

Masteroppgave

Juni, 2019

Masteroppgave

Asbjørn Rafdal

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

Asbjørn Rafdal

Innvirkningen av frost på grunne overvannsystemer

Juni 2019

Innvirkningen av frost på grunne overvannsystemer

Asbjørn Rafdal

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Sveinung Sæggrov

Medveileder: Edvard Sivertsen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg - og miljøteknikk

NTNU

NORGES TEKNISK NATURVITENSKAPLIGE UNIVERSITET

Institutt for Bygg- og miljøteknikk

BESKRIVELSE AV MASTEROPPGAVE VA-TEKNIKK VÅREN 2019

Kandidat: Asbjørn Rafdal

Tema: Overvann

Tittel: Innvirkningen av frost på grunne overvannssystemer

Innleveringsdato: 11.06.2019

1. Bakgrunn

Klimaendringer og økende andel tette flater fører til at større mengder overvann må håndteres. Tradisjonelt har dette foregått ved å legge overvannsledninger på frostfri dybde og forbinde dem med rister på overflaten. Det er imidlertid kostbart og tidkrevende å legge dype ledninger. Løsninger er derfor utviklet for å håndtere overvannet på et grunt nivå. Et eksempel er slisserenner som blant annet benyttes på flyplasser. På Gardermoen har slisserenner vært anvendt i mange år. Et annet eksempel er Qmax Storm systemet (med et ovalt rør) som legges grunt under overflaten for å håndtere veivann og takvann. Det er imidlertid en del spørsmål rundt funksjonen i frostvær og i perioder med frysing/tinging.

2. Spesifisert oppgave

Følgende elementer inngår i oppgaven:

1. Følge opp prosjektet på Trandum hvor Qmax Storm systemet er etablert, med en helning på 10 promille på ene strekningen og ingen helning på den andre. Her vil målingene som etter hvert kommer inn analyseres, oppstart av målingene er forventet primo februar. Det vil videre dokumenteres hvordan systemet fungerer ved hjelp av

bilder/befaringer av både overflaten rundt systemet, og innvendig i røret ved ulike situasjoner som:

- a. kalde temperaturer og snø
 - b. ved daglige fryse/tine-sykluser
 - c. ved nedbør og snøsmelting på frossen grunn
2. Sette opp et forsøk i klimalaboratoriet. Her vil det brukes tid på å planlegge forsøket, og på å bygge opp en modell ved hjelp av europalle, plater, rør og masser over og under røret som skal settes inn i et fryserom på klimalaboratoriet. Planen er å gjennomføre forsøk med testing av både sirkulært og eggeforma rør dersom Skjæveland Gruppen kan levere dette. Temperaturen i fryserommet kan enkelt justeres, og forsøk med vann vil gjennomføres om det er tid tilgjengelig. Etter forsøkene vil resultatene analyseres.
 3. Gjennomføre befaringer av slisserennene ved Åsveien skole i Trondheim. Her kan det tas bilder av rennene og måle eventuell isdybde ved ulike situasjoner som kaldt vær, daglig frysing/tinging og ved regn på frossen grunn.
 4. Samle og analysere data/driftserfaringer fra slisserennene på Gardermoen, supplert med intervju av driftspersonell fra ulike kommuner.
 5. Oppgaven utvides til å studere vinterfunksjonen til overvannsystemer generelt, ikke bare de grunne systemene til Skjæveland. Spesielt gjelder dette funksjonen til rister og sluk om vinteren.

3. Assistanse

Professor Sveinung Sægrov, Institutt for vann- og miljøteknikk, NTNU vil være veileder for denne oppgaven assistert av Edvard Sivertsen, SINTEF og Per Møller Pedersen, Storm Aqua og støttet av førstemanuensis Tone Muthanna. Oppgaven gjennomføres i forbindelse med SFI Klima 2050.

4. Presentasjon og leveranse

Prosjektrapporten skal leveres elektronisk via Inspira i henhold til gjeldende regler.

FORORD

Masteroppgaven er skrevet som en del av faget TVM4905 Vannforsynings- og avløpsteknikk ved NTNU, våren 2019. Oppgaven tilsvarer 30 studiepoeng og bygger videre på prosjektoppgaven jeg skrev høsten 2018. Den var basert på litteraturstudie og beskrivelse av arbeidet jeg skulle utføre denne våren, mens denne oppgaven tar for seg befaringer og observasjoner, intervju og laboratoriearbeid for å belyse problemstillingen. Masteroppgaven er avsluttende arbeid på Bygg- og miljøteknikkstudiet ved NTNU i Trondheim.

Oppgaven har i stor grad bestått av å innhente mest mulig erfaringer og dokumentasjon på hvordan de grunne overvannsystemene fungerer ved ulike situasjoner om vinteren. Forskingen ble i tillegg utvidet med å gjennomføre forsøk i klimalaboratoriet til SINTEF. Frost er en kompleks prosess og det har vært lærerikt å utvide kunnskapen om emnet. I arbeidet har jeg benyttet tidligere kunnskap om overvannshåndtering fra studiefag som urbane vannsystemer og videregående kurs i vannforsynings- og avløpssystem.

Jeg ønsker å takke mine veiledere for hjelpen underveis. Edvard Sivertsen, seniorforsker i SINTEF Byggforsk og deltaker i forskningsprosjektet KLIMA2050, for all hjelpen med oppsettet og gjennomføringen av forsøkene i klimalaboratoriet, samt god veiledning underveis i prosjektet. Professor Sveinung Sægrov ved institutt for Bygg- og miljøteknikk for god oppfølging og innspill underveis. Jeg ønsker også å takke Per Møller Pedersen, daglig leder i Storm Aqua, og Aage Gjesdal fra Skjæveland Gruppen for å lansere denne spennende oppgaven og bidra med hjelp knyttet til forskningsprosjektet på Trandum. I tillegg ønsker jeg å takke Egil Rognvik for bygging av modellen til forsøkene i klimalaboratoriet, og for bistanden underveis i tiden jeg var på laboratoriet. Til slutt vil jeg gjerne takke familie og venner for gjennomlesning av oppgaven og støtten gjennom studietiden.

