.forestry-suppliers.com/product_pages/View_Catalog_Page.asp?mi=4306&title=GAD+Stake+and+Frost+Pin#) [Accessed May 12, 2012].
- Hoff, I., 2011. *Tiltak mot telehiv, læringshefte ved NTNU*,
- Horiguchi, K., 1987. An osmotic model for soil freezing. *Cold Regions Science and Technology*, 14(1), pp.13-22. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0165-232X\(87\)90040-1](http://dx.doi.org/10.1016/0165-232X(87)90040-1) [Accessed May 3, 2012].
- Ishizaki, T., Yoneyama, K. & Nishio, N., 1985. X-ray technique for observation of ice lens growth in partially frozen, saturated soil. *Cold Regions Science and Technology*, 11(3), pp.213-221. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165232X8590045X>.
- Kane, D.L., 1980. Snowmelt infiltration into seasonally frozen soils. *Cold Regions Science and Technology*, 3(2-3), pp.153-161. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165232X80900208>.
- Kartverket, 2012. Norgeskart. Available at: <http://kart.statkart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2> [Accessed April 25, 2012].
- Kay, B.D. & Scott, W.S., 1973. Reduction of frost heaving by tetraalkyl ammonium ions. *Can. J. Soil Sci.*, 53, pp.421-427. Available at: <http://pubs.aic.ca/doi/pdfplus/10.4141/cjss73-059> [Accessed May 25, 2012].
- Kestler, M., Krat, A. & Roberts, G., 1999. *Winter Tenting of (HMA) Highway Pavements*, Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=680557> [Accessed May 2, 2012].
- Konrad, J.-M., 1988. Influence of freezing mode on frost heave characteristics. *Cold Regions Science and Technology*, 15(2), pp.161-175. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165232X88900626>.
- Konrad, Jean-Marie & Morgenstern, N.R., 1980. A mechanistic theory of ice lens formation in fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 17(4), pp.473-486. Available at: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/t80-056>.

- Korson, L., Drost-Hansen, W. & Millero, F.J., 1969. Viscosity of water at various temperatures. *The Journal of Physical Chemistry*, 73(1), pp.34-39. Available at: <http://dx.doi.org/10.1021/j100721a006>.
- Lambe, T.W. & Kaplar, C.W., 1971. Additives for modifying the frost susceptibility of soils. *USA Cold Regions Research and Engineering Laboratory*, 131. Available at: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=125374> [Accessed May 1, 2012].
- Lay, R.D., 2005. Development of a frost heave test apparatus. , (December). Available at: <http://contentdm.lib.byu.edu/cdm/singleitem/collection/ETD/id/474>.
- Little, J.D. et al., 2003. Application of differential global positioning systems to monitor frost heave and thaw settlement in tundra environments. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14(4), pp.349-357. Available at: <http://dx.doi.org/10.1002/ppp.466>.
- Malla, N., 2005. E6-Melhus-report.
- Marion, G.M. (Giles M., 1995. *Freeze-thaw processes and soil chemistry / Giles M. Marion* U. S. A. O. of the C. of Engineers & C. R. R. and E. L. (U.S.), eds., [Hanover, N.H.] : [Springfield, Va. : U.S. Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory ; Available from NTIS. Available at: <http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS61061>.
- Matthews, B., 1967. Automatic measurement of frost-heave. , pp.107-115.
- Meteorologisk institutt, 2012. Middeltemperaturer over døgn. Available at: [http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39057&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39057&_dad=portal&_schema=PORTAL) [Accessed May 11, 2012].
- Microlink, 2012. Thermocouple Accuracy Table. Available at: <http://www.microlink.co.uk/tctable.html> [Accessed April 17, 2012].
- Miller, R., 1972. Freezing and heaving of saturated and unsaturated soils. *Highway Research Record*, (393), pp.1-11.
- MnRoad, 2012. Elevation - Frost Pins. Available at: <http://www.dot.state.mn.us/mnroad/instrumentation/pdfs/frostpins.pdf> [Accessed May 12, 2012].
- NVDB, 2012. NVDB. Available at: <http://svvgw.vegvesen.no/http://svnvdbapp.vegvesen.no:7778/webinnsyn/anon/index> [Accessed April 24, 2012].
- Norges tekniske-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens Vegvesens utvalg for frost i jord, 1976. *Sikring mot teleskader*,
- Noss, P.M., 1978. *Telemekanismen , læringshefte ved NTNU*,
- Penner, E., 1959. The Mechanism of Frost Heaving in Soils. *Building*, (87), pp.1-22. Available at: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/rp/rp87/rp87.pdf>.

- Perfect, E., Groenevelt, P. & Kay, B., 1991. Transport phenomena in frozen porous media. *Transport Processes in Porous Media*, pp.243-270.
- SSB, 2012. SSB: Konsumprisindeksen - Beregne prisendring selv. Available at: <http://www.ssb.no/kpi/kpiregn.html> [Accessed April 19, 2012].
- Sheeran, D.E. & Yong, R.N., 1975. Water and salt redistribution in freezing soils. In *Conference on Soil Water Problems in Cold Regions*. Calgary, Alberta, Canada, pp. 58-69.
- Smaalenene, 2012. Vei til 1,3 milliarder ødelagt. Available at: <http://www.smaalenene.no/nyheter/article5542800.ece> [Accessed April 29, 2012].
- TV2, 2012. Derfor blir det telehiv på norske veier - TV 2 Nyhetene. Available at: <http://www.tv2.no/nyheter/innenriks/derfor-blir-det-telehiv-paa-norske-veier-3594450.html> [Accessed April 29, 2012].
- Taber, S., 1930. The Mechanics of Frost Heaving. *The Journal of Geology*, 38(4), pp.303-317. Available at: <http://www.jstor.org/stable/30058950>.
- Takagi, S., 1980. The adsorption force theory of frost heaving. *Cold Regions Science and Technology*, 3(1), pp.57-81. Available at: [http://dx.doi.org/10.1016/0165-232X\(80\)90007-5](http://dx.doi.org/10.1016/0165-232X(80)90007-5) [Accessed April 23, 2012].
- Teknisk Ukeblad, 2011. Vi kan ikke nok om telehiv - tu.no/bygg. Available at: <http://www.tu.no/bygg/2011/09/16/-vi-kan-ikke-nok-om-telehiv> [Accessed April 29, 2012].
- Teknologiavdeling, V., 2009. *Miljøvennlige vegdekker. Sluttrapport for arbeidspakke 3: Støv*,
- Torrance, J.K. & Schellekens, F.J., 2006. Chemical factors in soil freezing and frost heave. *Polar Record*, 42(01), pp.33-42. Available at: [http://journals.cambridge.org/abstract\\_S0032247405004894](http://journals.cambridge.org/abstract_S0032247405004894) [Accessed May 3, 2012].
- Vegdirektoratet, 2005a. 14.461 Standard Proctor. In *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*.
- Vegdirektoratet, 2005b. 14.462 Modifisert Proctor. In *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*.
- Vegdirektoratet, 2006. *Finstoff i gjenbruksbetong*,
- Vegdirektoratet, 2011. *Håndbok 018: Vegbygging*,
- Vegvesen, 2012. Strategi for vinterdrift - vegvesen.no. Available at: <http://www.vegvesen.no/Fag/Veg+og+gate/Drift+og+vedlikehold/Vinterdrift/Strategi+vinterdrift> [Accessed May 19, 2012].

## **9 Vedlegg**

Vedlegg 1 Oppgavetekst

Vedlegg 2 Modifisert Proctor

Vedlegg 3 Siktekurve, tørrsikt og Colter-analyse

Vedlegg 4 Temperaturer og telehiv forsøksserie 1

Vedlegg 5 Temperaturer og vannoppsug forsøksserie 1

Vedlegg 6 Telehiv forsøksserie 1

Vedlegg 7 Vannoppsug forsøksserie 1

Vedlegg 8 Temperaturer og telehiv i forsøksserie 2

Vedlegg 9 Temperaturer og vannoppsug i forsøksserie 2

Vedlegg 10 Telehiv forsøksserie 2

Vedlegg 11 Vannoppsug forsøksserie 2

Vedlegg 12 Etteranalyse forsøksserie 2

Vedlegg 13 Konduktivitetstest forsøksserie 2

Vedlegg 14 Temperatur og telehiv forsøksserie 3

Vedlegg 15 Temperatur og vannoppsug forsøksserie 3

Vedlegg 16 Telehiv forsøksserie 3

Vedlegg 17 Vannoppsug forsøksserie 3

Vedlegg 18 Etteranalyse forsøksserie 3

Vedlegg 19 Tallgrunnlag vanninnhold forsøksserie 3

Vedlegg 20 Tallgrunnlag konduktivitetstest forsøksserie 3

Vedlegg 21 Metodebeskrivelse av telehivforsøk

Vedlegg 22 Tallgrunnlag nivellement

Vedlegg 23 Utvikling av slisse, målt med spordannelsesapparat





# **Vedlegg 1**

## **Oppgavetekst**



## **MASTEROPPGAVE**

(TBA4940 VEG, masteroppgave)

VÅREN 2012  
for  
**Lars Lund**

### Effekt av salt på telehiv

#### **BAKGRUNN**

Telehiving er et av de alvorligste problemene for norske veger. I løpet av vinteren vil frosten trenge nedover i vegkonstruksjonen og på steder der forutsetningene ligger til rette vil det dannes islinser i vegen som kan løfte vegoverflaten betydelig. Om denne løftingen hadde vært helt jevn hadde det ført til små problemer. Dette er imidlertid sjelden tilfelle. Både på langs og tvers av vegen vil det være forskjeller i telehiving som resulterer i ujevnheter og ofte store skader på vegbanen (Hoff, 2011). Telehiv har vært under aktiv forskning er mer enn 100 år. Allerede i 1914 viste Svenke Simon Johansson eksperimentelt at vann strømmer til frysefronten og anrikes i rene islag (Sætersdal et al, 1976). Per dags dato er telehivmekanismene og dannelse av islinser i jord detaljert beskrevet i litteraturen.

Etter omfattende teleskader i fjor vinter ble hypotesen at salting av veiene bidro til telehiv bredt diskutert i Norske media. Mange meninger ble framført og mulige forklaringer ble gitt, men spørsmålet om *hvordan* salt kan påvirke telehivmekanismene ble lite belyst. Dette er viktig for å kunne bedømme *i hvilken grad* salt kan forverre telehiv.

#### **OPPGAVE**

##### **Målsetting og hensikt**

Hensikten med oppgaven er å øke den grunnleggende forståelse av telehiv, spesifikt rettet mot påvirkinger av vegsalt. Målet er å kartlegge de mekanismene som beskrives i litteraturen, og utføre telehivseksperimenter for å studere effekten salt har.

##### **Beskrivelse av oppgaven**

1. Kandidaten skal beskrive de ulike skadeformer av vegdekke, relatert til frost og telehiv.
2. Kandidaten skal gi en beskrivelse om hvordan salt påvirker fryseprosessen av vann.
3. Kandidaten skal gjennom en litteraturgjennomgang gi en oversikt av de ulike mekanismer som fører til telehiv og hvordan telehiv måles eksperimentelt.
4. Kandidaten skal utføre feltforsøk og laboratorieeksperimenter for å studere om og hvilke effekter salt har på telehiv.

## GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med faglærer ved instituttet.

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside (automatisk fra DAIM, <http://daim.idi.ntnu.no/>)
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- forord
- sammendrag på norsk og engelsk (studenter som skriver sin masteroppgave på et ikke-skandinavisk språk og som ikke behersker et skandinavisk språk, trenger ikke å skrive sammendrag av masteroppgaven på norsk)
- innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- om nødvendig en liste med beskrivelse av viktige betegnelser og forkortelser benyttet
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger.
- oppgaveteksten (denne teksten signert av faglærer) legges ved som Vedlegg 1.
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidenummerering).

Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

### Hva skal innleveres?

Rutiner knyttet til innlevering av masteroppgaven er nærmere beskrevet på <http://daim.idi.ntnu.no/>. Trykking av masteroppgaven bestilles via DAIM direkte til Skipnes Trykkeri som leverer den trykte oppgaven til instituttkontoret 2-4 dager senere. Instituttet betaler for 3 eksemplarer, hvorav instituttet beholder 2 eksemplarer. Ekstra eksemplarer må bekostes av kandidaten/ ekstern samarbeidspartner.

Ved innlevering av oppgaven skal kandidaten levere en CD med besvarelsen i digital form i pdf- og word-versjon med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel). Videre skal kandidaten levere innleveringsskjemaet (fra DAIM) hvor både Ark-Bibl i SBI og Fellestjenester (Byggsikring) i SB II har signert på skjemaet. Innleveringsskjema med de aktuelle signaturene underskrives av instituttkontoret før skjemaet leveres Fakultetskontoret.

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjenning fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

**(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.**

Beskrives her når dette er aktuelt. Se <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank> for avtaleskjema.

**Helse, miljø og sikkerhet (HMS):**

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befarings, feltkurs eller ekskursionsjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskedeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

**Innleveringsfrist:**

Arbeidet med oppgaven starter 16. januar 2012

Besvarelsen leveres senest ved registrering i DAIM innen 11. juni 2012 kl 1500.

**Faglærer ved instituttet:** Helge Mork og Alex Klein Paste

Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 06.12.2011 ( revidert 05.06.2012)



Alex Klein-Paste



Helge Mork



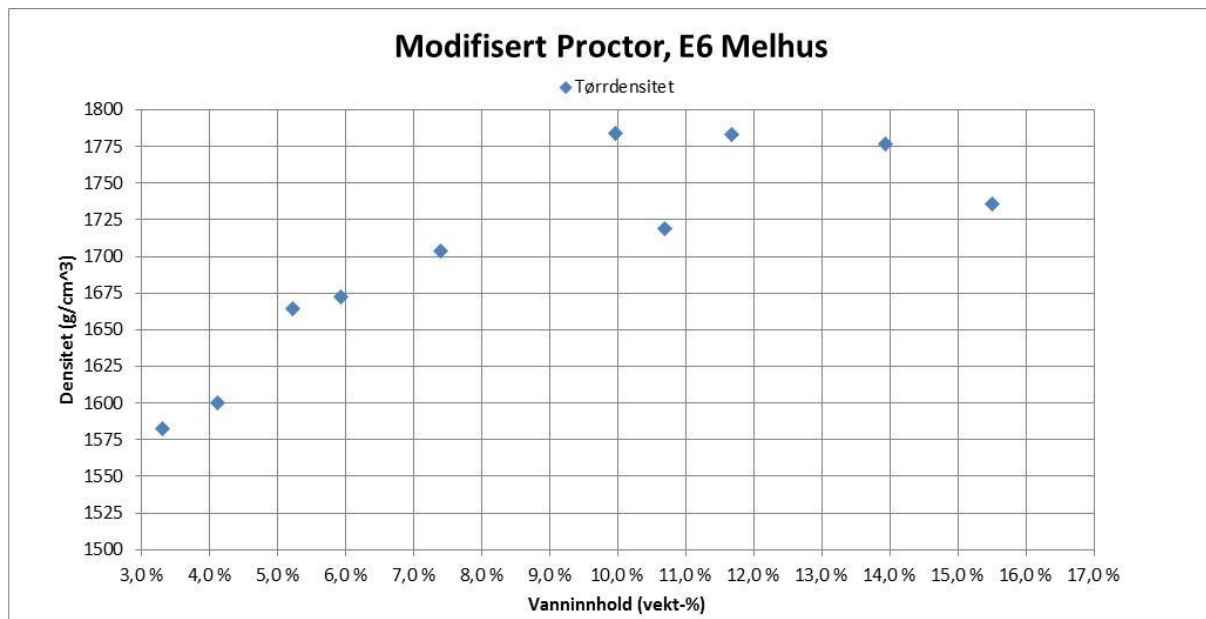
# **Vedlegg 2**

## **Modifisert Proctor**





Modifisert Proctor er gjort etter vegvesenet håndbok 014- Laboratorieundersøkelser<sup>1</sup>.



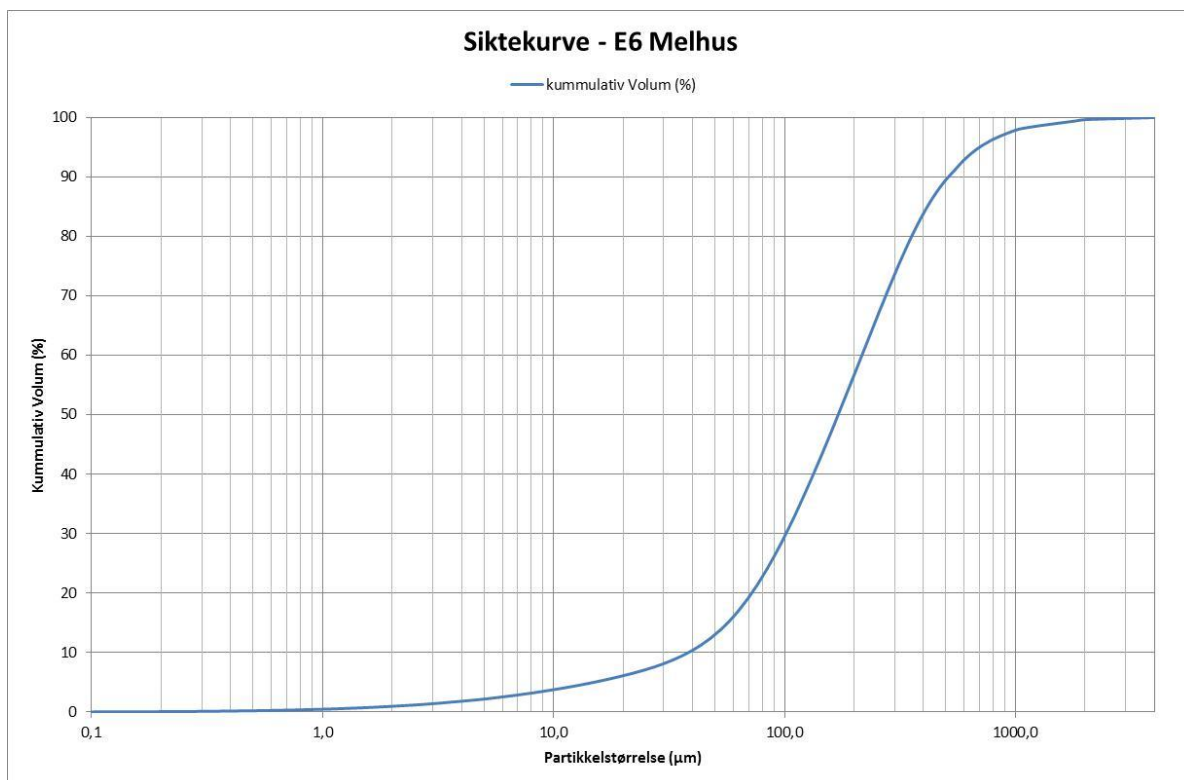
<sup>1</sup> Vegdirektoratet, 2005b. 14.462 Modifisert Proctor. In *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*.