Trondheim, juni 2019



Asbjørn Rafdal

SAMMENDRAG

Tradisjonelt håndteres overvannet ved å legge overvannsledninger på frostfri dybde som er tilknyttet slukrister på overflaten. Ettersom dette er kostbart og tidkrevende har de økte overvannsmengdene som følge av klimaendringer og urbanisering medvirket til at det har blitt utviklet grunne løsninger av rør og renner. Hovedpoenget med denne studien er å innhente mest mulig dokumentasjon og erfaringer om hvordan ulike grunne systemer fungerer ved stabilt kalde temperaturer, daglig frysing/tining og intens nedbør på frossen undergrunn.

Det er spesielt fokus på å dokumentere opptreden til slisserenner og Qmax Storm systemet. For slisserennene er hoveddelen av erfaringene innhentet via et gruppeintervju med tre representanter fra Avinor Gardermoen. I tillegg er det blitt gjennomført kontinuerlige befaringer av tre slisserenner ved Åsveien skole i Trondheim denne vinteren for å dokumentere opptreden ved ulike værforhold. Oslo lufthavn har benyttet slisserenner i over 20 år, og hadde nyttige erfaringer. For et Qmax Storm system som ble etablert på Trandum denne vinteren er det gjennomført en befaring, samt et intervju med prosjektlederen i etterkant av vintersesongen. I framtiden vil det registreres relevante data fra dette anlegget. Det er også gjennomført intervju med Tromsø, Oslo og Bergen kommune om deres erfaringer med bruk av grunne overvannsystemer, og om rutiner for å fjerne snø og is fra sluk, rister og bekkeinntak. For å utvide forskningsgrunnlaget er det utviklet en metodikk til å gjennomføre forsøk i klimalaboratoriet til SINTEF. Det er bygd en kasse som er isolert på sidene og i bunnen, og fylt med finpukk 4–16 mm. I kassen er det lagt et rør med overdekning på 10 cm, og fem termoelementer er plassert på ulike dybder i modellen for å logge temperaturutviklingen under nedfrysing og opptining. Modellen er bygd for å gjennomføre forsøk med kontinuerlig vannstrømning gjennom røret og vannmettede masser, men begrenset tid gjorde at kun tre forsøk ble utført, samtlige med tørre masser og en lufttemperatur på -5 °C. Både et PVC-rør og et betongrør er testet, med fokus på å måle temperaturutviklingen innvendig og utvendig i toppen og bunnen av røret.

På Gardermoen opplever de få problemer med slisserennene. Det har kun oppstått et tilfelle av frostsprengning, og slisserennene fungerer like bra om vinteren som om sommeren. Slissene tettes sjelden, og det oppstår ikke stillestående vann i rennene selv om de ligger uten fall. Både slisserennene ved Åsveien skole og Qmax Storm systemet på Trandum har fungert utmerket denne vinteren. Det ble ikke observert snø eller is inne i noen av systemene, og kun

observert små mengder stillestående vann ved et tilfelle i den ene slisserennen. Kommunene hadde lite erfaringer å dele ettersom de benyttet få grunne løsninger, men meddelte at slukristene ofte gikk tett om vinteren og at de derfor har økt bruken av kjeftsluk. Tromsø og Bergen kommune var spesielt oppmerksomme på at snø og is måtte fjernes fra slukrister og bekkeinntak før intense regnfall på frossen grunn. Den viktigste informasjonen fra forsøkene i klimalaboratoriet var den overaskende lange responstiden. Det tok i overkant av en uke å få stabile temperaturer på de ulike dybdene under nedfrysingen. Metodikken fungerte derimot som forventet med tregere respons til dypere termoelementet var plassert, og resultatene illustrerer tydelig at det oppstod en temperaturgradient gjennom rørveggen. PVC-røret hadde en betydelig kortere responstid og større varmestrømning gjennom rørveggen enn betongrøret.

Det totale inntrykket er at de grunne løsningene fungerer bra om vinteren, og at frostproblematikken er litt oppskrytt. Veldig få problemer er identifisert, men det er nødvendig å gjennomføre flere laboratorieforsøk for å bedre kunne dokumentere tilstanden. Resultatene ville vært mer interessante dersom forsøkene inneholdt vann. Økt kunnskap om emnet kan bidra til at bruken av grunne løsninger ekspanderer i framtiden.

ABSTRACT

The stormwater is traditionally handled by stormwater pipes at frost-free depth which is connected to drain gates at the surface. Since this is costly and time-consuming have an increased amount of stormwater due to climate change and urbanization contributed to the development of shallow pipe and drainage solutions. The main point of the report is to obtain as much documentation and experience as possible about how different shallow solutions functions with stable cold temperatures, daily freezing/thawing and intense rain events on frozen ground.

There is especially focused on documenting the performance of slot drain and the Qmax Storm system. For the slot drains most of the experiences are obtained by a group interview with three representants from Avinor Gardermoen. In addition, inspections of three slot drains at Åsveien School in Trondheim have been carried out continuously during the winter to document the performance at different winter conditions. Gardermoen airport has used slot drains for over 20 years and had useful experiences. For a Qmax Storm system established at Trandum this winter, an inspection and an interview with the project manager after the winter season have been carried out. Relevant data will be recorded from this facility next year. In addition, interviews have been conducted with Tromsø, Oslo and Bergen municipality about their experiences with shallow stormwater solutions, and their routines for removing snow and ice from drain gates and stream inlets. To expand the research a methodology has been developed for carrying out experiments in SINTEF's climate laboratory. The model consists of a box which is insulated on the sides and in the bottom, and filled with fine crushed rock 4–16 mm. A pipe is placed in the model with a cover of 10 cm, and five sensors are also placed at different depths to log the temperature development during the freezing and thawing process. The model is designed to carry out experiments with continuous water flow through the pipe and with water-saturated masses, but due to limited time available only three experiments were performed, all of them with dry masses and an air temperature of -5 °C. Both a PVC-pipe and a concrete pipe have been tested, with focus on measuring the temperature development inside and outside the top and the bottom of the pipe.