Prøve nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
vanninnhold før stamping	3,5 %	4,5 %	5,5 %	6,5 %	8,0 %	10,0 %	11,0 %	12,0 %	14,0 %	16,0 %
Masse av sylinder med innstampet materiale	g	8400	8633	8674	8789	9053	8936	9112	9178	9139
Masse av sylinder, tom	g	5130	5130	5130	5130	5130	5130	5130	5130	5130
Masse av materiale, våt	g	3270	3333	3544	3659	3923	3806	3982	4048	4009
Våt densitet p-wet	g/cm <sup>3</sup>	1635	1666,5	1772	1829,5	1961,5	1903	1991	2024	2004,5
Tørrdensitet p-dry	g/cm <sup>3</sup>	1582	1600	1673	1703	1784	1714	1778	1777	1735
Skål nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Masse skål m/ våt prøve	g	4248	4291	4478	4119	4636	4289	4475	4620	4561,2
Masse skål m/ tørr prøve	g	4143	4159	4304	3920,7	4384,8	3922,5	4059,7	4126	4024,8
Masse skål	g	979,8	960,5	978,1	579,8	988,7	493,5	502,4	579,8	565,8
masse vann	g	105	132	174	198,3	251,2	366,5	415,3	494	536,4
Masse tørt materiale	g	3163,2	3198,5	3325,9	3340,9	3396,1	3429,0	3557,3	3546,2	3459
vanninnhold w	%	3,3 %	4,1 %	5,2 %	5,9 %	7,4 %	10,7 %	11,7 %	13,9 %	15,5 %

# **Vedlegg 3**

## **Siktekurve, tørrsikt og Colter-analyse**





Først ble det utført en tørrsikt for å få ut de største kornene:

Sikt	Kumulativ vekt større enn sikt (gram)
4 mm	0 gram
2 mm	2 gram
1 mm	10 gram
0,5 mm	25 gram
< 0,5 mm	549 gram

Vekt før sikting	549 gram
Vekt etter sikting	549 gram
Bortfall	0 %

25 gram ble derfor tatt ut. 524 gram ble sendt videre til en Colter-analyse

Derneft ble disse verdien lagt inn med Colteranalysen, kornfordelingen ble slik:

Kornstørrelse (µm)	Kumulativ fordeling vekt (Gram)	Kumulativ fordeling (%)
0,044	0	0
0,048	0,000487	8,88E-05
0,053	0,001378	0,000251
0,058	0,003055	0,000557
0,064	0,006618	0,001206
0,07	0,01343	0,002447
0,077	0,02391	0,004356
0,084	0,03701	0,006742
0,093	0,053254	0,009702
0,102	0,072642	0,013234
0,112	0,095698	0,017434
0,122	0,121898	0,022207
0,134	0,151766	0,027648
0,148	0,185302	0,033758
0,162	0,223554	0,040726
0,178	0,265998	0,048458
0,195	0,313158	0,05705
0,214	0,365034	0,0665
0,235	0,422674	0,077001
0,258	0,485554	0,088456
0,284	0,553674	0,100866
0,311	0,632274	0,115185
0,342	0,716114	0,130459
0,375	0,810434	0,147641
0,412	0,915234	0,166733
0,452	1,030514	0,187735
0,496	1,156274	0,210645
0,545	1,292514	0,235465
0,598	1,444474	0,263148
0,657	1,606914	0,292741
0,721	1,785074	0,325197
0,791	1,984194	0,361472
0,869	2,199034	0,40061
0,953	2,434834	0,443567
1,047	2,696834	0,491297
1,149	2,979794	0,542846
1,261	3,288954	0,599167
1,385	3,629554	0,661216

Kornstørrelse (µm)	Kumulativ fordeling vekt (Gram)	Kumulativ fordeling (%)
1,52	3,996354	0,728038
1,669	4,394594	0,800588
1,832	4,829514	0,87982
2,01	5,295874	0,964779
2,207	5,798914	1,056421
2,423	6,322914	1,151881
2,66	6,899314	1,256887
2,92	7,528114	1,371439
3,206	8,209314	1,495537
3,519	8,942914	1,629181
3,862	9,676514	1,762825
4,241	10,46251	1,906015
4,656	11,30091	2,058751
5,111	12,19171	2,221033
5,611	13,18731	2,402407
6,158	14,23531	2,593327
6,761	15,33571	2,793793
7,421	16,48851	3,003805
8,147	17,69371	3,223363
8,944	19,00371	3,462013
9,819	20,36611	3,710209
10,78	21,78091	3,967951
11,83	23,30051	4,244785
12,99	24,87251	4,531165
14,26	26,54931	4,836637
15,65	28,33091	5,161201
17,18	30,21731	5,504857
18,86	32,20851	5,867605
20,7	34,30451	6,249445
22,73	36,55771	6,659923
24,95	39,02051	7,108585
27,38	41,74531	7,604977
30,07	44,78451	8,158645
33	48,24291	8,788681
36,24	52,17291	9,504631
39,77	56,73171	10,33513
43,66	62,07651	11,30882
47,93	68,31211	12,4448
52,63	75,59571	13,77169
57,77	84,08451	15,31814
63,41	93,93571	17,11279

<b>Kornstørrelse (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Kumulativ fordeling vekt (Gram)</b>	<b>Kumulativ fordeling (%)</b>
69,62	105,2017	19,16518
76,43	117,8825	21,47531
83,9	131,9781	24,04319
92,09	147,3837	26,84971
101,1	164,0469	29,88534
111	181,8105	33,12144
121,8	200,5697	36,5389
133,7	220,1673	40,10911
146,8	240,4985	43,81296
161,2	261,4061	47,62181
176,8	282,7329	51,50703
194,2	304,3217	55,43998
213,2	326,0677	59,40157
234,1	347,8661	63,37271
256,8	369,5073	67,31521
282,1	390,7817	71,19088
309,6	411,2701	74,92337
339,8	430,6581	78,45539
373,1	448,5265	81,71058
409,6	464,5085	84,62211
449,7	478,4469	87,16134
493,6	490,1321	89,2901
541,9	499,6165	91,01793
594,9	509,2002	92,76383
653	516,8974	94,16609
716,9	523,0751	95,29151
786,9	528,0475	96,19737
863,9	532,0768	96,9314
948,2	535,4249	97,54133
1041	538,3013	98,06535
1143	539,8424	98,3461
1255	541,1529	98,58485
1377	542,3424	98,80155
1512	543,4921	99,01099
1660	544,6353	99,21925
1822	545,7781	99,42745
2000	546,921	99,63565
4000	548,921	100

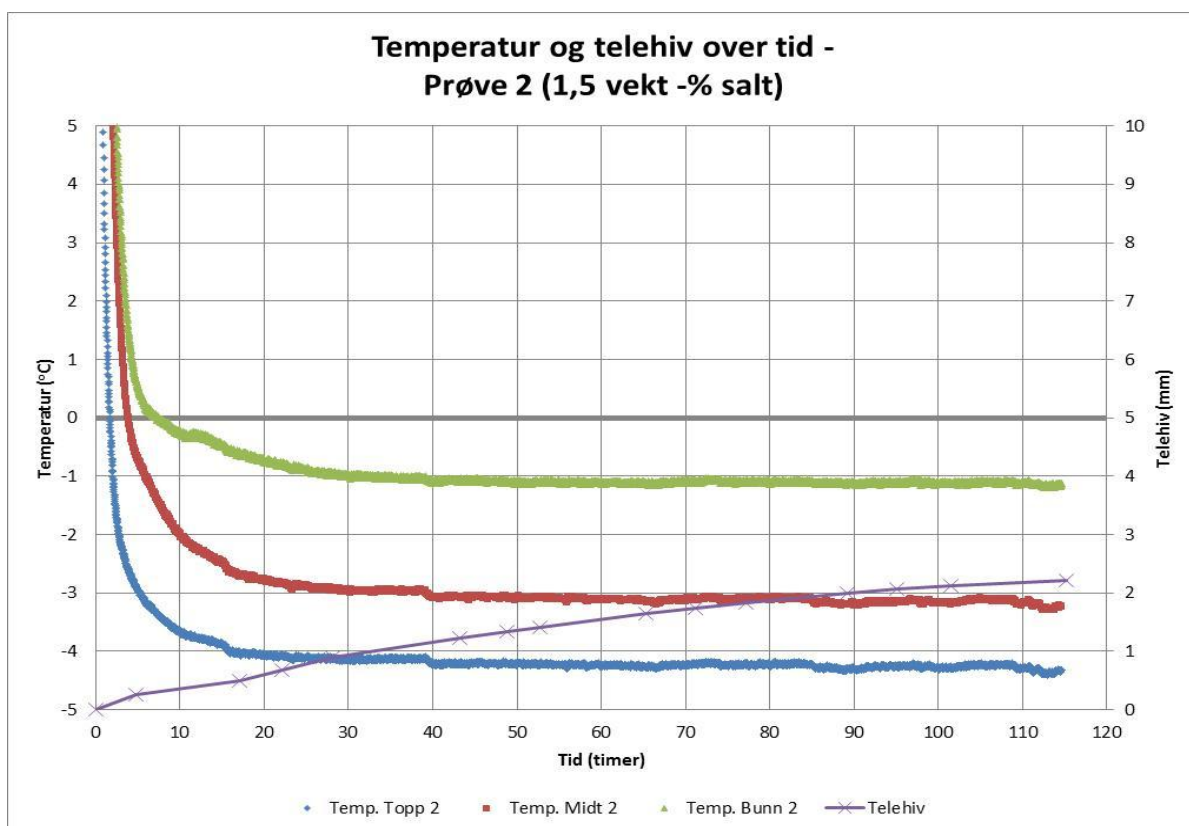
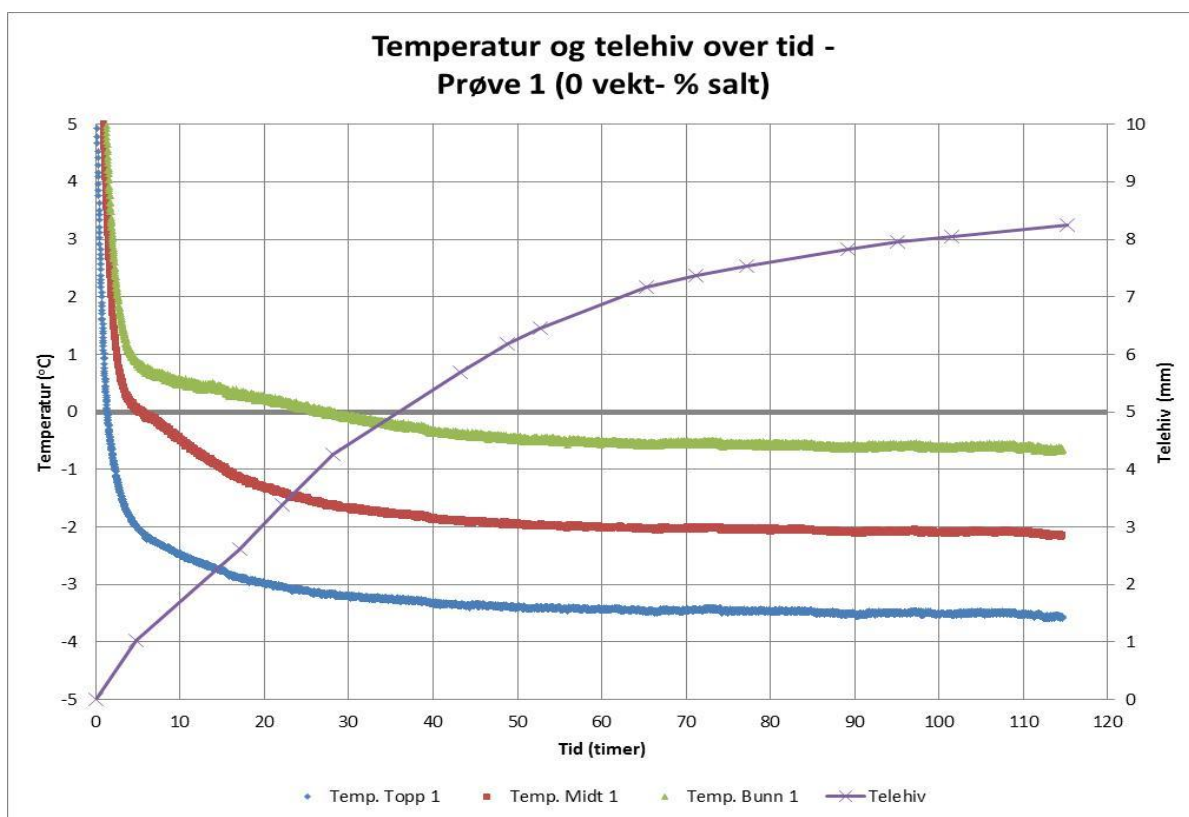




# **Vedlegg 4**

## **Temperaturer og telehiv forsøksserie 1**

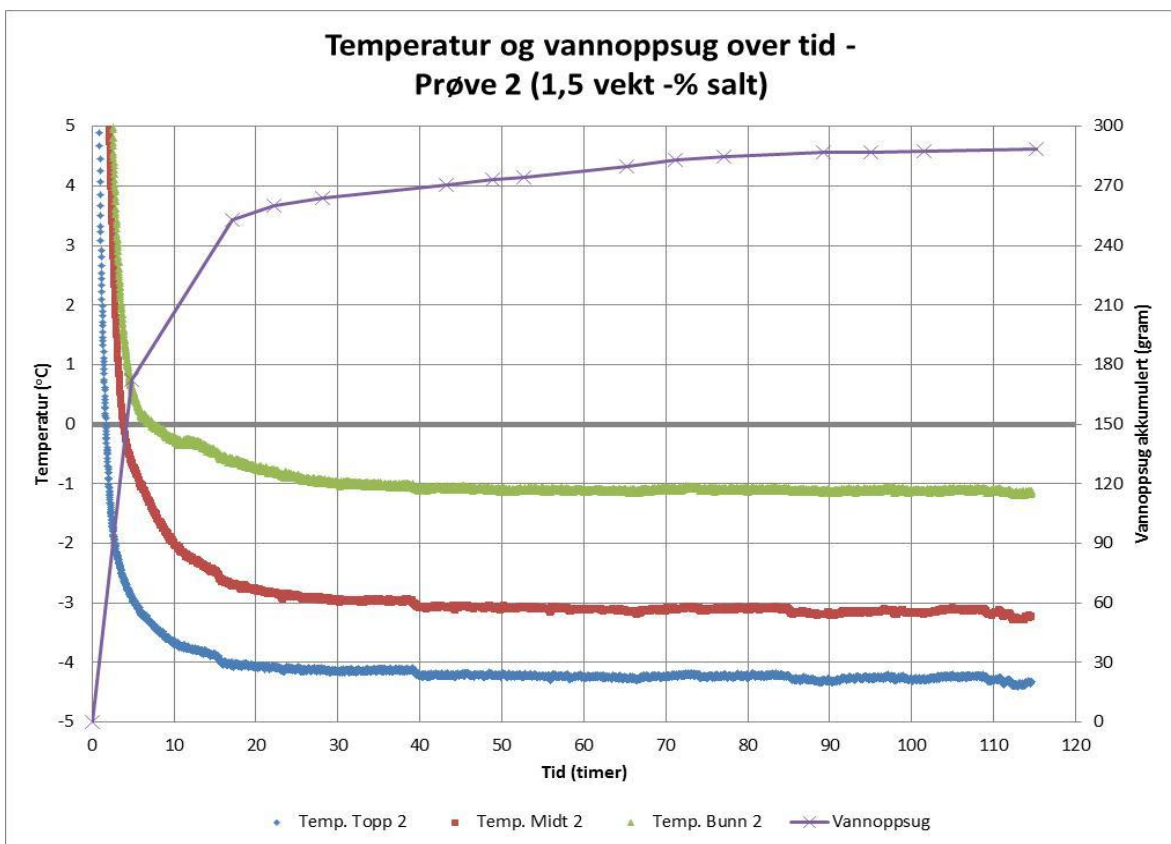
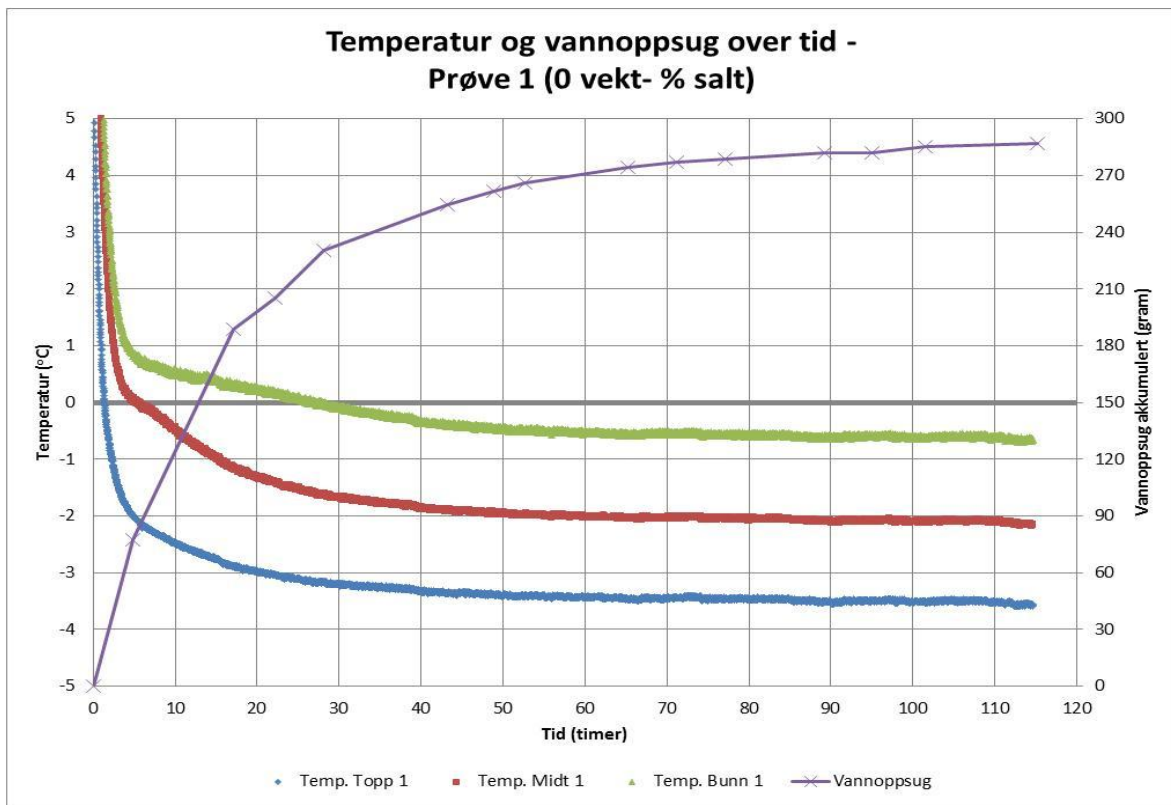






**Vedlegg 5**  
**Temperaturer og vannoppsug**  
**forsøksserie 1**





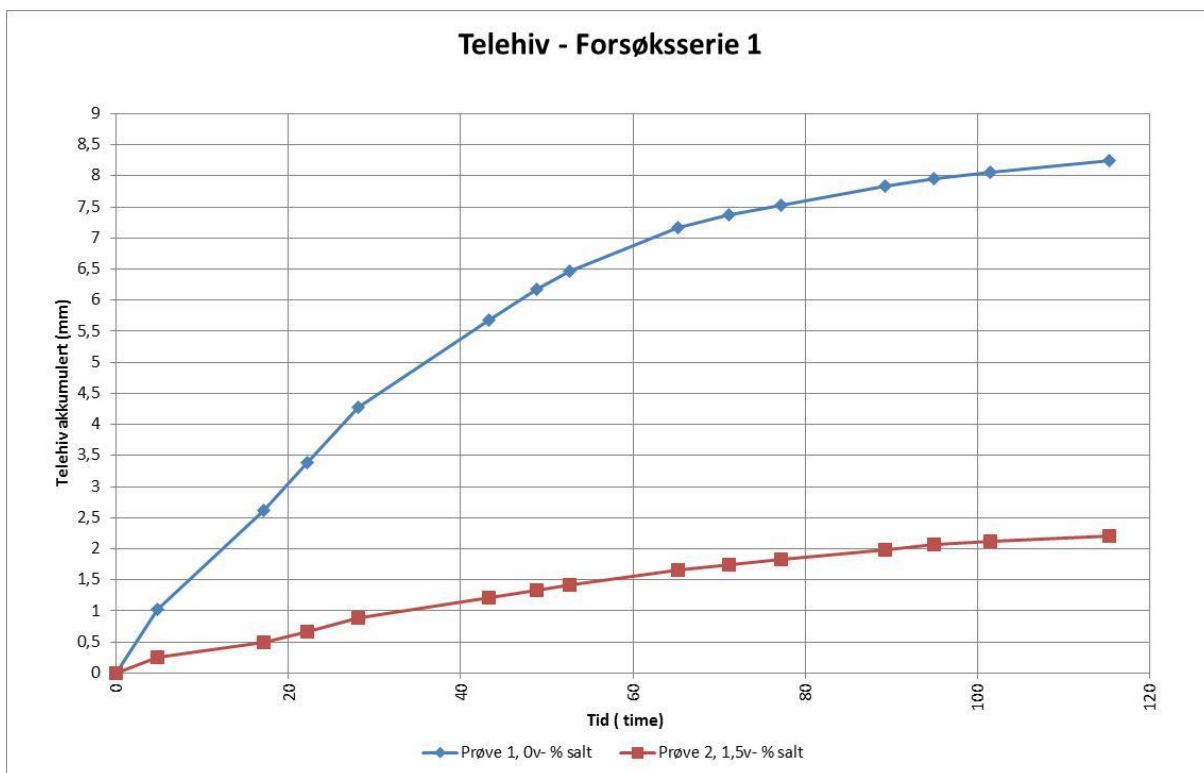




# **Vedlegg 6**

## **Telehiv forsøksserie 1**





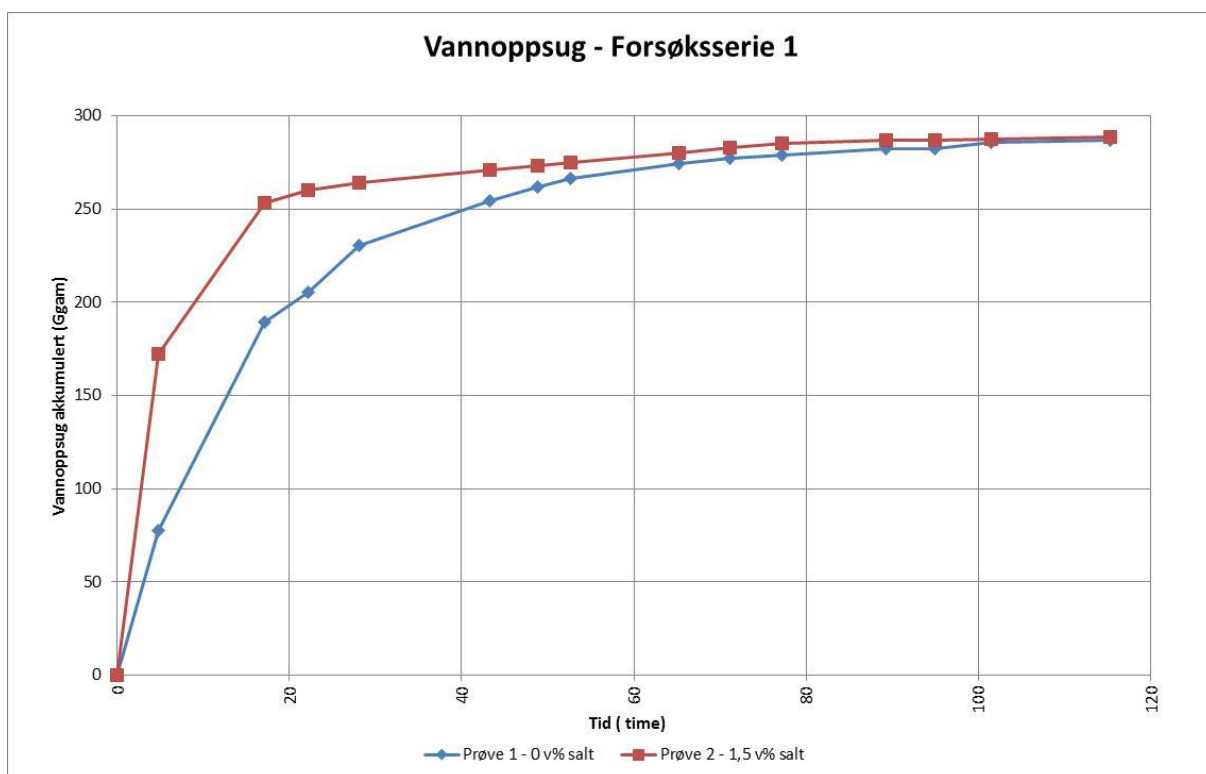
Tid (timer)	Akkumulert telehiv (mm)	
	Prøve 1	Prøve 2
	0 v% salt	1,5v-% salt
0	0	0
5	1,02	0,25
17	2,61	0,5
22	3,39	0,67
28	4,27	0,89
43	5,68	1,22
49	6,18	1,33
53	6,46	1,41
65	7,17	1,65
71	7,37	1,74
77	7,53	1,83
89	7,83	1,99
95	7,95	2,06
101	8,05	2,12
115	8,25	2,21



# **Vedlegg 7**

## **Vannoppsug forsøksserie 1**





Tid (timer)	Akkumulert vannoppsug (gram)	
	Prøve 1	Prøve 2
	0 v% salt	1,5v-% salt
0	0	0
5	77,5	172,3
17	189	253
22	205,3	260
28	230,4	263,8
43	254,4	270,7
49	261,7	273
53	266,4	274,6
65	274,4	280,1
71	277	282,9
77	278,6	284,9
89	282	286,8
95	282	286,8
101	285,4	287,6
115	286,8	288,5



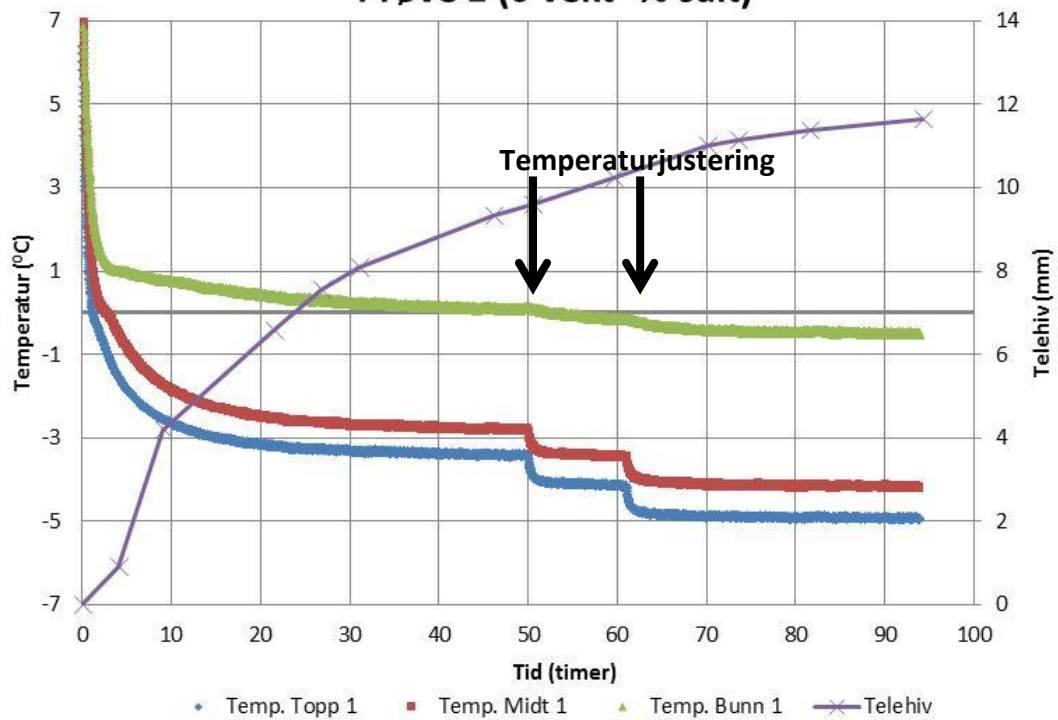


# **Vedlegg 8**

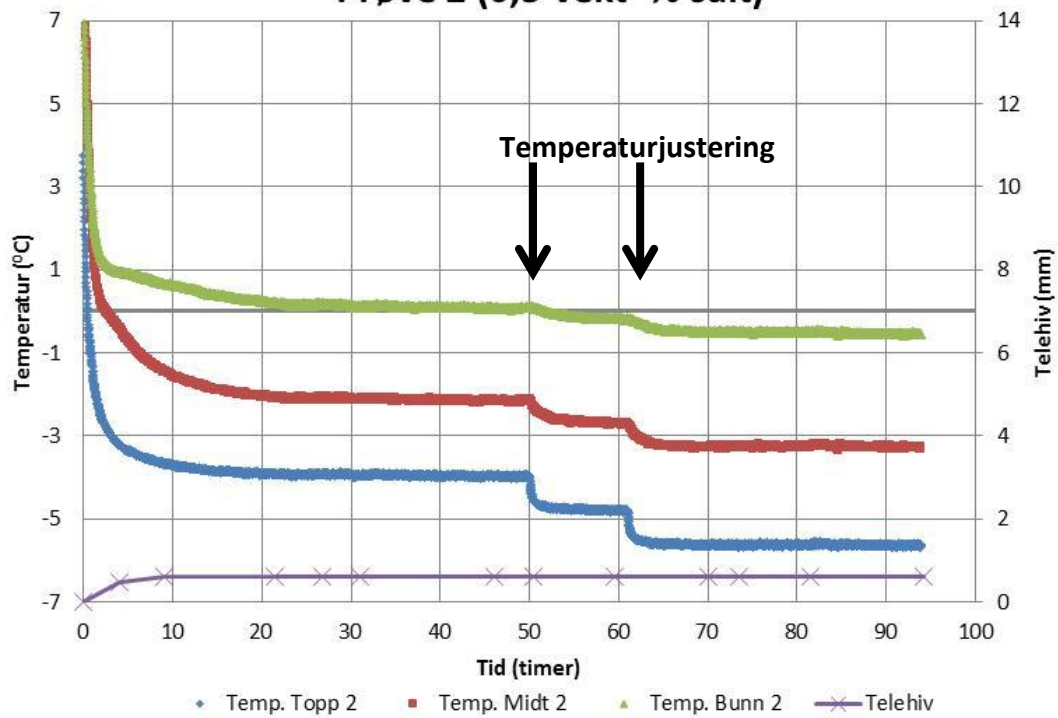
## **Temperaturer og telehiv i forsøksserie 2**

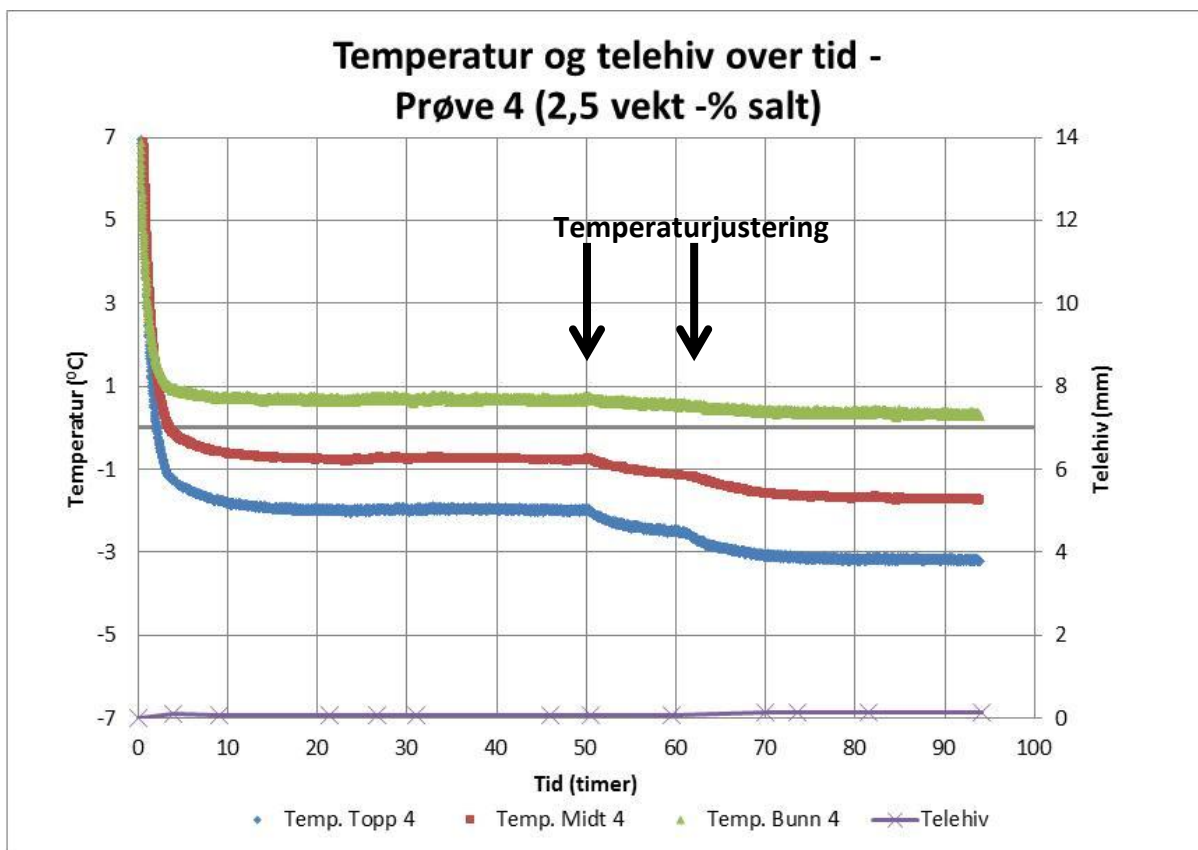
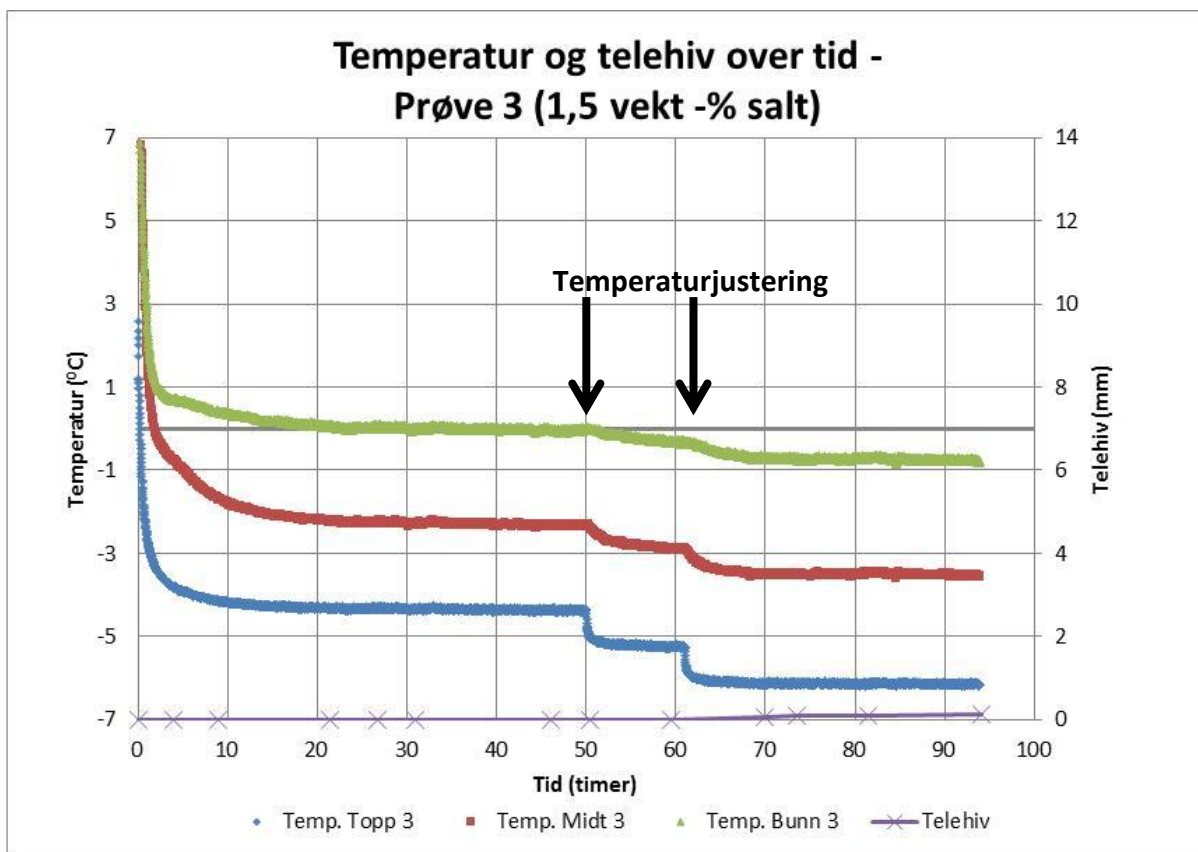