At Gardermoen have they experienced few problems with the slot drains. Only one occasion of frost blasting has happened, and the slot drains works just as well during winter as during summer. The slots are seldom clogged, and no stagnant water occur in the slot drains. Both

the slot drains at Åsveien school and the Qmax Storm system at Trandum have worked well this winter. No snow or ice has been observed inside any of these systems, and with only one case were small amount of stagnant water observed in one of the slot drains. The municipalities had little experiences to share because all of them use few shallow solutions, but announced that the drain gates often were clogged during the winter. Therefore, they increased the use of “kjeftsluk”. Tromsø and Bergen municipality were especially aware that snow and ice had to be removed from the drain gates and stream inlets before intense precipitation events on frozen ground. The most important information from the tests in the climate laboratory is the surprisingly long response time. It took just over a week to get stable temperatures at the various depths during the freezing. The method worked as expected with slower response to deeper the sensors were placed, and the results clearly illustrate that a temperature gradient occurs through the pipe wall. The PVC-pipe had a significant shorter response time and greater heat flow through the pipe wall than the concrete pipe.

The overall impression is that the shallow solutions works very well during winter, and that the frost problem is a bit overrated. Very few problems are outlined, but it is necessary to do several laboratory tests to document the condition even better. The results would have been more interesting if the experiments contained water. Increased knowledge of the subject can contribute to an expanding use of shallow solutions in the future.

INNHALDSFORTEGNELSE

Beskrivelse.....	I
Forord.....	III
Sammendrag	IV
Abstract	VI
Figurliste.....	X
Tabelliste	XI
1. Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Mål og forskningsspørsmål	2
1.3 Begrensninger og disposisjon.....	3
2. Teori.....	4
2.1 Overvannshåndtering.....	4
2.1.1 Grunn overvannshåndtering.....	5
2.2 Frost	5
2.3 Varmebalanse	6
2.3.1 Varmestrømning	6
2.3.2 Varmelagring	8
2.4 Problemer for overvannshåndteringen forårsaket av frost.....	10
2.4.1 Telehiv	10
2.4.2 Vannmettede omfyllingsmasser.....	10
2.4.3 Termiske spenninger.....	11
2.4.4 Ispropper og frostsprengning av rør.....	12
2.4.5 Is i innløp, utløp og stikkrenner	12
2.4.6 Iskjøving i grøfter	14
3. Beskrivelse av studieområder og aktuelle grunne overvannsystemer.....	15
3.1 Åsveien skole.....	15
3.1.1 Generell beskrivelse av slisserenner	16
3.1.2 Beskrivelse av slisserennene ved Åsveien skole	16
3.2 Trandum	17
3.2.1 Generell beskrivelse av Qmax Storm systemet	17
3.2.2 Beskrivelse av Qmax Storm systemet på Trandum	18
3.3 Overvannshåndteringen på Gardermoen	20
4. Metode	21
4.1 Litteraturstudie	21

4.2	Observasjoner og befaringer.....	21
4.3	Intervju	22
4.3.1	Individuelle intervju av driftspersonale/ansvarlige personer for overvann og avløp i kommuner	22
4.3.2	Gruppeintervju om slisserennene på Gardermoen.....	23
4.3.3	Intervju med prosjektlederen for Qmax Storm systemet på Trandum.....	24
4.3.4	Begrensinger med intervjuene	24
4.4	Laboratorieforsøk	24
4.4.1	Formål.....	25
4.4.2	Oppbygningen av modellen	25
4.4.3	Beskrivelse av gjennomføringen	28
4.4.4	Begrensninger med metoden	35
5.	Observasjoner og intervju	36
5.1	Observasjoner ved Åsveien skole.....	36
5.2	Observasjoner og intervju på Trandum	42
5.3	Observasjoner og intervju på Gardermoen	46
5.4	Intervju med VA-personale fra ulike kommuner	50
5.4.1	Tromsø kommune	50
5.4.2	Oslo kommune	52
5.4.3	Bergen kommune.....	53
6.	Resultater	54
6.1	Forsøk 1	54
6.2	Forsøk 2	57
6.3	Forsøk 3	61
7.	Diskusjon.....	65
7.1	Vurdering og sammenligning av resultatene fra laboratoriet	65
7.2	De ulike elementene sett i sammenheng	68
8.	Konklusjon.....	71
9.	Videre arbeid	72
10.	Referanseliste.....	74
11.	Vedlegg	78