### Temperatur og telehiv over tid - Prøve 1 (0 vekt -% salt)



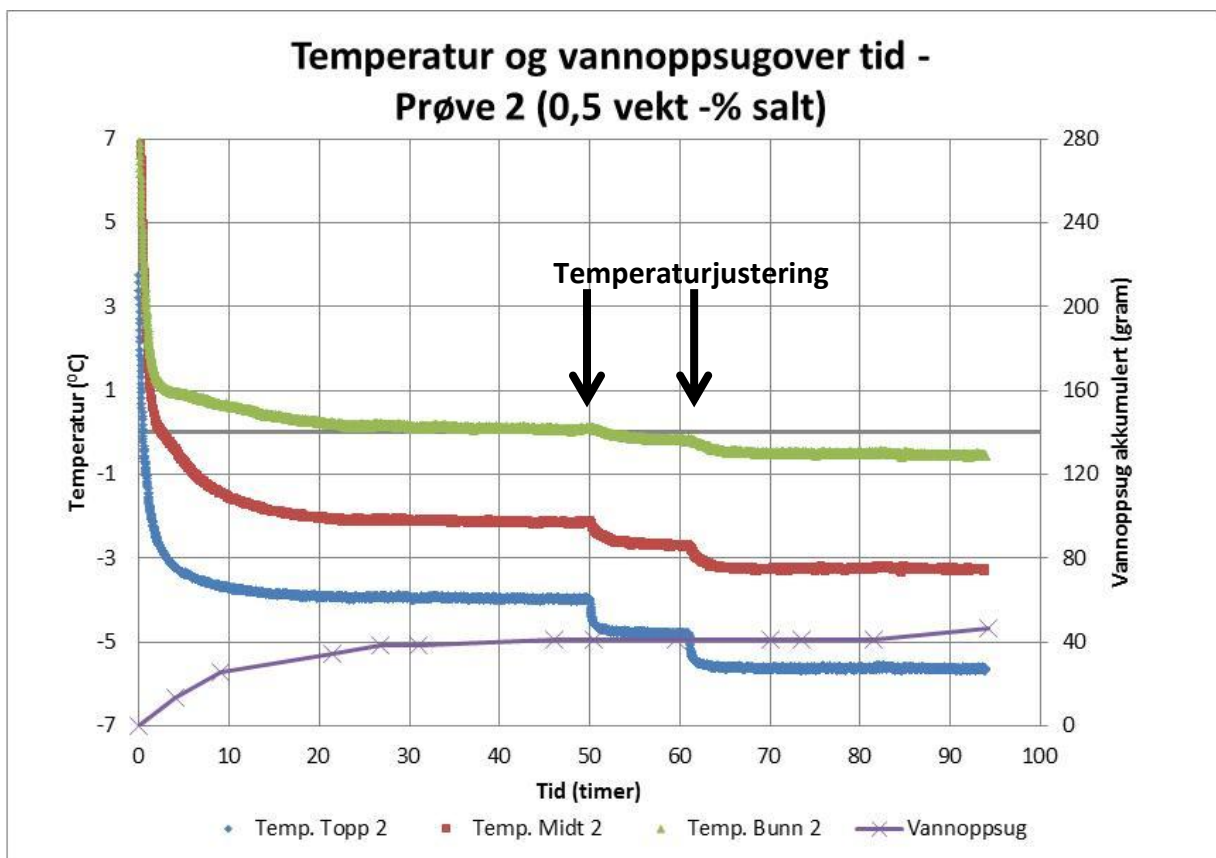
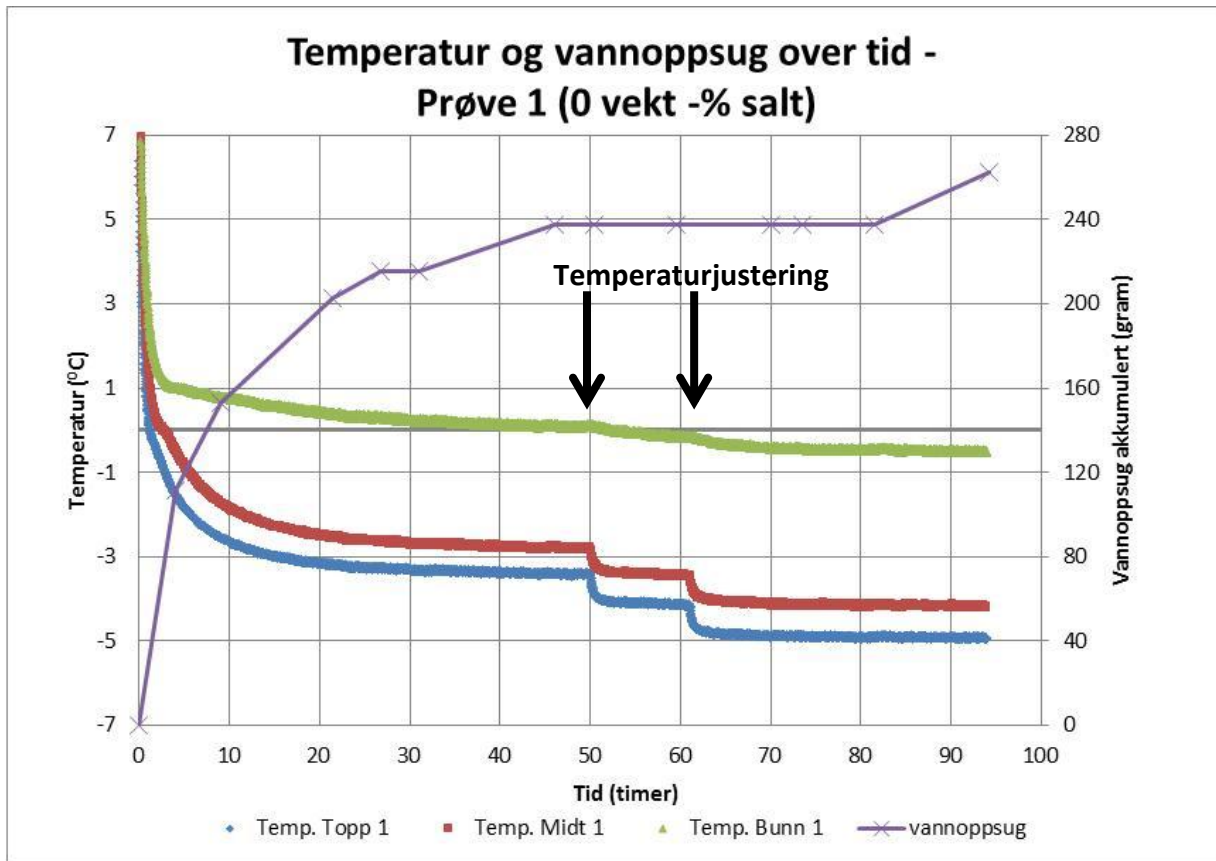
### Temperatur og telehiv over tid - Prøve 2 (0,5 vekt -% salt)

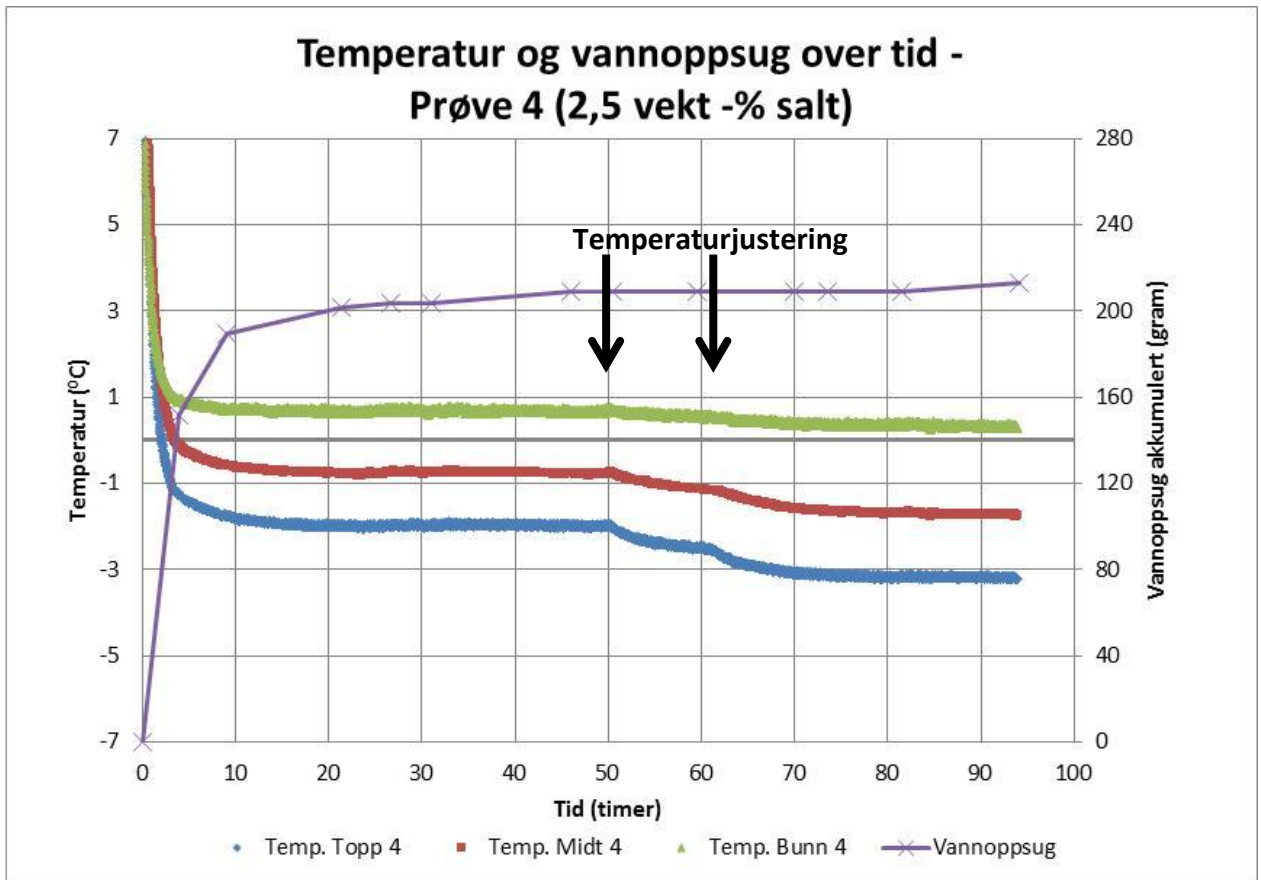
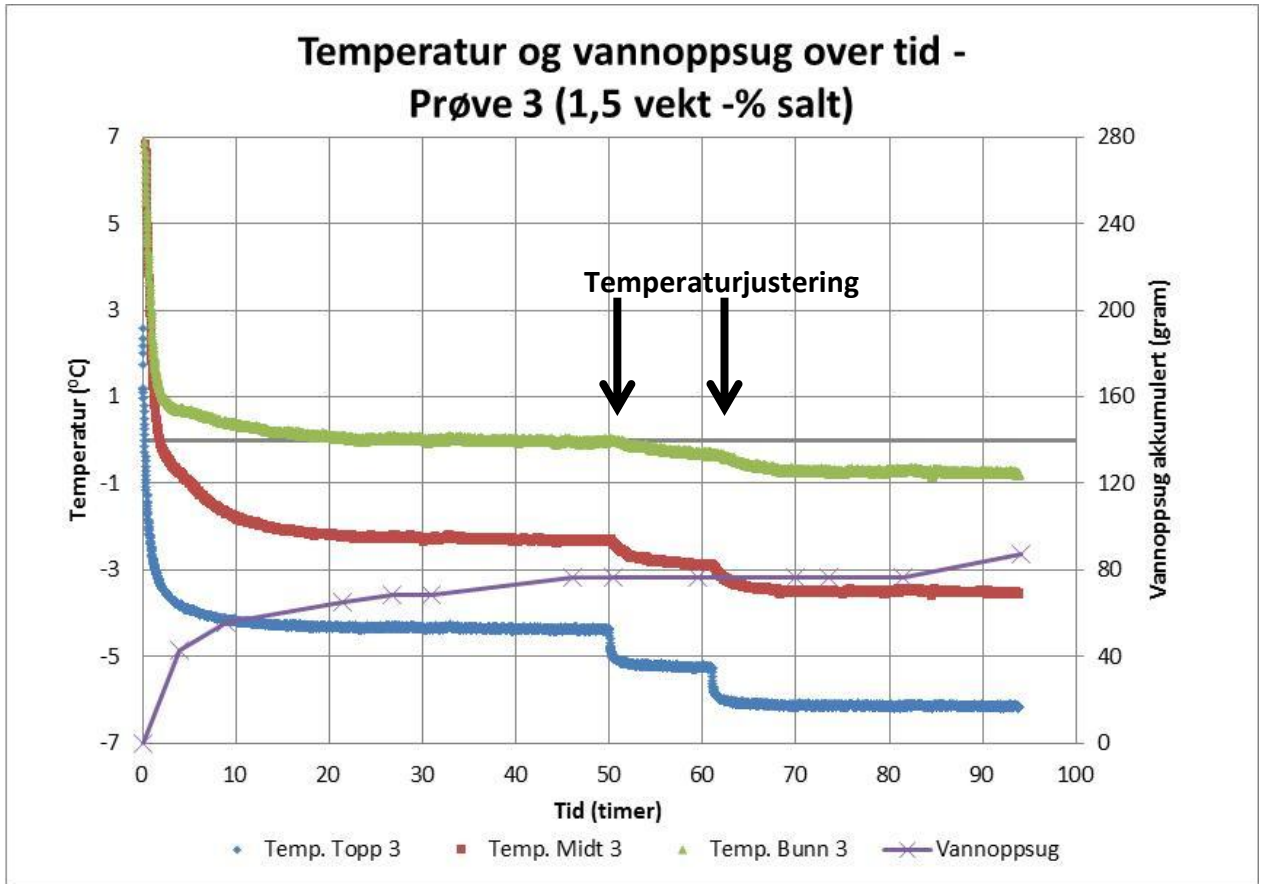




**Vedlegg 9**  
**Temperaturer og vannoppsug i**  
**forsøksserie 2**





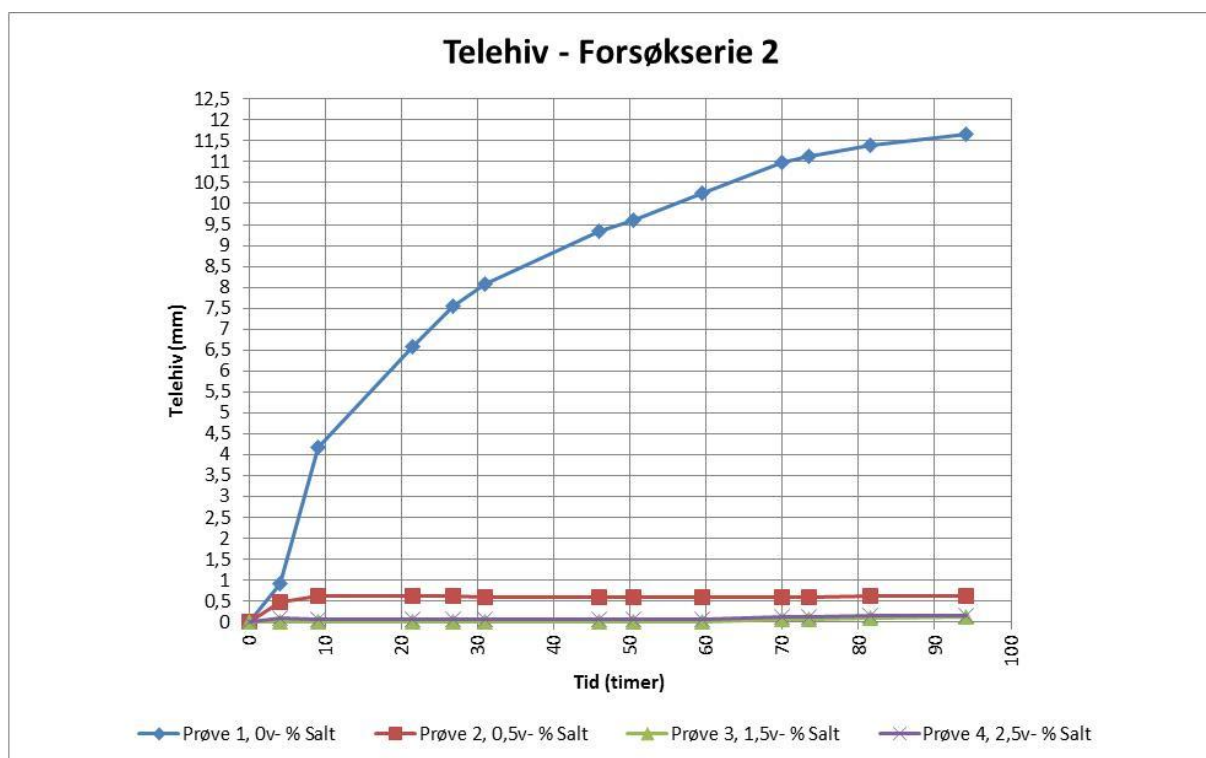




# **Vedlegg 10**

## **Telehiv forsøksserie 2**





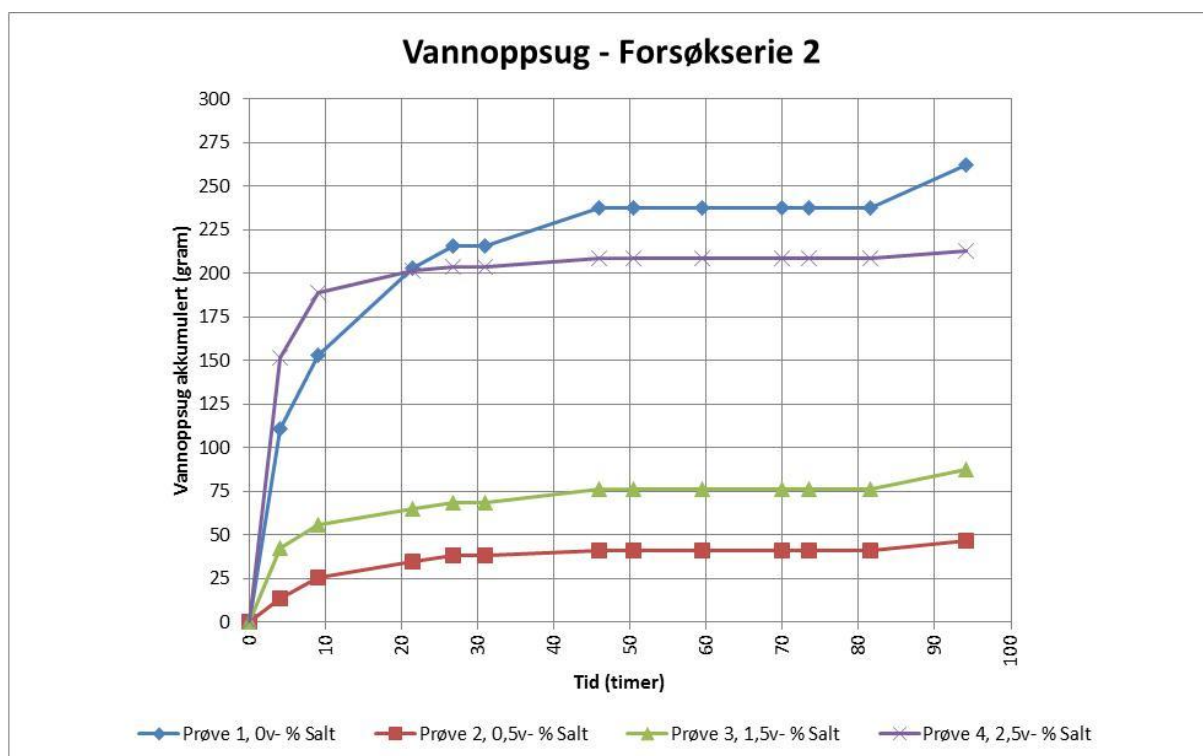
Tid (timer)	Akkumulert telehiv (mm)			
	Prøve 1 0 v% salt	Prøve 2 0,5v-% salt	Prøve 3 1,5v-% salt	Prøve 4 2,5v-% salt
0	0	0	0	0
4	0,91	0,47	0	0,1
9	4,18	0,62	0	0,07
21	6,59	0,62	0	0,07
27	7,55	0,61	0	0,07
31	8,09	0,6	0	0,06
46	9,34	0,6	0	0,06
51	9,6	0,6	0	0,07
60	10,25	0,6	0	0,08
70	10,99	0,6	0,07	0,13
73	11,14	0,6	0,08	0,13
81	11,39	0,61	0,1	0,14
94	11,66	0,61	0,12	0,14



# **Vedlegg 11**

## **Vannoppsug forsøksserie 2**





Tid (timer)	Akkumulert vannoppsug (gram)			
	Prøve 1 0 v% salt	Prøve 2 0,5v-% salt	Prøve 3 1,5v-% salt	Prøve 4 2,5v-% salt
0	0	0	0	0
4	111	13,5	42,7	151,4
9	152,9	25,8	55,8	189,1
21	203	34,6	65,3	201,3
27	215,7	38,3	68,8	203,4
31	215,7	38,3	68,8	203,4
46	237,5	40,9	76,5	208,9
51	237,5	40,9	76,5	208,9
60	237,5	40,9	76,5	208,9
70	237,5	40,9	76,5	208,9
73	237,5	40,9	76,5	208,9
81	237,5	40,9	76,5	208,9
94	262,4	46,8	87,4	212,9





# **Vedlegg 12**

## **Etteranalyse forsøksserie 2**



<b>Forsøksserie:</b>	<b>2</b>	<b>Dato:</b>	<b>30.apr.12</b>		
<b>Prøvenummer</b>	<b>Nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
saltinnhold	vekt - %	0	0,5	1,5	2,5
<b>Før frysing</b>					
Vekt ringer + bunnplate	gram	1862	1843,5	1833,9	1864
vekt av prøve + materiale	gram	4773,7	4769,8	4731,8	4742,7
<b>Etter frysing</b>					
vekt av prøve + materiale	gram	5065,2	4783,1	4794,9	4932,1
Høyde av prøve	cm	12	11	11	11
Høyde av frossen del	cm	12	9,8	9	4
Høyde av ufrossen del	cm	-	1,2	2	7
<b>Frossen del</b>					
vekt skål	gram	502,3	579,9	960,7	748,4
Vekt evt. Ringer	gram	219,7	214,7	210,8	0
vekt total	gram	3936	3537,9	3732,4	2069,7
vekt våt prøve	gram	3214	2743,3	2560,9	1321,3
vekt skål + tørr prøve	gram	3130,2	2992,9	3177,3	1858,5
vekt tørr prøve	gram	2627,9	2413	2216,6	1110,1
vekt vann	gram	586,1	330,3	344,3	211,2
vanninnhold	%	22,3 %	13,7 %	15,5 %	19,0 %
<b>Ufrossen del</b>					
vekt skål	gram	-	509,7	579,2	575,5
vekt skål + våt prøve	gram	-	732,6	992,3	2272,5
vekt våt prøve	gram	-	222,9	413,1	1697
vekt skål + tørr prøve	gram	-	729,8	972,7	2044,3
vekt tørr prøve	gram	-	220,1	393,5	1468,8
vekt vann	gram	-	2,8	19,6	228,2
vanninnhold	%	-	1,3 %	5,0 %	15,5 %



# **Vedlegg 13**

## **Konduktivitetstest forsøksserie 2**



	Benevning	Prøve			
		1 frossen	2 frossen	2 ufrossen	3 frossen
<b>Tilsatt vann total</b>	gram	4511,40	3160,90	1485,50	3339,60
<b>Salt målt</b>	mg/l	66,00	535,00	69,00	
<b>Salt målt</b>	mS/cm				3,06
<b>Opprinnelig vann</b>	gram	586,10	330,30	2,80	344,30
<b>salt med omregning (Faktor 600 fra mS/cm til mg/l)</b>	g/l	0,07	0,54	0,07	1,84
<b>Forholdstall fra tilsatt til vann til opprinnelig vann</b>	-	7,70	9,57	530,54	9,70
<b>Salt i blanding</b>	v-%	0,05 %	0,51 %	3,66 %	1,78 %

	Benevning	Prøve		
		3 ufrossen	4 frossen	4 ufrossen
<b>Tilsatt vann total</b>	gram	1546,90	3205,60	3221,90
<b>Salt målt</b>	mg/l	373,00		
<b>Salt målt</b>	mS/cm		3,27	3,35
<b>Opprinnelig vann</b>	gram	19,60	211,20	228,20
<b>salt med omregning (Faktor 600 fra mS/cm til mg/l)</b>	g/l	0,37	1,96	2,01
<b>Forholdstall fra tilsatt til vann til opprinnelig vann</b>	-	78,92	15,18	14,12
<b>Salt i blanding</b>	v-%	2,94 %	2,98 %	2,84 %

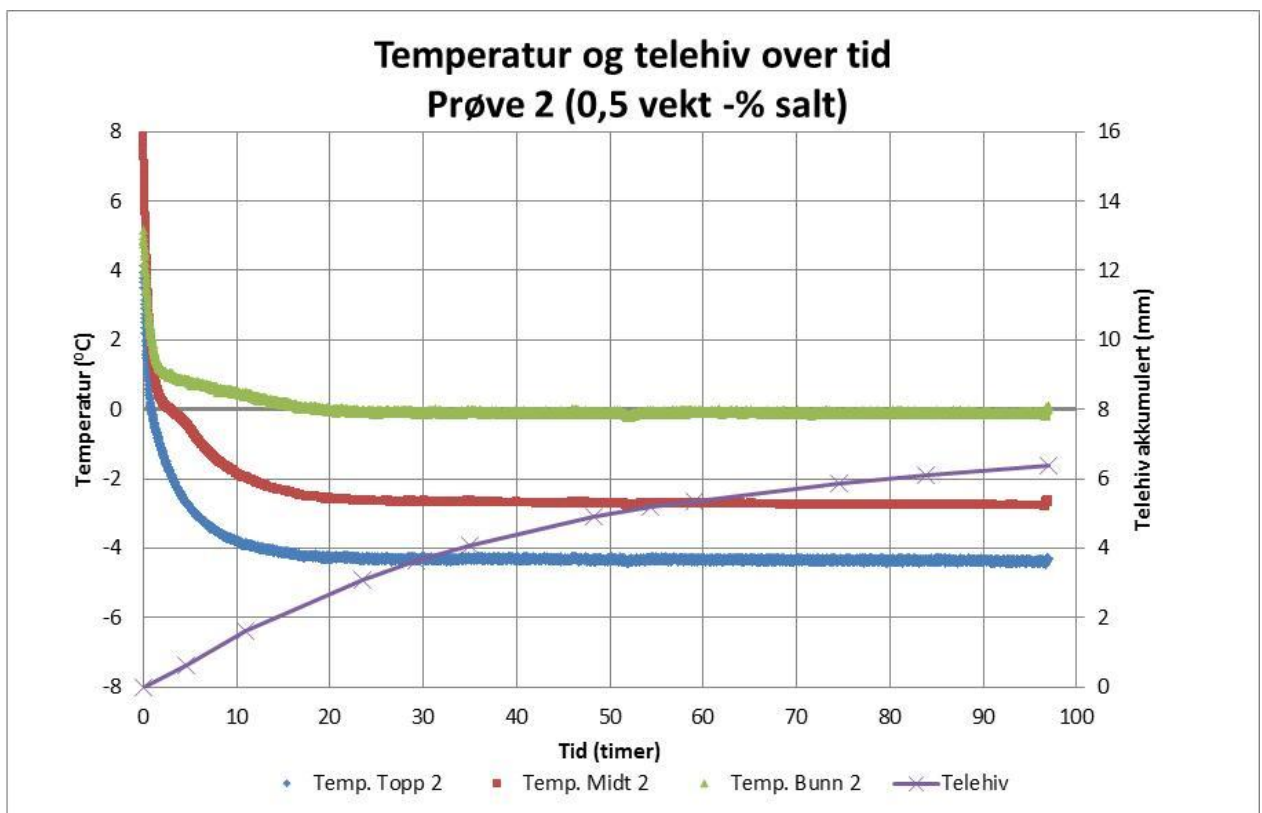
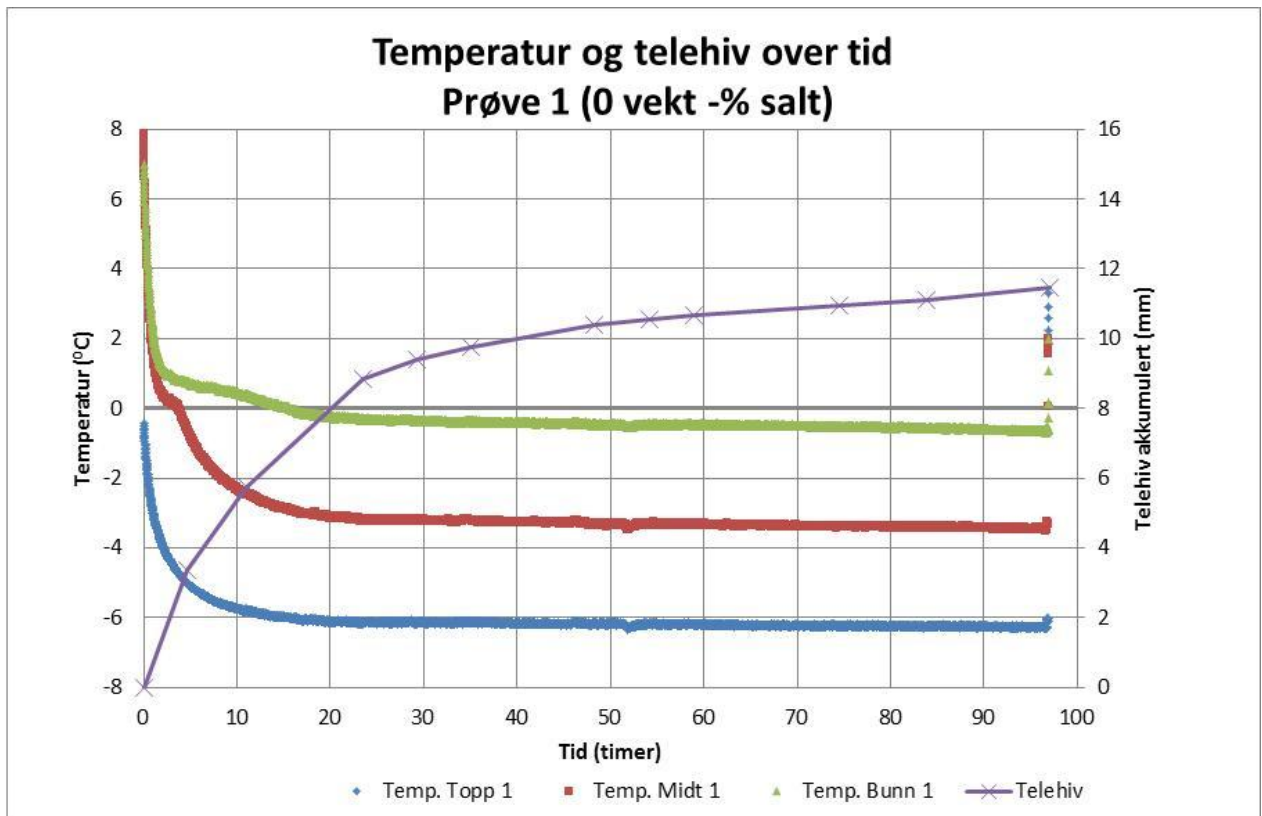


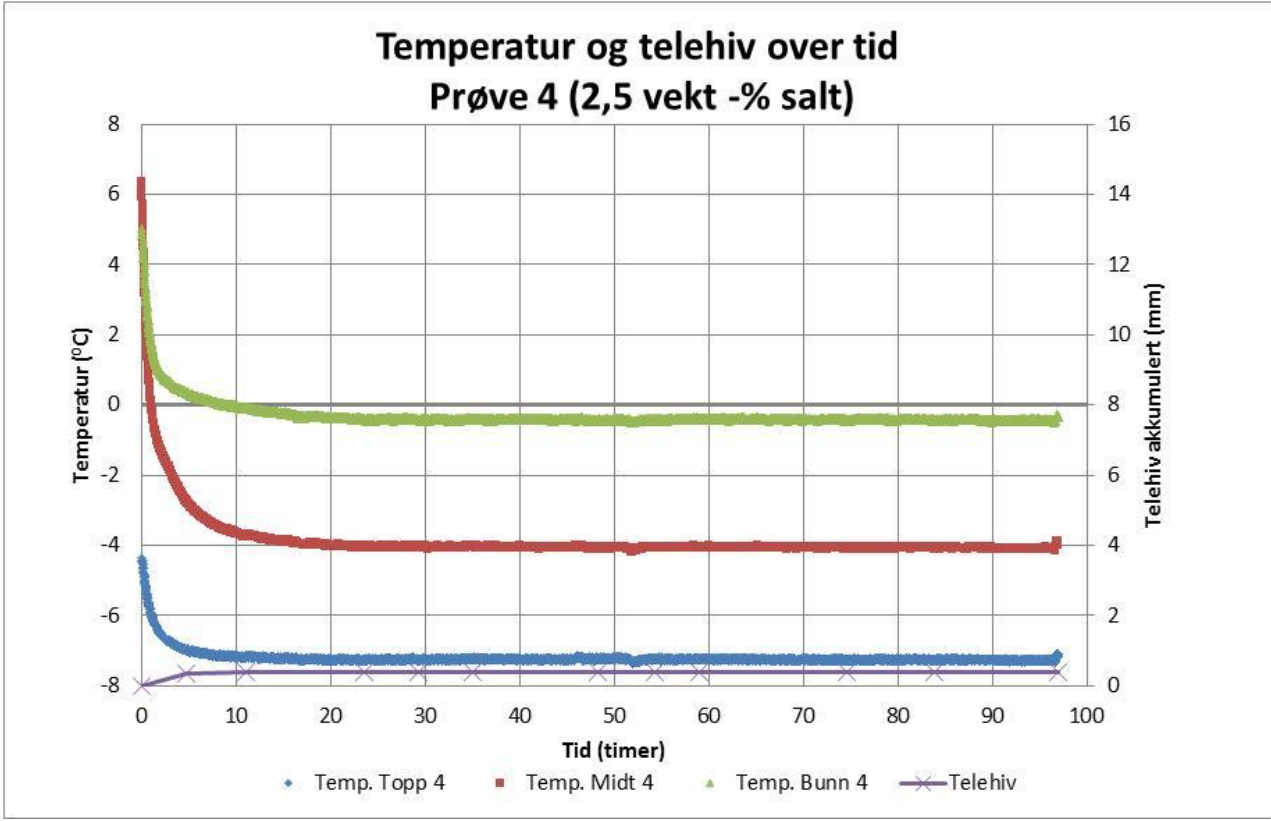
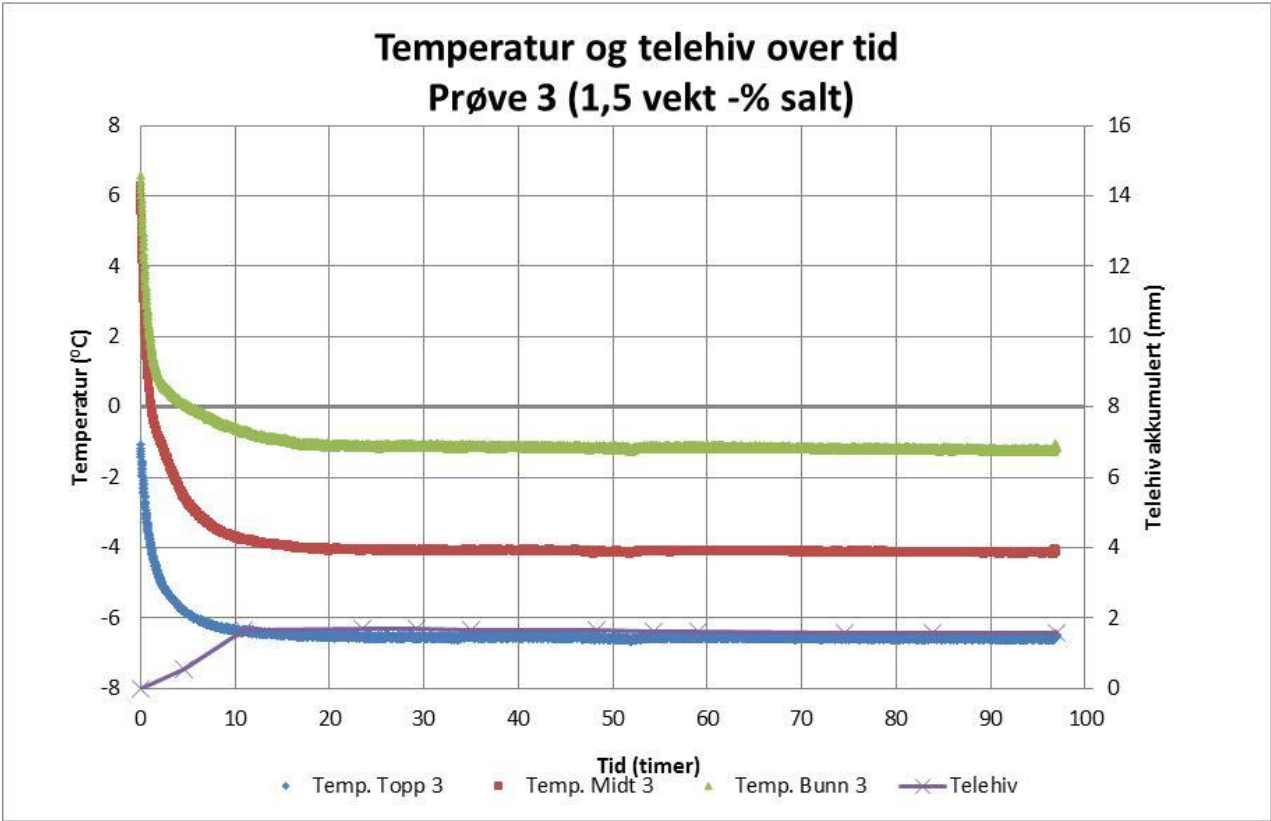