FIGURLISTE

Figur 1. Prinsippet for varmestrøm gjennom rørveggen	7
Figur 2. Varmebalansen ved frysefronten over et kort tidsrom.....	9
Figur 3. Den ekstra utløpsrennen til venstre ligger helt fri for is grunnet den ligger høyere	13
Figur 4. Kuldeskjørt av plaststrimler	14
Figur 5. Lokalisasjonen til de tre slisserennene ved Åsveien skole	15
Figur 6. Eksempel på to ulike monteringer av slisserenner.....	16
Figur 7. Illustrasjon av konfigurasjonen til slisserennene ved Åsveien skole.....	17
Figur 8. Illustrasjon av Qmax Storm systemet	18
Figur 9. Qmax Storm systemet på Trandum	19
Figur 10. Illustrasjon over sandfangskummen og grøften på Trandum	19
Figur 11. Oversikt over systemet for å samle overvann på Gardermoen.. ..	20
Figur 12. 2D-tegning av modellen	25
Figur 13. Illustrasjon av den ferdige kassen.....	26
Figur 14. Illustrasjon av temperaturutviklingsfasen det er ønskelig å se på i forsøkene.....	30
Figur 15. Illustrasjon av oppsettet i forsøk 1	31
Figur 16. Klargjøring av modellen til forsøk 1.....	32
Figur 17. Modellen til forsøk 1 klargjort og satt inn i fryserommet.....	32
Figur 18. Illustrasjon av oppsettet i forsøk 2.....	33
Figur 19. Isolasjon av endestykkene til røret.....	34
Figur 20. Endestykkene er isolert med 3 cm tykk EPS	34
Figur 21. Overflaten var helt dekket av snø og is.....	37
Figur 22. Illustrasjon av tilstanden på utsiden og innsiden av slisserennen	37
Figur 23. Illustrasjon av tilstanden til slisserennene etter høye temperaturer og 12,1 mm regn....	38
Figur 24. Oppsamling av vann ved slisserennen som er tilknyttet til det åpne vannspeilet.	39
Figur 25. Slisserennene var helt dekket av snø og is.....	39
Figur 26. Første observasjon av stillestående vann i den ene slisserennen	40
Figur 27. Illustrasjon over tilstanden til slisserennene da alt hadde smeltet	41
Figur 28. Meteorologisk statistikk fra Voll denne vintersesongen.....	42
Figur 29. Slukristene ble gravd fram og istykkelsen målt til 7–8 cm.....	43
Figur 30. Dokumentasjon på at det kun ble observert litt snø nedi røret	43
Figur 31. Slukristene til Qmax Storm systemet ble gravd fram	45
Figur 32. Meteorologiske data for Gardermoen denne vinteren	46
Figur 33. Tilstanden til slisserennene mellom og ved oppstillingsplassene.....	47
Figur 34. Illustrasjon over slukløsningen ved den ene avisningsplattformen	48
Figur 35. Slisserennen midt på den ene avisningsplattformen var helt fri for snø og is	49
Figur 36. Oppbyggingen til de åpne grøftene som ble testet ut i Tromsø	51
Figur 37. Illustrasjon av kjeftsluk langs vegkanten. I bakkant vises en kuppelrist	52
Figur 38. Illustrasjon av AcoDrain.....	53
Figur 39. Illustrasjon av frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 1..	54
Figur 40. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag i forsøk 1	55
Figur 41. Grafen illustrerer tinmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i opptiningen av forsøk 1	56
Figur 42. Illustrasjon av temperaturen vs. dybden kl 12 hver dag under tiningen av forsøk 1	57
Figur 43. Illustrasjon av frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 2..	58
Figur 44. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag i forsøk 2	60
Figur 45. Grafen illustrerer varmestrømmen gjennom rørveggen i forsøk 2	58

Figur 46. Grafen illustrerer tinemengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i opptiningen av forsøk 2.....	60
Figur 47. Illustrasjon av temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under tiningen av forsøk 2.....	61
Figur 48. Illustrasjon av frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 3 ...	61
Figur 49. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag i forsøk 3.....	64
Figur 50. Grafen illustrerer varmestrømmen gjennom rørveggen i forsøk 3	62
Figur 51. Grafen illustrerer tinemengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i opptiningen av forsøk 3.....	64
Figur 52. Illustrasjon av temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under tiningen av forsøk 3	64

TABELLISTE

Tabell 1. Varmeledningsevne for relevante rørmaterialer, vann og is	7
Tabell 2. Oversikt over varmekapasiteten til ulike materialer	8
Tabell 3. Temperaturutvidelseskoeffisient for relevante rørmaterialer.....	11
Tabell 4. Meteorologiske data fra befaringsdagene ved Åsveien skole.	36
Tabell 5. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen av forsøk 1.....	56
Tabell 6. Oppsummering av resultatene fra opptiningen av forsøk 1	57
Tabell 7. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen av forsøk 2.....	59
Tabell 8. Oppsummering av resultatene fra opptiningen av forsøk 2	61
Tabell 9. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen av forsøk 3.....	63
Tabell 10. Oppsummering av resultatene fra opptiningen av forsøk 3	65

1. INTRODUKSJON

1.1 BAKGRUNN

Kombinasjonen av klimaendringene som bidrar til større og mer intense nedbørsmengder og den voksende urbaniseringen med flere tette flater, har bidratt til å øke fokuset på overvannshåndteringen de siste årene (NOU 2015:16). Det er forventet at årsnedbøren i Norge øker med 18 % fram til år 2100 dersom klimagassutslippene følger utviklingen fra de siste tiår (RCP 8.5), og antall dager med intens nedbør vil dobles (Hanssen-Bauer *et al.*, 2015).

Urbaniseringen har bidratt til at områder i og rundt byene som tidligere var dekket av skog og grønne flater, hvor overvannet infiltrerte naturlig i grunnen, er erstattet med tette flater som tak og asfalt. Dette bidrar til en større og hurtigere flomtopp som kan forårsake skade på bygninger, infrastruktur og mennesker (NOU 2015:16).