# **Vedlegg 14**

## **Temperatur og telehiv forsøksserie 3**

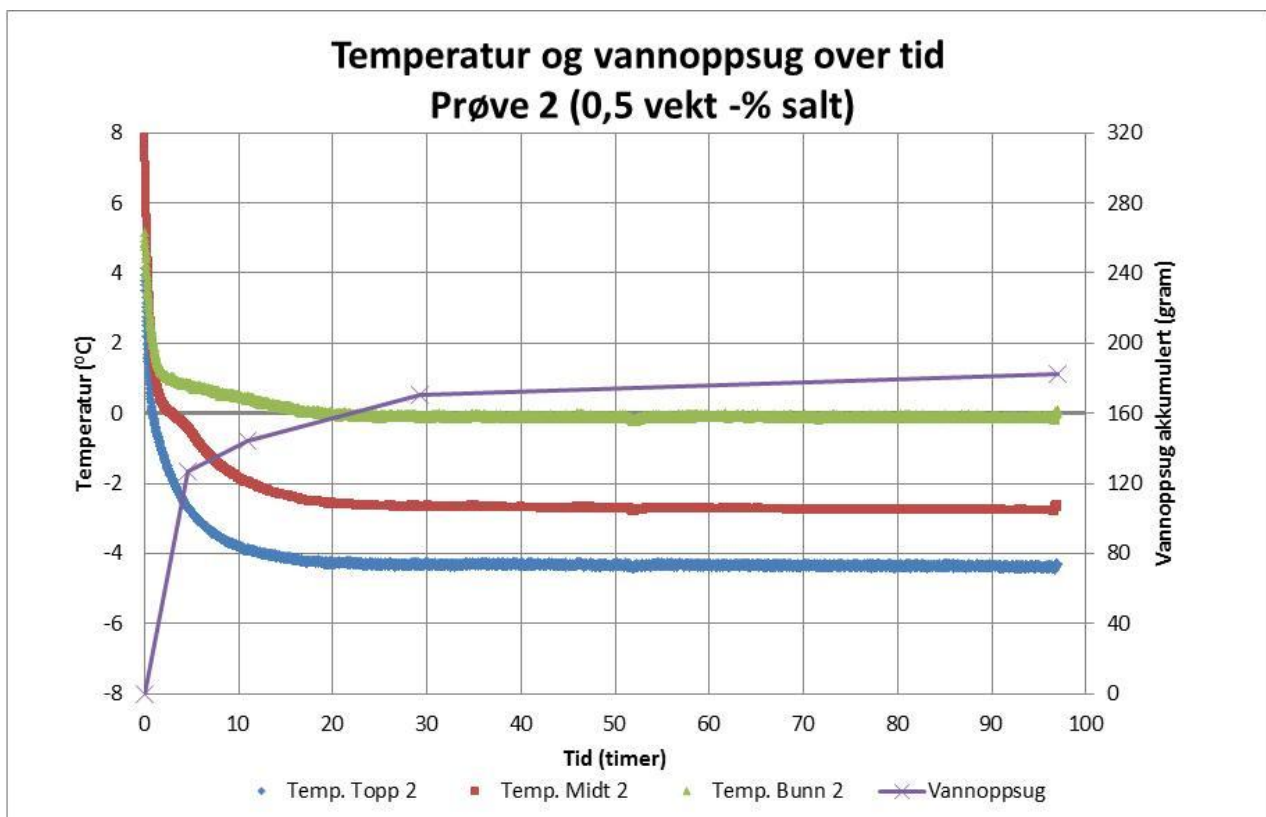
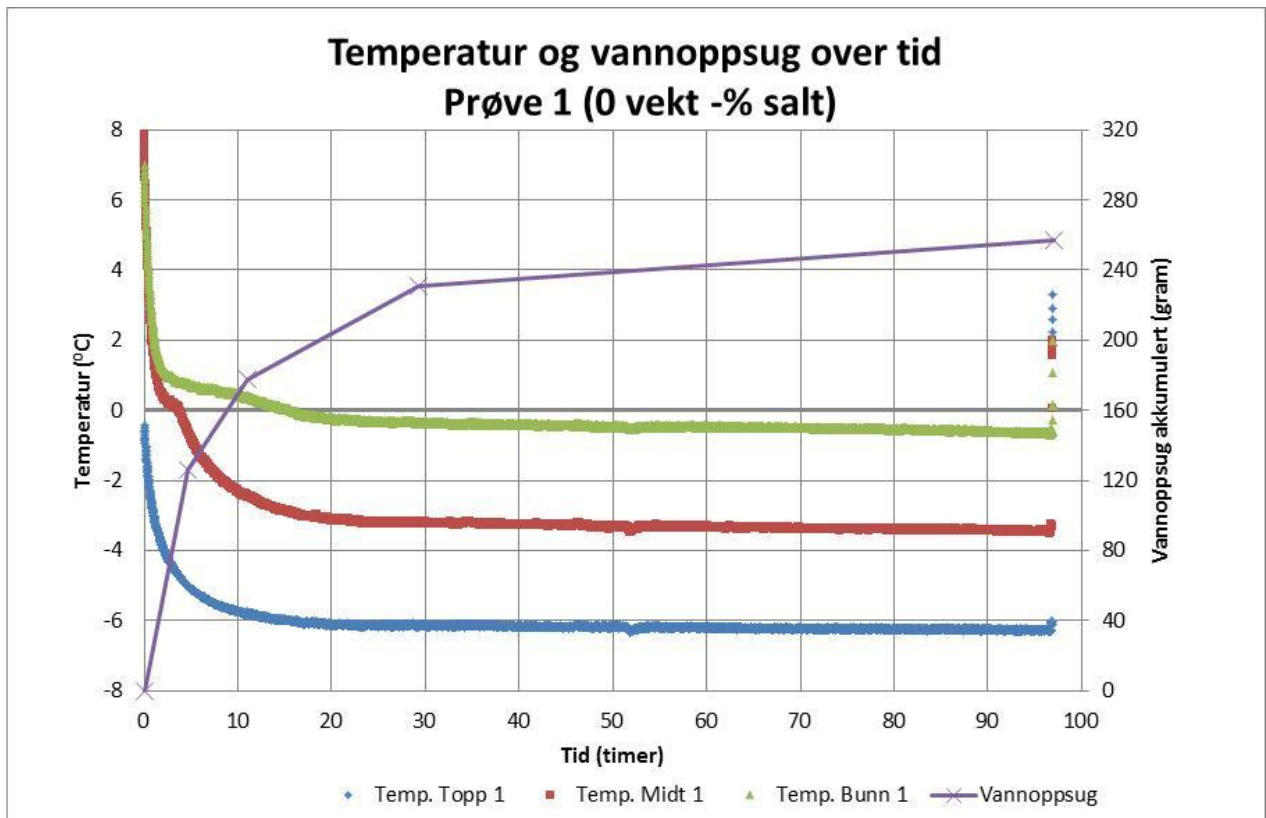


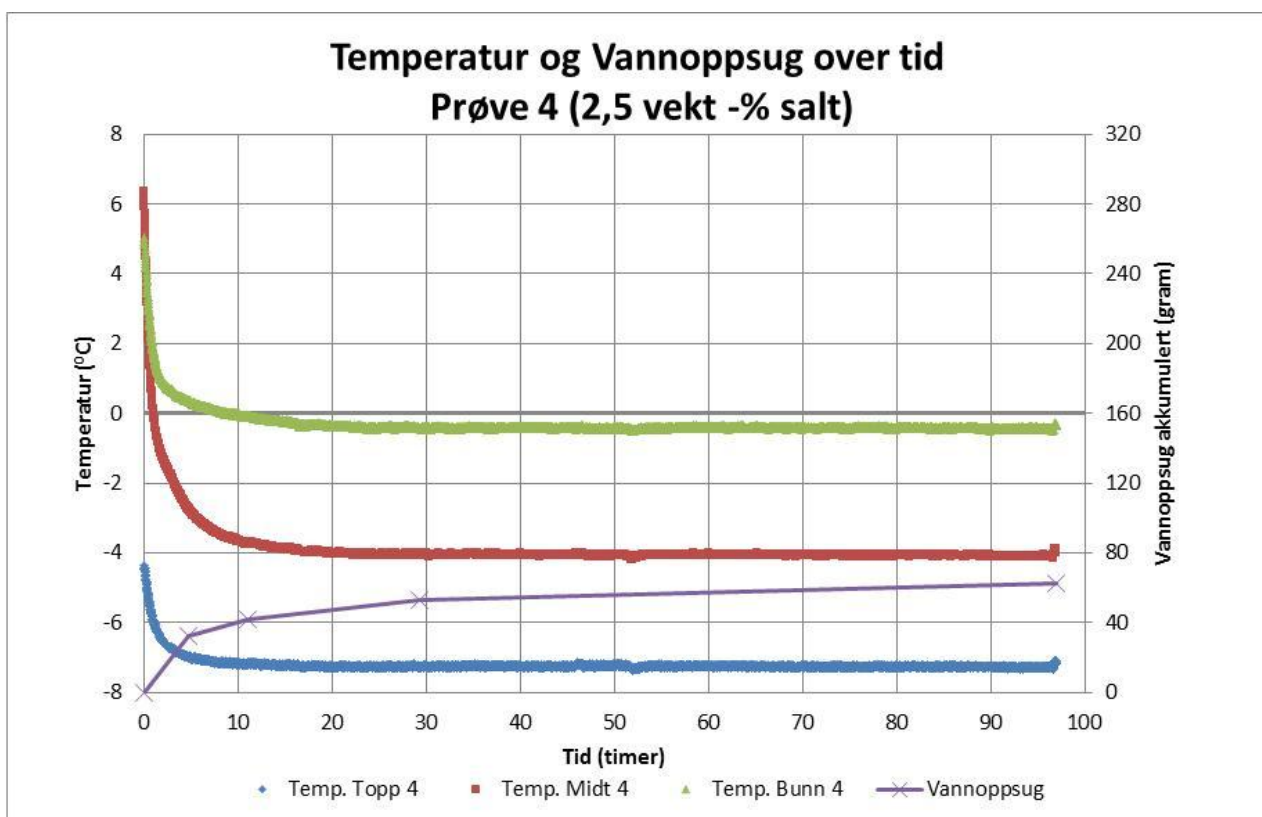
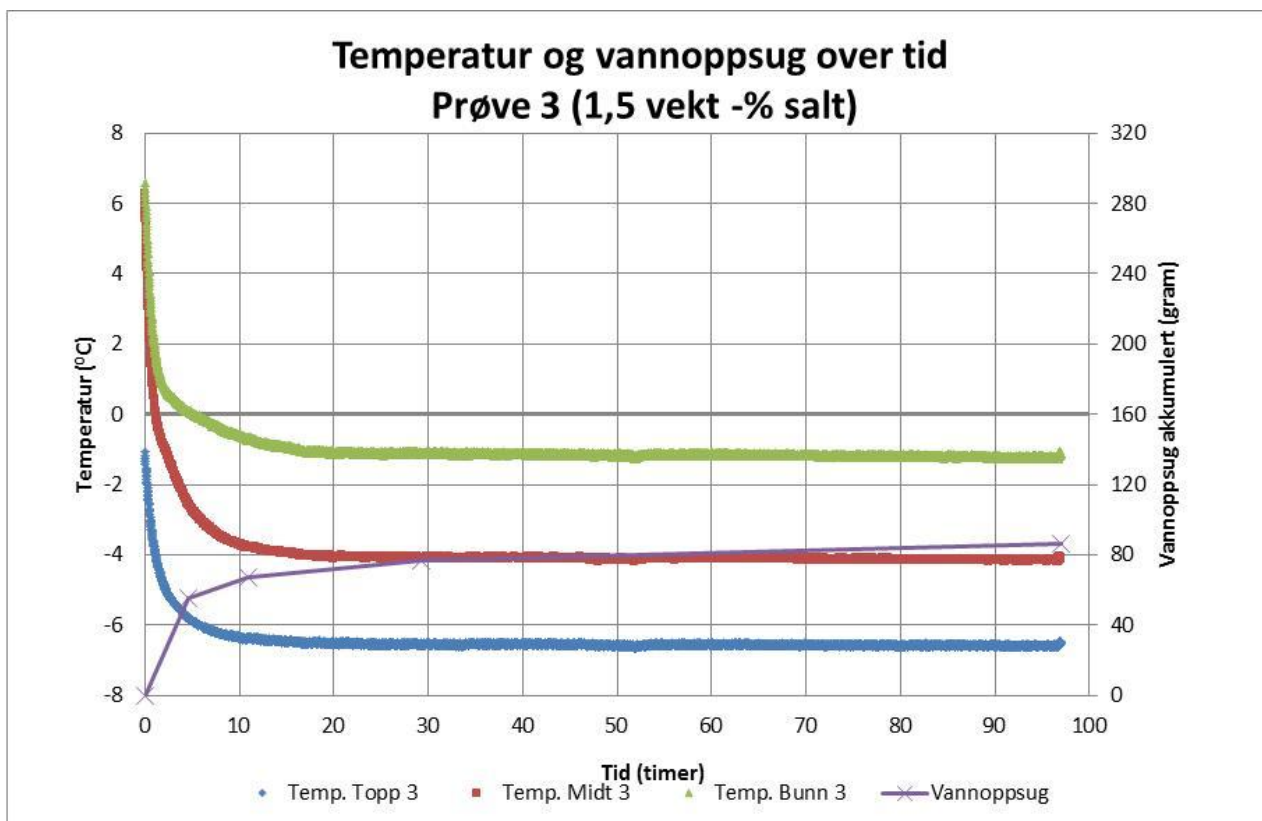




**Vedlegg 15**  
**Temperatur og vannoppsug**  
**forsøksserie 3**





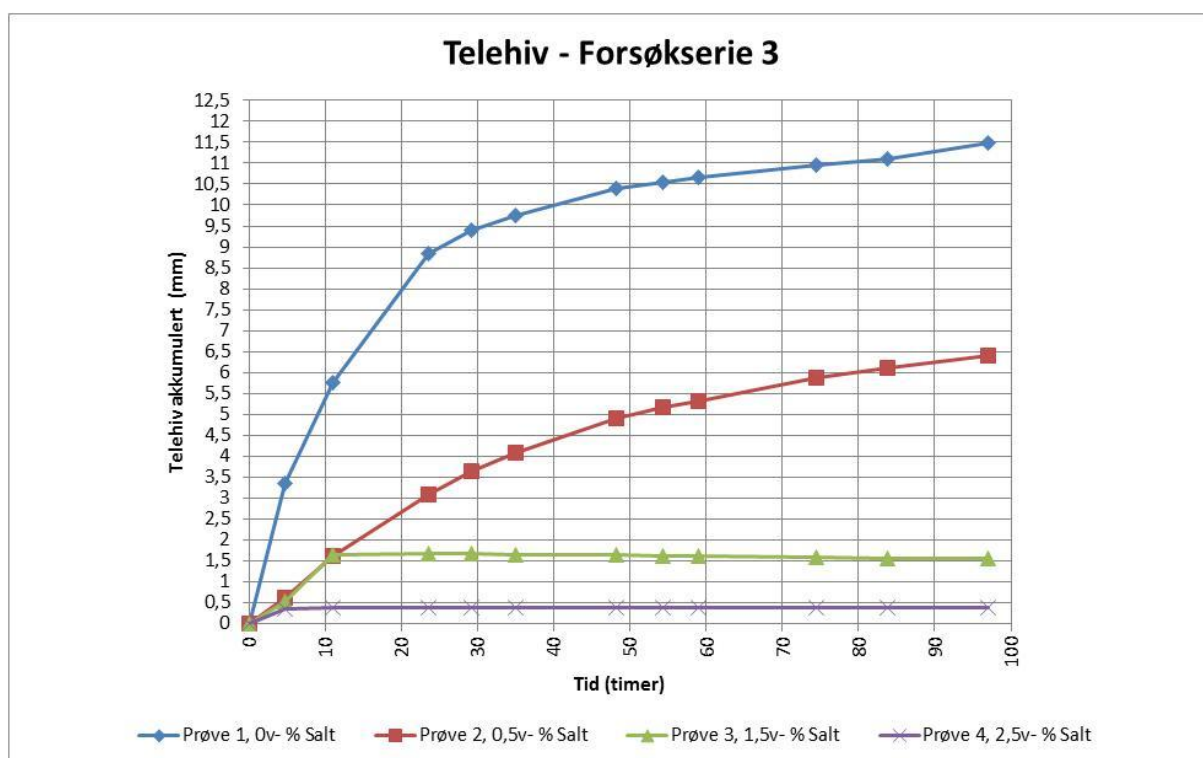




# **Vedlegg 16**

## **Telehiv forsøksserie 3**





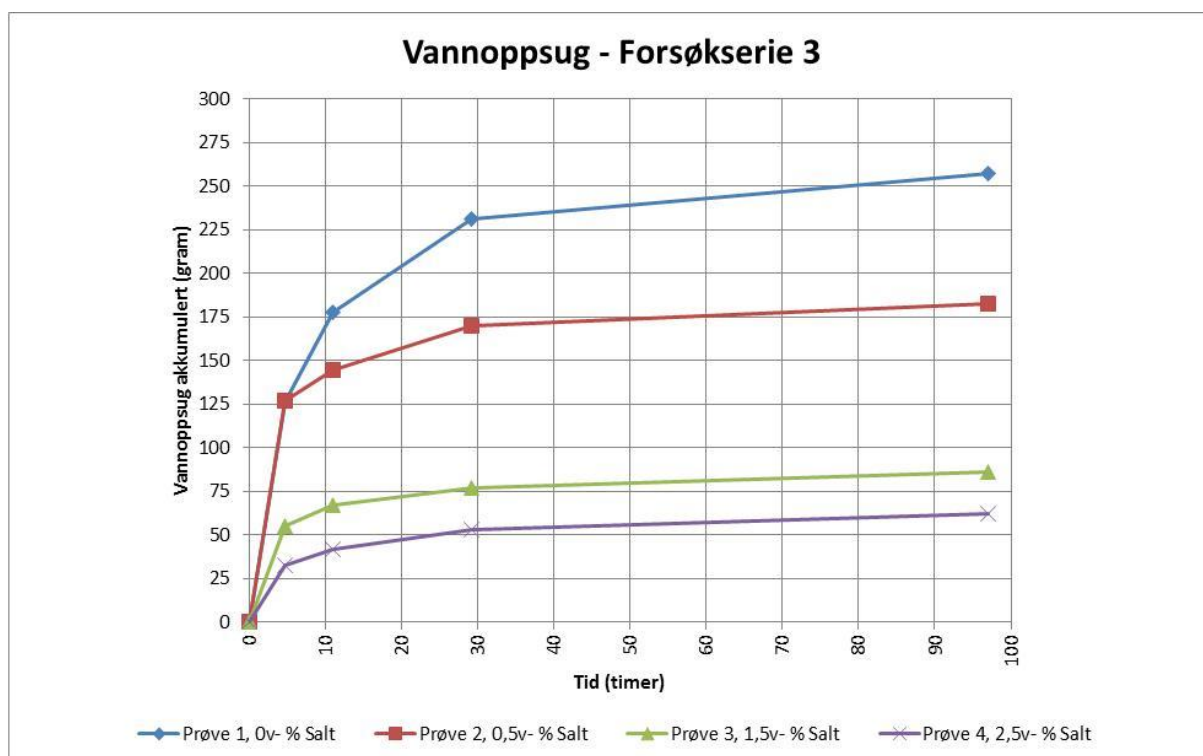
Tid (timer)	Akkumulert telehiv (mm)			
	Prøve 1 0v-% salt	Prøve 2 0,5v-% salt	Prøve 3 1,5v-% salt	Prøve 4 2,5v-%salt
0	0	0	0	0
5	3,35	0,63	0,53	0,35
11	5,76	1,63	1,66	0,38
24	8,84	3,1	1,68	0,38
29	9,4	3,65	1,68	0,38
35	9,76	4,08	1,65	0,38
48	10,39	4,92	1,65	0,38
54	10,55	5,17	1,61	0,38
59	10,66	5,33	1,61	0,38
75	10,94	5,87	1,59	0,38
84	11,11	6,1	1,57	0,38
97	11,48	6,4	1,56	0,38



# **Vedlegg 17**

## **Vannoppsug forsøksserie 3**





Tid (timer)	Akkumulert vannoppsug (gram)			
	Prøve 1 0v-% salt	Prøve 2 0,5v-% salt	Prøve 3 1,5v-% salt	Prøve 4 2,5v-%salt
0	0	0	0	0
5	125,9	127,1	55,1	32,6
11	177,5	144,4	67,2	42
24	-	-	-	-
29	231	170,2	77	53,3
35	-	-	-	-
48	-	-	-	-
54	-	-	-	-
59	-	-	-	-
75	-	-	-	-
84	-	-	-	-
97	256,9	182,5	86,2	62,3





# **Vedlegg 18**

## **Etteranalyse forsøksserie 3**



<b>Forsøksserie:</b>	<b>3</b>	<b>Dato:</b>	<b>18.mai.12</b>		
<b>Prøvenummer</b>	<b>nr</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
saltinnhold	vekt - %	0	0,5	1,5	2,5
<b>Før frysing</b>					
Vekt ringer + bunnplate	gram	1850,1	1842,2	1837	1845
vekt av prøve + materiale	gram	4856,9	4792,2	4783,6	4790,4
<b>Etter frysing</b>					
vekt av prøve + materiale	gram	5102	4976,4	4851,8	4823,3
Høyde av prøve	cm	11	10	10	10
Høyde av frossen del	cm	11	8,4	10	8,4
Høyde av ufrossen del	cm	0	1,6	0	1,6



**Vedlegg 19**  
**Tallgrunnlag vanninnhold**  
**forsøksserie 3**



Prøve nr		1			
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4og 5 (bunn)
Skål	gram	260,7	237,5	263,9	238,1
skål + materiale våt	gram	835,6	863,9	951,9	1533,3
materiale vått	gram	574,9	626,4	688	1295,2
skål + materiale tørt	gram	762,7	762,9	837,7	1280,6
Materiale tørt	gram	502	525,4	573,8	1042,5
vanninnhold	%	14,5 %	19,2 %	19,9 %	24,2 %

Prøve nr		2				
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)
Skål	gram	575,2	579,7	579,8	509,7	493,5
skål + materiale våt	gram	993,3	1370,2	1204,5	1148,1	1106,4
materiale vått	gram	418,1	790,5	624,7	638,4	612,9
skål + materiale tørt	gram	933,8	1238,6	1101,6	1043,6	1021,8
Materiale	gram	358,6	658,9	521,8	533,9	528,3
vanninnhold	%	16,6 %	20,0 %	19,7 %	19,6 %	16,0 %

Prøve nr		3				
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)
Skål	gram	533,1	509,4	323,2	259,6	241
skål + materiale våt	gram	1037,9	1276,8	818,3	911,9	811,6
Materiale vått	gram	504,8	767,4	495,1	652,3	570,6
skål + materiale tørt	gram	970	1168	758,8	823,5	753,2
Materiale tørt	gram	436,9	658,6	435,6	563,9	512,2
vanninnhold	%	15,5 %	16,5 %	13,7 %	15,7 %	11,4 %

Prøve nr		4				
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)
Skål	gram	498,7	604,6	513	495	388,2
skål + materiale våt	gram	919,5	1363,3	1128,8	1160,8	912,3
Materiale vått	gram	420,8	758,7	615,8	665,8	524,1
skål + materiale tørt	gram	866,5	1257,5	1045,9	1078	872,9
Materiale tørt	gram	367,8	652,9	532,9	583	484,7
vanninnhold	%	14,4 %	16,2 %	15,6 %	14,2 %	8,1 %





**Vedlegg 20**  
**Tallgrunnlag konduktivitetsstest**  
**forsøksserie 3**



Prøve		nr 1				
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4 og 5 (bunn)	Totalt
materiale vått	gram	574,9	626,4	688,0	1295,2	
Materiale tørt	gram	502,0	525,4	573,8	1042,5	
vekt vann	gram	72,9	101,0	114,2	252,7	540,8
vekt kolbe	gram	387,2	387,2	387,2	387,2	
vekt vann + kolbe	gram	1391,4	1356,8	1363,8	2123,6	
vekt vann tilsatt	gram	1004,2	969,6	976,6	1736,4	
forholdstall tilsatt vann og vann i materiale	gram	13,8	9,6	8,6	6,9	
salt	mg/l	70	71	66	42	
salt	myS/cm	100,0	107,0	103,0	66,0	
Salt	mS/cm	-	-	-	-	
salt i konduktivitetsprøven	g/l	0,1	0,1	0,1	0,0	
antall gram i prøve	gram	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3
Salt i opprinnelig prøve	v - %	<b>0,10 %</b>	<b>0,07 %</b>	<b>0,06 %</b>	<b>0,03 %</b>	<b>0,05 %</b>

Prøve		nr 2					
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)	Totalt
materiale vått	gram	418,1	790,5	624,7	638,4	612,9	
Materiale	gram	358,6	658,9	521,8	533,9	528,3	
vekt vann	gram	59,5	131,6	102,9	104,5	84,6	483,1
vekt kolbe	gram	389,2	389,2	389,2	389,2	389,2	
vekt vann + kolbe	gram	1356,5	1407,8	1406,2	1401,6	1439,2	
vekt vann tilsatt	gram	967,3	1018,6	1017,0	1012,4	1050,0	
forholdstall tilsatt vann og vann i materiale	gram	16,3	7,7	9,9	9,7	12,4	
salt	mg/l	765,0	1003,0	563,0	435,0	468,0	
salt	myS/cm	1135,0	1540,0	860,0	655,0	705,0	
Salt	mS/cm	-	-	-	-	-	
salt i konduktivitetsprøven	g/l	0,8	1,0	0,6	0,4	0,5	
antall gram i prøve	gram	0,7	1,0	0,6	0,4	0,5	3,3
Salt i opprinnelig prøve	v - %	<b>1,23 %</b>	<b>0,77 %</b>	<b>0,55 %</b>	<b>0,42 %</b>	<b>0,58 %</b>	<b>0,67 %</b>

Prøve		nr 3					
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)	Totalt
Materiale vått	gram	504,8	767,4	495,1	652,3	570,6	
Materiale tørt	gram	436,9	658,6	435,6	563,9	512,2	
vekt vann	gram	67,9	108,8	59,5	88,4	58,4	383,0
vekt kolbe	gram	388,9	388,9	388,9	388,9	388,9	
vekt vann + kolbe	gram	1391,1	1401,2	1423,6	1391,1	1376,1	
vekt vann tilsatt	gram	1002,2	1012,3	1034,7	1002,2	987,2	
forholdstall tilsatt vann og vann i materiale	gram	14,8	9,3	17,4	11,3	16,9	
salt	mg/l	1666,0	1930,0	1941,0	1105,0	679,0	
salt	myS/cm	-	-	-	1798,0	1046,0	
Salt	mS/cm	2,5	3,0	3,0	-	-	
salt i konduktivitetsprøven	g/l	1,7	1,9	1,9	1,1	0,7	
antall gram i prøve	gram	1,7	2,0	2,0	1,1	0,7	7,4
Salt i opprinnelig prøve	v - %	<b>2,40 %</b>	<b>1,76 %</b>	<b>3,27 %</b>	<b>1,24 %</b>	<b>1,13 %</b>	<b>1,90 %</b>

Prøve		nr 4					
Lag	nr	1 (topp)	2	3	4	5 (bunn)	Totalt
Materiale vått	gram	420,8	758,7	615,8	665,8	524,1	
Materiale tørt	gram	367,8	652,9	532,9	583,0	484,7	
vekt vann	gram	53,0	105,8	82,9	82,8	39,4	363,9
vekt kolbe	gram	388,7	388,7	388,7	388,7	388,7	
vekt vann + kolbe	gram	1439,5	1331,7	1382,7	1360,2	1395,4	
vekt vann tilsatt	gram	1050,8	943,0	994,0	971,5	1006,7	
forholdstall tilsatt vann og vann i materiale	gram	19,8	8,9	12,0	11,7	25,6	
salt	mg/l	2370,0	3618,0	2058,0	1578,0	1146,0	
salt	myS/cm	-	-	-	-	1910,0	
Salt	mS/cm	4,0	6,0	3,4	2,6	1,9	
salt i konduktivitetsprøven	g/l	2,4	3,6	2,1	1,6	1,1	
antall gram i prøve	gram	2,5	3,4	2,0	1,5	1,2	10,6
salt i opprinnelig prøve	v - %	<b>4,49 %</b>	<b>3,12 %</b>	<b>2,41 %</b>	<b>1,82 %</b>	<b>2,84 %</b>	<b>2,84 %</b>

# **Vedlegg 21**

## **Metodebeskrivelse av telehivforsøk**



## Generelt

«Gjennom forsøket bedømmer man telefarligheten til jordarter direkte ved å gjøre de ytre forhold gunstig for dannelsen av islinser i materialet. Ved hjelp av to temperaturlad, ett som gir minusgrader på oversiden av prøven og ett som gir plussgrader i bunnen, får man en frostfront omtrent midt i prøven. Tilgang på vann til frostfronten har man ved at undersiden av prøven står i forbindelse med et vannreservoar. Dermed er to av de tre grunnleggende krav til islinsedannelse til stede. Telehivingen under forsøket vil følgelig være direkte avhengig av materialets telefarlighet.» (Vegdirektoratet 2006)<sup>2</sup>

### Utstyrsliste for én prøve:

- 1 x Aluminium bunnplate med en fastmontert pleksiglassring
- 6 x Pleksiglassringer med indre diameter på 140mm, to tas bort etter stamping
- 1 x Kjøleplate (topplate)
- 1 x Kobberplate på tre føtter
- 1 x Belastning/vekt
- 1 x Topplate av pleksiglass påmontert måleur
- 4 x Pleksiglasstaver
- 8 x mutter til pleksiglasstaver
- 2 x Kryostat, en for minus og en som går ned til 1°C
- 1 x Fryser med slange anordning og fastmontert bunnplate, ikke tilkoblet (for isolasjon)
- 4 x slanger fra kryostater til fryser
- 3 x Temperaturfølere og logger- /PC-anordning
- 1 x Glassflaske med slange
- 1 x Stampesylinger av stål med 6 x stålskruer
- 1 x Håndholdt Standar Procktor
- 1 x Treplate
- 1 x Filterstein
- 2 x Filterpapir
- 1 x skillevegg i isopor, til fryser
- 1 x Målevekt
- Isolasjonskuler (løs isopor)
- 3-4 kg materiale ved optimalt vanninnhold. (Avhenger av materiale, litt under hva en trenger for Modifisert Procktor)
- Destillert vann
- Div. utstyr som:
  - o Gjengetape
  - o Tape

---

<sup>2</sup> Vegdirektoratet, 2006. *Finstoff i gjenbruksbetong*

- Slangeklemmer
- Fyrstikker
- Isolasjonsplater
- Glasskolber
- Osv.

### Utførelse av forsøket

Litt modifisert etter beskrivelse av Vegdirektoratet. (Vegdirektoratet 2006)<sup>3</sup>

- 1) Vanninnholdet i jordarten justeres til tilnærmet optimalt vanninnhold ved Modifisert Proctor.
- 2) En aluminium bunnplate med en fastmontert plastring klargjøres ved å: - Fulle i destillert vann til det drypper av nippelen. Nippelen plugges. - Filterstein med filterpapir på begge sider legges i. - Destillert vann etterfylles til akkurat i overkant av filterstein.
- 3) Fire plastringer settes på bunnplaten. Bunnplaten med fire løse plastringer, filterstein og vann veies. En femte plastring legges på og stampesynderen festes til bunnplaten.
- 4) Materialet stemples i sylindere i tre like tykke lag med 25 slag pr lag til ca 100 % Standard Proctor. For å få god heft mellom lagene kan det risses med en kniv.
- 5) Stampesynderen tas av og prøven sages av mellom de to øverste plastringene slik at prøvehøyden blir 100 mm.
- 6) Det stikkes opp hull til termoelementene i bunn, midt og topp. Deretter veies prøven med bunnplate og plastringer.
- 7) Prøven settes i fryseboksen. Vanntilførselen sikres ved å la det dryppe ut av slangen før den kobles til nippelen. Termotrådene stikkes 60-70 mm inn i prøven. Kjøleplaten med belastning samt måleutrustning monteres. Til slutt isoleres apparaturen med løs isopor.
- 8) Prøven kjøres i 4 døgn (96 timer) etter innbygging. Temperaturen i topp- og bunnplate skal være hhv -5 °C og +1 °C. Telehiv og temperaturer registreres (minimum) to ganger daglig.
- 9) Etter frysing tas prøven ut for nærmere undersøkelser. Plastringene fjernes. Litt avhengig hva man undersøker kan man registrere: Islinser, hvor og størrelse, vanninnhold i forskjellige lag. Saltinnhold i prøve. Prøven kan med fordel deles i vertikal lag nedover i prøven for å kontrollere vanninnhold.

---

<sup>3</sup> Vegdirektoratet, 2006. *Finstoff i gjenbruksbetong*



**Detaljert fremgangsmåte med bilder:**

- 1) Finn optimalt vanninnhold på materialet: Gjøres gjennom Modifisert Proctor beskrevet nærmere i Statens Vegvesen håndbok 014  
Laboratorieundersøkelser:  
14.462 – Modifisert Proctor.  
(Vegdirektoratet 2005b)<sup>4</sup>



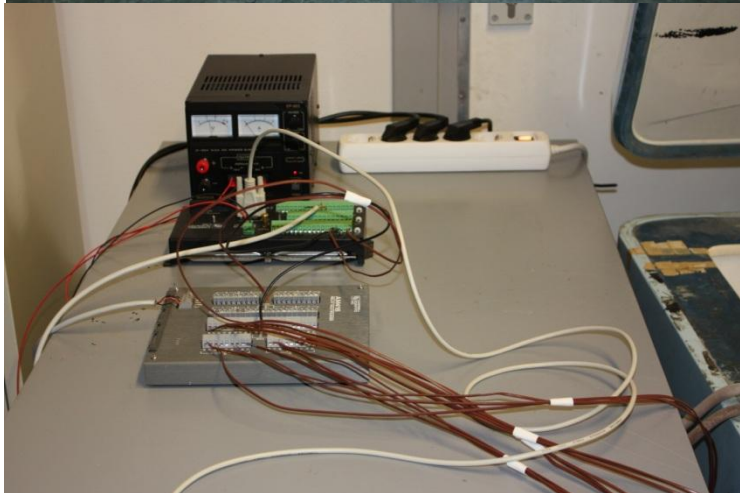
---

<sup>4</sup> Vegdirektoratet, 2005b. 14.462 Modifisert Proctor. In *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*.

- 2) Prøven for telehivforsøk klargjøres ved optimalt vanninnhold funnet gjennom Modifisert Proctor, og står i ett døgn for at hele prøven skal bli «godgjort», det trengs litt mindre materiale enn i en Modifisert Proctorprøve:



- 3) Oppsett av utstyr. To kryostater kobles til ledningsnettet i fryseren. Og termoelementer gjøres klar. Til 4 prøver trengs det minimum 12 temperaturmålere.



- 4) Kryostaten blir kalibrert ved å feste termoelementer med tape på bunn og topplate. Isolasjonskuler blir lagt mellom for å skille platene.

- 5) Filterstein rengjøres i UV-bad for å åpne porer. Dette gjøres før hvert forsøk.



- 6) Klargjøring av prøve;  
Destillert vann blir fullt i  
åpning. Filterpapir lagt i bunn,  
pass på at vann kommer  
gjennom åpning og at det  
ikke er luft under filterpapir,  
da luft i systemet kan stoppe  
vanntilførsel.



- 7) Filterstein blir fuktet med  
destillert vann, fyll vann opp  
til kant av filterstein.  
(Filterstein skal stå i vann en  
liten stund.)



- 8) Filterpapir blir lagt på topp,  
pass på at det ikke er  
luftbobler under filterpapir.



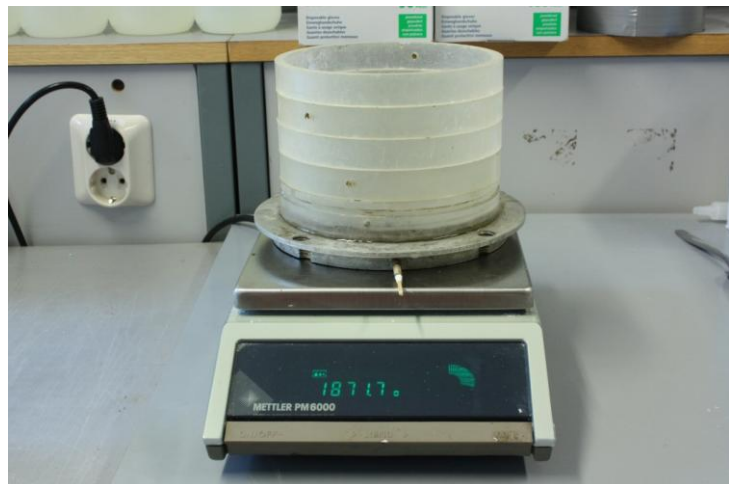
- 9) Se at vann renner ut fra ventilen, legg merke til dråpen på bildet.



- 10) Ventil blir stengt av med fyrstikk med gjengetape. (Må bli helt tett)



- 11) Fire ringe pluss bunnet med ring, som er fuktet blir veid.



- 12)** Plasser åpning (små hull) der termoelementet skal inn ovenfor hverandre, plasser to ekstra ringer på toppen som skal tas bort etter stamping



- 13)** Plasser jernsylinder rundt formen og skru til. Skru øverste først så vider nedover, dette for at ikke ringene skal bevege seg inne i formen. Nederste skruer skrues ikke så veldig hardt. Viktig: sjekk at ringene ligger inntil hverandre, slik at jord ikke kommer mellom ringene.



- 14)** Legg materiale i sylindren, og komprimer etter Statens vegvesen -> Standar Proctor. (Vegdirektoratet 2005a)<sup>5</sup>  
Bruk håndholdt stamper og vær forsiktig med å ikke treffe pleksiglassringer. Plasser en treplate under sylindrer ved stamping.



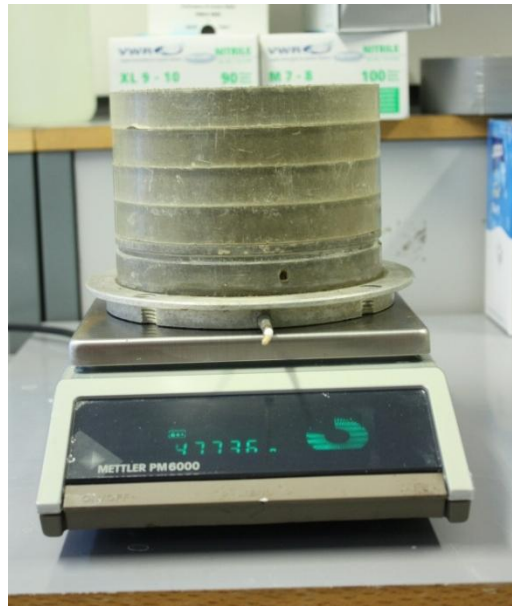
- 15)** Fjern metallringen, og de to øverste pleksiglassringene. Fjern så overflødig materiale med en jernlinjal. Det er her viktig med en slett og fin overfalte på prøven.



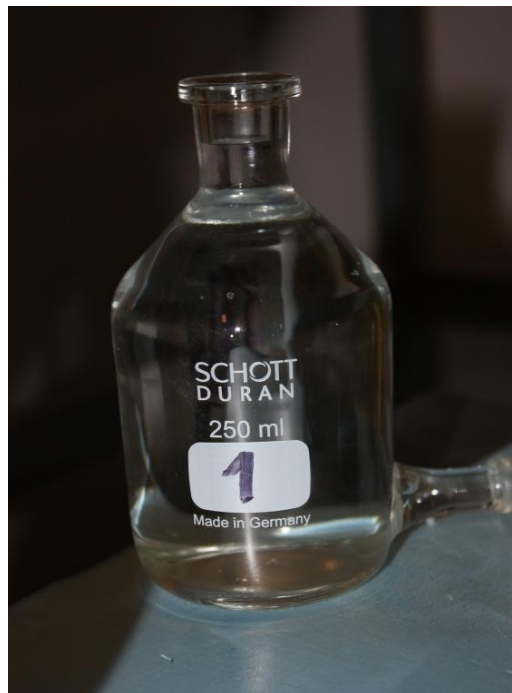
---

<sup>5</sup> Vegdirektoratet, 2005a. 14.461 Standard Proctor. In *Håndbok 014: Laboratorieundersøkelser*.