Tradisjonelt er overvannsledningene lagt på frostfri dybde med tilknyttede slukrister på overflaten som frakter vannet direkte, eller via en sandfangskum, ned i ledningen. Kravet til overdekning angis i VA-normen til kommunene, og er normalt rundt 1,5 meter, avhengig av hvordan klimaet i området er. De siste årene har fokuset økt på å utvikle systemer som kan legges på en grunnere dybde, altså over frostfri dybde. Ifølge Pericault *et al.* (2017) er det flere fordeler med å legge grunne ledninger. Man får reduserte gravekostnader og tidsbesparelse, samt at det er enklere å utføre eventuelt vedlikehold og reparasjon på ledningen. Ved grunne løsninger reduseres derimot jordvarmens bidrag til ledningen. I tillegg til økte nedbørsmengder er det forventet at klimaendringene fører til varmere vintre med mindre snømengder i lavtliggende områder (Zhang, 2005; Bjerke *et al.*, 2015). Dette vil gi reduserte temperaturer i grunnen og en økning av frostmengden i jorden, ettersom det isolerende snølaget på overflaten er borte (Zhang, 2005). Colleuille *et al.* (2001) beskriver at økte snø- og teledybder om vinteren medvirker til at smeltevannet kun trenger ned i de grove porene som er luftfylte. Daglig frysing/tining gjør derimot at de grove porene blir fylt med is, og det dannes et tett lag med is på overflaten som sørger for begrenset eller ingen infiltrasjon.

Det eksisterer lite forskning om hvordan frosten påvirker grunne overvannssystemer. Temaet belyses i denne studien som er utført i samarbeid med Skjæveland Gruppen og KLIMA2050. Rapporten bygger videre på prosjektoppgaven fra høsten 2018, der generell litteratur ble beskrevet. KLIMA2050 er en forskningsorganisasjon som ledes av SINTEF Byggforsk, i tett

samarbeid med NTNU, BI, NGI, MET Norge, og andre konsortium innenfor offentlig og privat sektor. Målet til organisasjonen er å redusere samfunnsrisikoen relatert til økte nedbørmengder og oversvømmelser i urbane områder (Time, 2017). Skjæveland Gruppen utvikler og produserer flere interessante grunne overvannsystemer, for eksempel Qmax Storm systemet og slisserenner. Stadige bekymringer og gjentatte spørsmål fra kunder om hvordan løsningene fungerer i et kaldt klima med mye frost, var med på å danne grunnlaget for denne studien. Frostproblematikken gjør at de grunne systemene er mer utbredt langs kysten enn i Oslo og Innlandet, ettersom få tørr å benytte systemene før de får dokumentert opptreden ved tøffe vinterforhold. Denne studien vil gi en god indikasjon på hvordan de grunne overvannsystemene fungerer om vinteren, og i framtiden kan Skjæveland Gruppen henvise til denne rapporten når kundene spør angående dette.

Det finnes mange eksempel på at frossen undergrunn kan skape problemer for overvannshåndteringen. Lindholm *et al.* (1999) sine studier viser at den hyppigste årsaken til oversvømmelser på tettsteder er regn i kombinasjon med snøsmelting på frossen grunn. De hydrologiske forholdene varierer fra kommune til kommune, men statistikker bekrefter at det forekommer flest flomepisoder i tidsrommet januar–april (Lindholm *et al.*, 1999). Ved regn på frossen grunn er sannsynligheten stor for at alt overvannet blir transportert på overflaten, ettersom snø og is ved oppstarten av nedbørshendelsen har tettet sluk, rister, bekkeinntak og innløpene til rørene. Den 31. mars 1997 oppstod det en langvarig regnhendelse på en snødekt overflate som førte til flom i flere bydeler i Trondheim (Milina og Selseth, 2000). Det ble registrert 30 mm regn den 30. mars og 55 mm regn dagen etter. Analyser av hendelsen fra Milina og Selseth (2000) slo fast at regnet hadde et gjentaksintervall på 20 år, i motsetning til avrenningen som hadde et gjentaksintervall på 50 år. Frosten i jorden kombinert med snøen på overflaten bidro til at jorden ikke maktet å ta imot nedbøren, og mye av regnet ble til avrenning selv om deler av arealet bestod av permeabelt dekke (Milina og Selseth, 2000). Ved bruk av fellessystemer er konsekvensen av slike hendelser ofte oppstuvinger i kjellere og forurensede overløpsutslipp. Flere eksempler på hendelser med intens regn på frossen grunn kunne vært nevnt.

1.2 MÅL OG FORSKNINGSSPØRSMÅL

Målet med rapporten er å bidra til at kunnskapen relatert til frost og grunne overvannsystemer økes, ved å innhente mest mulig dokumentasjon og erfaringer om hvordan systemene opptrer om vinteren. Fordelene med grunne rør/renner er mange, og denne studien kan bidra til at

flere kommuner velger å benytte seg av slike samfunnsøkonomiske løsninger i framtiden. Ettersom det eksisterer lite nasjonal og internasjonal forskning om emnet, er det gjennomført forsøk i klimalaboratoriet til SINTEF. Formålet med forsøkene er undersøke hvordan ulike elementer som lufttemperatur, temperaturen i grunnen, kontinuerlig vannstrømning i røret, vannmettede masser, fall, overdekning og type rør påvirker opptreden til de grunne løsningene om vinteren. Sentrale forskningsspørsmål i denne oppgaven er følgende:

1. Hvordan fungerer de grunne systemene ved stabilt kalde temperaturer og tørre masser?
2. Hvordan fungerer de grunne systemene ved daglig frysing/tining og vannmettede masser?
3. Hvordan fungerer de grunne systemene ved regn og snøsmelting på frossen grunn?

1.3 BEGRENSNINGER OG DISPOSISJON

Oppgaven er basert på litteraturstudie, befaringer og observasjoner, intervju og laboratorieforsøk. Den omfatter kun undersøkelser av hvordan frosten påvirker systemenes evne til å transportere bort overvannet, det fokuseres ikke på om vannkvaliteten til overvannet påvirkes. Det finnes flere grunne overvannsystemer, men hovedfokuset i rapporten er på Qmax Storm systemet og slisserenner. Slike anlegg er etablert på Trandum og Gardermoen, men grunnet lang reiseavstand ble det besluttet å observere tre slisserenner ved Åsveien skole i Trondheim gjennom vintersesongen. Det var også planlagt å få data fra et feltforsøk av Qmax Storm systemet på Trandum i regi av Skjæveland Gruppen, som kunne knyttes opp mot målingene i laboratoriet. På grunn av uventede problemer med leveransen av måleutstyret ble ingen målinger registrert denne vinteren, noe som har begrenset datagrunnlaget til rapporten. Etter planen skulle målinger registreres fra starten av februar. Uventet lang tidsbruk per forsøk i klimalaboratoriet, i kombinasjon med sen oppstart, har bidratt til å begrense antall gjennomførte forsøk.

Rapporten starter med en beskrivelse av relevant teori i kapittel 2, der frosten knyttes opp mot overvannshåndteringen. Kapittel 3 beskriver de grunne overvannsystemene som er etablert på studieområdene Trandum, Gardermoen og Åsveien skole. Disse er benyttet til informasjonsinnhenting. Videre gjøres det i kapittel 4 greie for de ulike kvalitative metodene som er anvendt for å innhente erfaringer og dokumentasjon til rapporten, inkludert en nøyaktig beskrivelse av forsøksoppsettene i klimalaboratoriet. I kapittel 5 presenteres sentrale observasjoner fra studieområdene, og den viktigste informasjonen som er videreformidlet i de

ulike intervjuene. I det påfølgende kapittelet presenteres resultatene fra laboratorieforsøkene, både fra nedfrysingen og opptiningen av modellen. I kapittel 7 diskuteres resultatene fra laboratorieforsøkene opp mot hverandre, observasjoner som er gjort, informasjon fra intervjuene samt teorien som er beskrevet. Avslutningsvis fattes det en konklusjon og gis anbefalinger til videre arbeid innenfor temaet.

2. TEORI

I dette kapittelet gjøres det greie for relevant teori om overvannshåndtering og frost, og kombineringen av de to elementene. Dette ble nærmere beskrevet i prosjektoppgaven høsten 2018, men det gis her en kort sammenfatning, i tillegg til beskrivelse av relevant teori om varmebalanse.

2.1 OVERVANNSHÅNDTERING

Vannets naturlige kretsløp gjør at nedbør kommer til ulike tider, med ujevne mengder og intensitet til jordoverflaten. Lufttemperaturen avgjør om nedbøren er snø, sludd eller regn. Ved regn infiltreres deler av vannet i grunnen, noe fordampes eller tas opp i planter, mens det resterende vannet renner på overflaten og må håndteres ved hjelp av overvannsledninger og åpne løsninger (Ødegaard, 2014). Tilstanden i grunnen er normalt avgjørende for om det oppstår problemer med overvannshåndteringen. Dersom jorden er frossen eller mettet grunnet tidligere nedbør, vil alt vannet renne hurtigere og i større mengder på overflaten, hvilket gir en større og hurtigere flomtopp (NOU 2015:16). I dag forekommer ca. 75 % av flomskadene i urbane områder (van Ree *et al.*, 2011).

Tidligere ble alt regnvannet fraktet i fellesledninger sammen med avløpet til nærmeste renseanlegg. Ettersom overvannet kan transporteres direkte til resipient medfører en slik løsning at unødvendig mye vann fraktes til renseanleggene, i tillegg til en økning av faren for oppstuvning i kjellere og overløpsutslipp ved intense nedbørshendelser (NOU 2015:16). Overløpsutslipp er et av de største vannforurensingsproblemene i byene, og oppstår når avløpsledningen går full (Lindholm, 2011). Mange av kommunene har liten oversikt, men ifølge Lindholm (2011) er utslippsmengdene betydelige. Problemene vil bli enda større med økte nedbørsmengder, og i dag arbeides det kontinuerlig med å erstatte fellessystemene med separate ledninger for overvann og spillvann.

De separate overvannsledningene ligger normalt på frostfri dybde og transporterer overvannet

direkte til resipient. Ledningene er dimensjonert basert på historiske korttidsnedbørdata, arealet til nedslagsfeltet, type flater i nedslagsfeltet (avrenningskoeffisient) og et bestemt gjentaksintervall (Ødegaard, 2014). Målinger av korttidsnedbør viser at nedbørsintensiteten gradvis øker med årene. Mange av rørene er derfor underdimensjonert, og ikke i stand til å håndtere dagens vannmengder. Ettersom det ikke er samfunnsøkonomisk å øke rørdimensjonene i grunnen i takt med økningene av nedbør, har man begynt å ta i bruk åpne lokale løsninger (Ødegaard, 2014). Dagens tankegang bygger på tre-trinns strategien til Lindholm *et al.* (2008). I trinn 1, ved en nedbørshendelse under 20 mm, skal vannet holdes tilbake og gjerne infiltreres, typisk ved bruk av regnbed, permeable flater eller grønne tak. I trinn 2, ved en nedbørshendelse mellom 20 og 40 mm, skal vannet forsinkes og fordrøyes, gjerne ved åpne fordrøyningsbasseng eller åpne vannveier. I trinn 3, ved over 40 mm nedbør, skal det tilrettelegges for trygge flomveier. Formålet med løsningene er å forsinke og fordrøye overvannet slik at både størrelsen på flomtoppene reduseres, og tidspunktet til flomtoppen utsettes (NOU 2015:16).

2.1.1 Grunn overvannshåndtering

Grunne overvannsystemer etableres over den frostfrie dybden, med liten eller ingen overdekning. Ettersom slike løsninger reduserer kostnader og tidsbruk i forbindelse med sprengning, graving og gjenfylling, implementeres de gradvis (Coutermarsh og Carbee, 1998; Pericault *et al.*, 2017). Ifølge Pericault *et al.* (2017) medvirker også den grunne dybden til at det er enklere og billigere å utføre eventuelt vedlikehold og rehabilitering. Han angir videre at grunne løsninger er spesielt gunstig i områder der frosten trenger dypt ned (mer enn to meter), ettersom kostnadene med sprenging, graving og gjenfylling øker til dypere røret legges.