**16) Prøven veies med materiale**



- 17) Gjør klar vannbeholderen.**  
Disse skal stå på samme høyde som gulvet i fryseren. Slangen til beholderen dras gjennom gulvet i fryseren. Sug i slangen slik at all luft går ut av slangen. Når dette er gjort settes en slangklemme på enden. Pass på at vannbeholder ikke skaper trykk i slangen, materialet skal selv suge opp vannet. Fyll opp vannbeholderen til merket.



- 18)** Stikk små hull i materialprøven og sett inn termoelementer. (Bruk en sveisepinne eller lignende til å lage hull) Bildet viser to termoelementer øverst og en metallpinne for å lage rom.

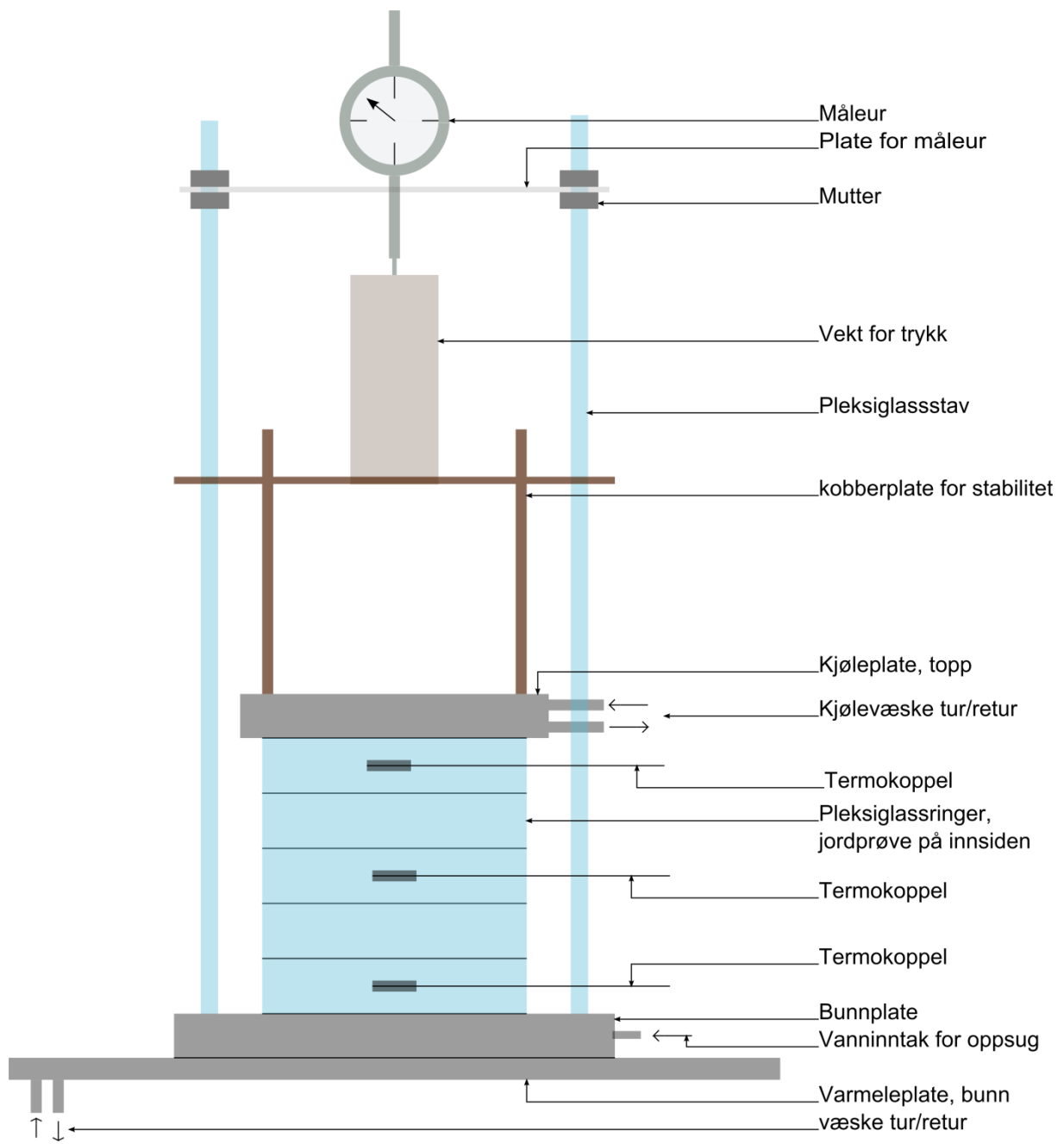


- 19)** Materialeprøven, med termoelementer settes i fryseren, dra ut proppen og fest slangen. Sett Kjøletoppen på materialeprøven, pass på at toppen på materialeprøven er helt flat slik at kjøletoppen dekker hele prøven.





20) Sett utstyret opp i fryseren, utstyret skal være plassert slik som på tegningen.



**21)** Sett i skilleveggene og fyll på med isolasjonskuler



**22)** Kontroller prøven 2-3 ganger om dagen. (En om morgen, en om kveld, og evt. midt på dagen.) Etterfyll vann, bruk vekt og kontroller hvor mye vann som etterfylles. VIKTIG: Vannbeholderen må ikke bli tom slik at det kommer luft inn i systemet, dette fører til at vanntilførsel stoppes.

Les av måleutrustning og kontroller temperatur og spritnivå på kryostat. Skriv opp parametere.

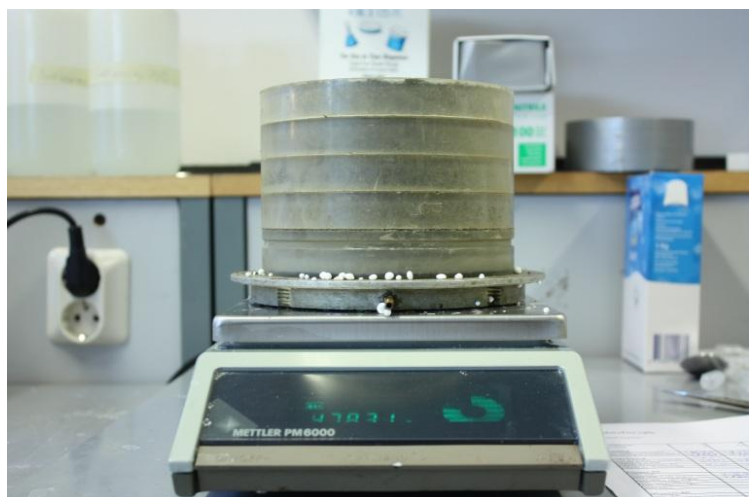
Du har nå tre parametere:

- Høyde på telehiv
- Vannopptak
- Temperatur

**23)** Prøven står i 4 døgn.

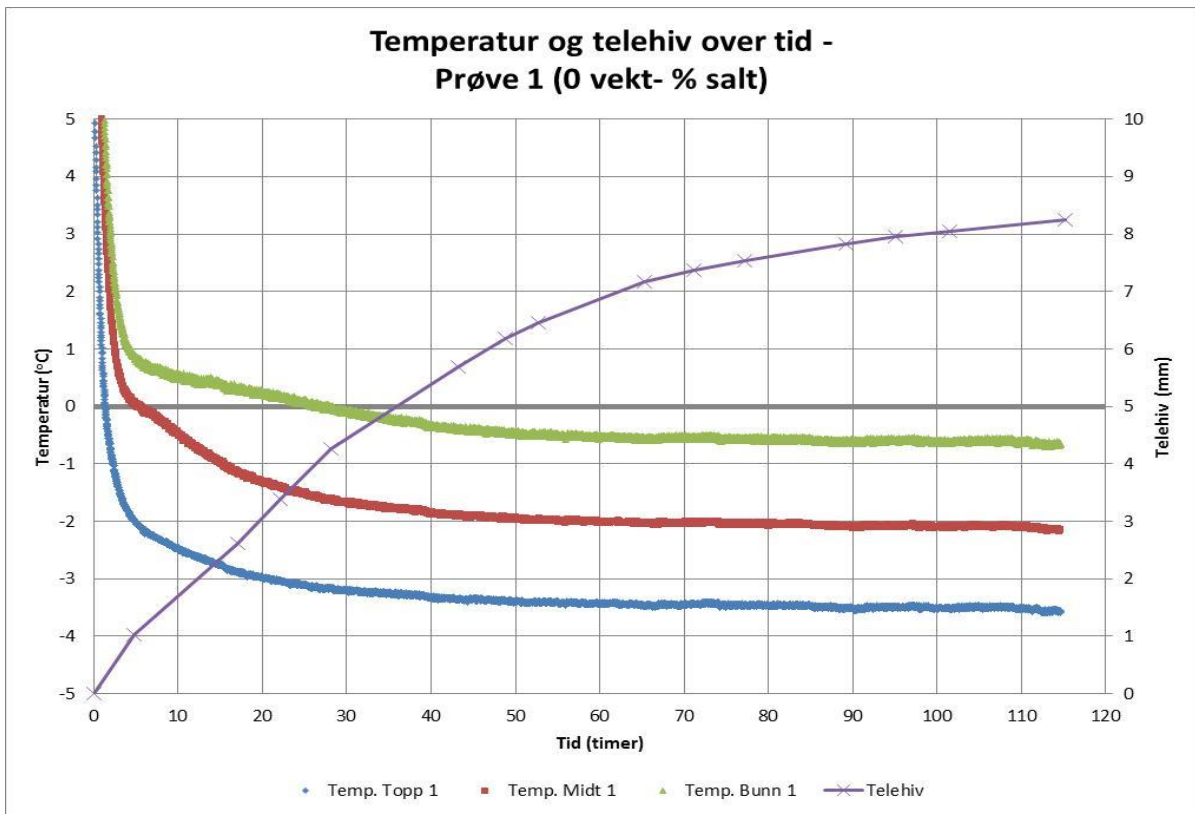
**24)** Prøven tas ut av fryseren, bruk støvsuger for å få ut isolasjonskuler.

**25)** Prøven veies.

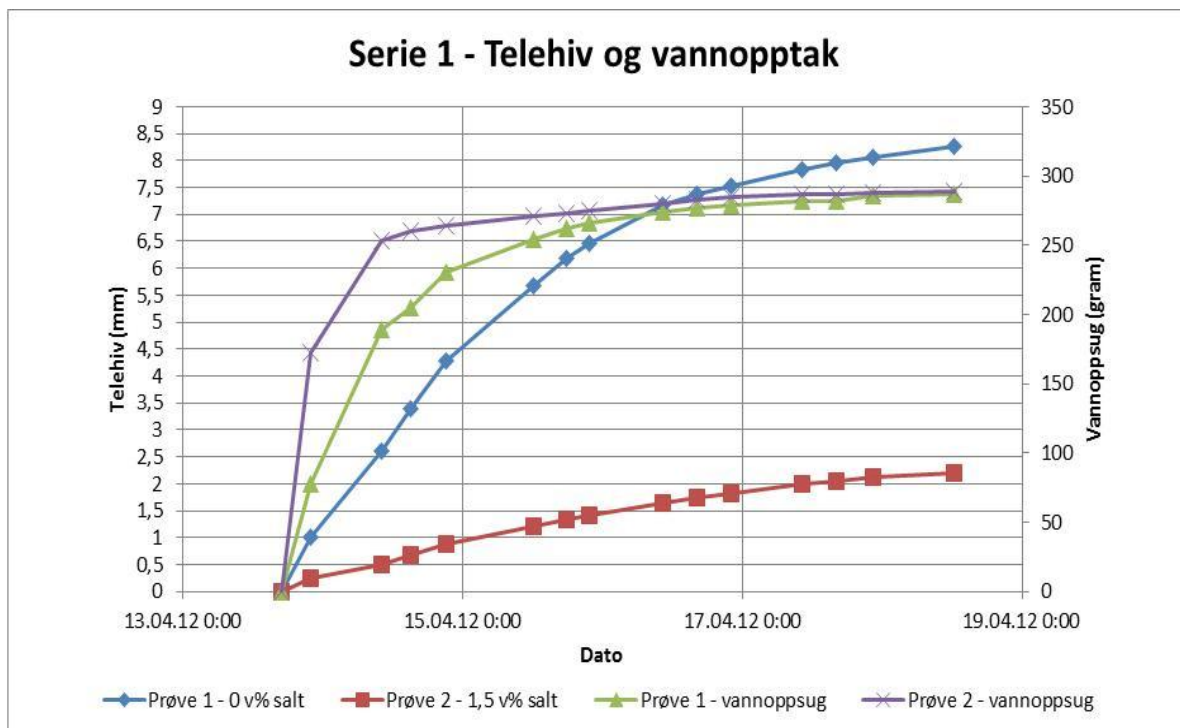


**26) Rapportering.** Her kan det være litt forskjellig, men dette er noe som bør være med:

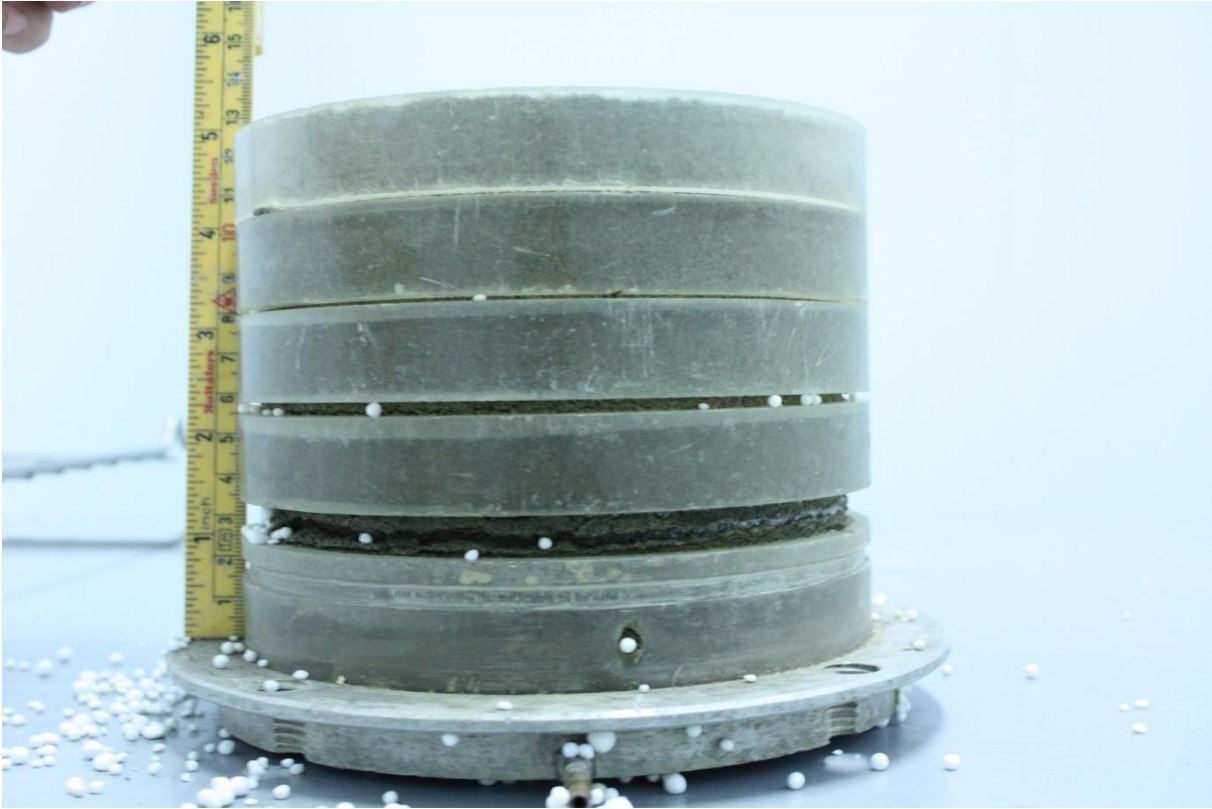
Graf som viser temperatur og telehiv:



Graf som viser vannoppsug og telehiv:



Bilde av prøve med mål:



Registrering av islinser:

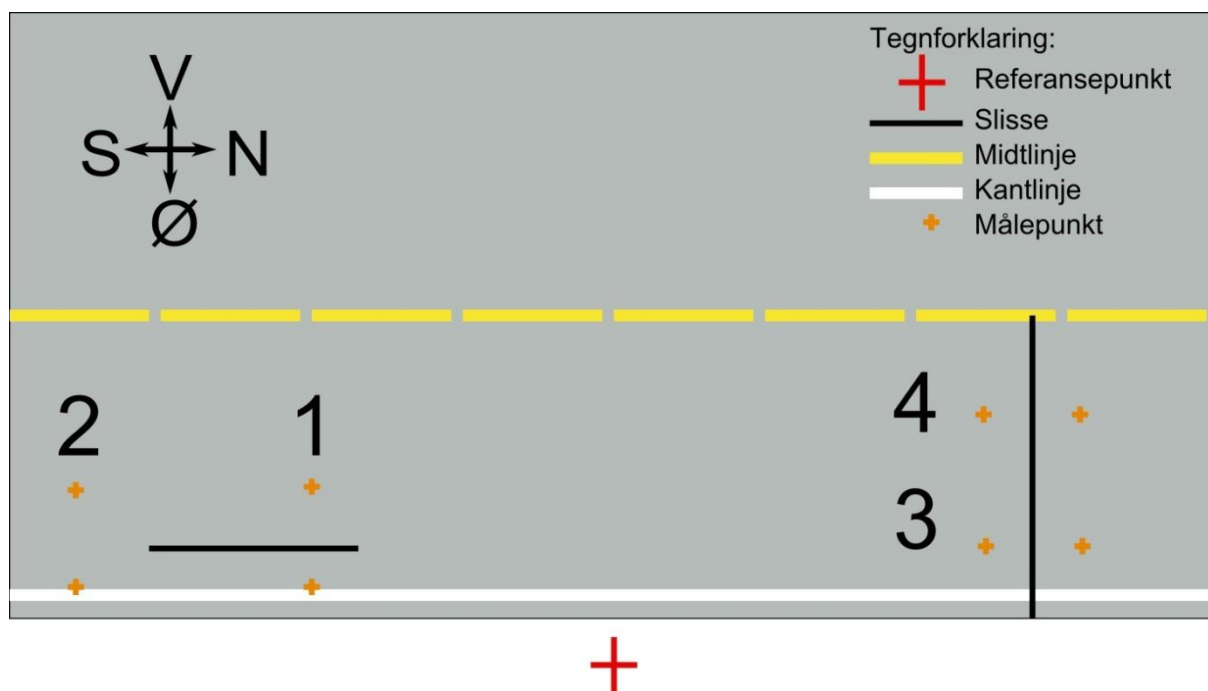


# **Vedlegg 22**

## **Tallgrunnlag nivellement**



Telehiv i målområde (cm)								
Dato:	1Ø	1V	2Ø	2V	3S	3N	4S	4N
01.03.2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
08.03.2012	0,0	-1,5	-1,0	-1,0	-1,5	-1,3	-1,0	-1,5
29.03.2012	-1,0	-2,0	-1,5	-1,5	-3,0	-2,5	-2,5	-2,5
07.05.2012	-2,0	-2,5	-1,5	-1,5	-3,0	-2,5	-3,0	-3,0







**Vedlegg 23**  
**Utvikling av slisse, målt med**  
**spordannelsesapparat**