Tradisjonelt har ledninger som ligger over den frostfrie dybden blitt beskyttet mot frost. De to metodene som normalt tas i bruk er tilføring av varme til ledningen, eller isolering av den (Gundersen, 2005). Tilføringen av varme kan skje via elektrisk tape, varmekabel eller væskesirkulasjonsrør, og fører til betydelige energikostnader (Pericault *et al.*, 2017).

2.2 FROST

Andersland og Ladanyi (2004) definerer at frossen jord har en temperatur på under 0 °C, og lufttemperaturen må være mindre enn 0 °C for at dette skal oppstå. De termiske egenskapene til jorden og varmetransporten fra det indre av jorden påvirker også hvordan temperaturen i grunnen er. Totalt består den frosne jorden av fire komponenter: jordpartikler, vann, hulrom og is (Andersland og Ladanyi, 2004).

Frost er en komplisert prosess der det øverste aktive laget i jorden fryser og tiner hvert år (Instanes, 2005). Temperaturen og klimaet i området avgjør hvordan frosten utarter seg. Enkelte vintre kan man få frost tidlig, som trenger dypt ned i bakken og er uforstyrret til smeltingen om våren, andre vintre få daglige fryse/tine-sekvenser over en lang periode. For å beregne frostnedtrengningen og dimensjonere konstruksjoner i grunnen, er frostmengden en sentral parameter (Gundersen, 2005). Frostmengden er av Instanes (2005, s. 14) definert som «tidsintegralet av lufttemperaturer lavere enn 0 °C gjennom vinterhalvåret». Verdien kan finnes ved hjelp av enkle temperaturobservasjoner. Motsetningen til frostmengden er tinemengden, som Instanes (2005, s. 14) definerer som «tidsintegralet av lufttemperaturer større enn 0 °C».

2.3 VARMEBALANSE

I dette delkapittelet gjøres det greie for sentrale begreper som påvirker varmebalansen i jorden. Kunnskap om varmestrømning og varmelagring er nødvendig for å beregne frostnedtrengningen i jorden og påvirkningen på konstruksjoner i grunnen.

2.3.1 Varmestrømning

Ifølge Johansen og Frivik (1976) er varmestrømningen i et legeme styrt av temperaturforskjeller fra punkt til punkt. Prinsippet for varmestrømning gjennom rørveggen er illustrert i figur 1. Den vil være konstant dersom man har en gitt temperaturgradient, altså en konstant temperaturforskjell mellom innsiden og utsiden av rørveggen. Varmestrømmen gjennom rørveggen kan uttrykkes som:

$$\text{Likning 1:} \quad q = \frac{\lambda * (\theta_2 - \theta_1)}{\Delta Z}$$

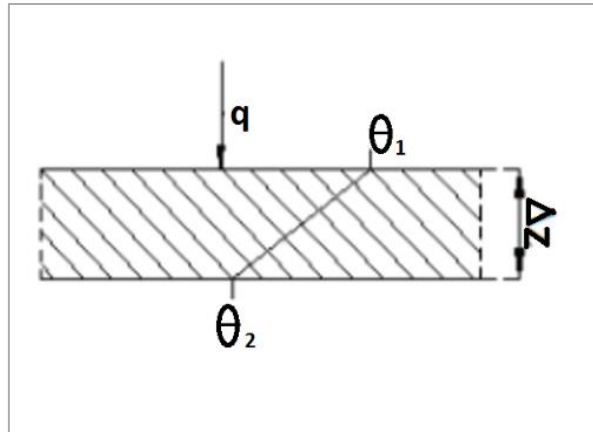
Hvor:

λ = veggens varmeledningsevne (W/mK)

$\theta_2 - \theta_1$ = temperaturforskjell mellom innsiden og utsiden av rørveggen

ΔZ = tykkelsen på rørveggen

q = varmestrømning



Figur 1. Prinsippet for varmestrømning gjennom rørveggen (Johansen og Frivik, 1976).

Temperaturgradienten kan regnes ut som forholdet mellom temperaturendringen (ΔT) og dybdeendringen (ΔX) (Reikvam, 2013). Ved en gitt temperaturgradient er varmestrømmen gjennom en bestemt flate proporsjonal med stoffets varmeledningsevne (λ) (Johansen og Frivik, 1976).

Varmeledningsevnen defineres som evnen et material har til å lede varme gjennom konduksjon fra varme molekyler i en ende av materialet til kaldere molekyler i motsatt ende (Johansen og Frivik, 1976). Varmeledningsevnen til vann, is og de vanligste materialene for overvannsrør er angitt i tabell 1.

Materiale	Varmeledningsevne (λ)
PE	0,4 W/m ⁰ C
PVC	0,16 W/m ⁰ C
PP	0,12 W/m ⁰ C
Betong	1–1,8 W/m ⁰ C
Vann	0,58 W/m ⁰ C
Is	2,21 W/m ⁰ C

Tabell 1. Varmeledningsevne til relevante rørmaterialer, vann og is (Reikvam, 2013). Verdien til betong er hentet fra Engineering Toolbox: (https://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html).

Vanninnholdet i massene påvirker varmeledningsevnen i stor grad. Ved økende vanninnhold øker varmeledningsevnen. Bedre komprimering fører også til økt varmeledningsevne. I utgangspunktet gir økt vanninnhold en redusert frostsikring, men ettersom det utvikles frysevarme fra vannet under fryseprosessen, gir et høyere vanninnhold ved konvensjonelle masser en bedre frostsikring (Johansen og Frivik, 1976).

2.3.2 Varmelagring

Varmelagringen kan være både positiv og negativ, og oppstår som et resultat av temperaturendringer over tid eller på grunn av frysing/tining (Johansen og Frivik, 1976).

Varmelagringen til et legeme ved tilførsel av varmemengden Q er gitt ved:

$$\text{Ligning 2:} \quad \theta_2 - \theta_1 * C * V = Q$$

Hvor:

$\theta_2 - \theta_1$ = temperaturforskjellen i legemet før og etter varmetilførselen

C = den volumetriske varmekapasiteten til legemet

V = volumet til legemet

Jordens varmeomsetning om vinteren er i stor grad avhengig av materialeegenskapene til massene og lagdelingen. Jordvarmen som blir frigitt ved avkjøling av ufrosne jordlag gir et stort bidrag til varmebalansen (Johansen og Frivik, 1976). Andre sentrale varmetekniske egenskaper som påvirker varmemengden er varmekapasiteten og frysevarmen.

Varmekapasitet (C)

Varmekapasiteten angis normalt med en C -verdi for hvert enkelt materiale, og er definert som den energien som kreves for å endre temperaturen i et materiale med 1°C (Reikvam, 2013).

Varmekapasiteten til vann, is og de vanligste materialene for overvannsrør er angitt i tabell 2.

Materiale	Varmekapasitet
PE	2,25 kJ/kg ⁰ C
PVC	1,05 kJ/kg ⁰ C
PP	1,7–2 kJ/kg ⁰ C
Betong	0,88 kJ/kg ⁰ C
Vann	4,19 kJ/kg ⁰ C
Is	2,09 kJ/kg ⁰ C

Tabell 2. Oversikt over varmekapasiteten til ulike materiale (Reikvam, 2013). Verdien til betong er hentet fra Engineering Toolbox: (https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-d_391.html).

Frysevarme (L)

Johansen og Frivik (1976) angir at dersom et materiale som inneholder vann fryser eller tiner, blir varmemengde frigjort eller bundet og er proporsjonal med frysevarmen til materialet gitt som:

Ligning 3: $Q = L * V$

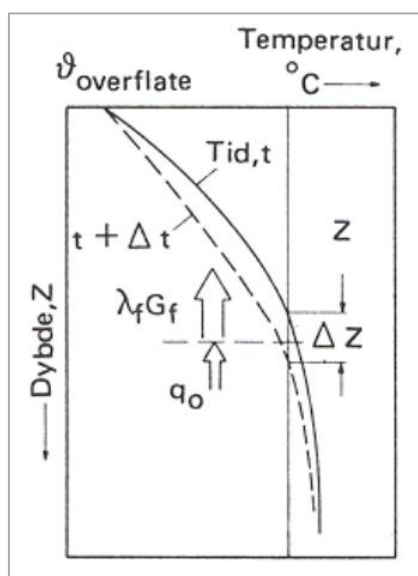
Hvor:

Q = frigjort varme

L = volumetrisk frysevarme (J/m^3)

V = volum som tiner eller fryser

Ved en liten økning av frostdybden består varmemstrømmen av to bidrag: (1) frysevarmen ($L * \Delta z$) som blir frigjort i faseovergangen når vannet i massene fryser til is og (2) jordvarmen ($q_0 * \Delta t$) som i det aktuelle tidsrommet strømmer opp fra undergrunnen. Prinsippet er illustrert i figur 2.



Figur 2. Varmebalansen ved frysefronten over et kort tidsrom (Johansen og Frivik, 1976).

Varmebalansen er i dette tilfellet gitt som:

Ligning 4: $L * dZ + q_0 * dt = \lambda_f * G_f * dt, (\frac{Wh}{m^2})$

Hvor:

L = volumetrisk frysevarme (Wh/m^3) λ_f = varmeledningsevne av frosset jord (W/mK)

w = vektandel vann G_f = temperaturgradienten over frysefronten ($^{\circ}C/m$)

ρ_d = tørr romvekt (kg/m^3) t = tid, h

q_0 = frysevarme av vann ($93 Wh/kg$)

Over hele frostperioden kan frysevarmen betraktes som jordlagets frostmotstand, og tilsvarende kan bidraget fra den utstrømmende jordvarmen anses som jordvarmens frostmotstand. Frysevarmen + jordvarmen er dermed lik varmen som blir ledet vekk fra frysefronten, og kombinasjonen av frostmotstanden deres utgjør den frostmengden som konstruksjoner på overflaten utsettes for (Johansen og Frivik, 1976).

2.4 PROBLEMER FOR OVERVANNSHÅNDTERINGEN FORÅRSAKET AV FROST

Frosten kan forårsake flere sentrale problemer for overvannshåndteringen. De største problemene er beskrevet kort i de påfølgende delkapitlene.

2.4.1 Telehiv

Telehiv kan oppstå ved tilstedeværelse av frostutsatte jordmaterialer, temperaturer under 0 °C, og tilgang til fritt vann (Andersland og Ladanyi, 2004). Dersom alle de tre forutsetningene er tilstede dannes det en frysefront i jorden med islinser. Jordarten påvirker omfanget av telehiven. I grove jordarter fryser vannet homogent i porene, mens i fint graderte jordarter er den en stor varmetransport, som bidrar til at det dannes et undertrykk ved isfronten slik at mer vann fraktes til islinsene (Andersland og Ladanyi, 2004). Det dannes da flere islinser, og infiltrasjonen av overvann begrenses.

Snøen fungerer som et isolasjonslag for telen, og i sesonger med dype snømengder oppleves få problemer med telehiv (Gundersen, 1992a). Forklaringen er at snødekket har en lav termisk konduktivitet som bidrar til at overflatetemperaturen i grunnen blir høyere, og frostmengden reduseres. Til lavere densitet snøen har, til bedre isolerende evne (Liereng, 2016). Dersom snødekket er tykt nok, isoleres den temperaturen som allerede er i bakken og en større kulde på overflaten evner ikke å trekke nedover (Trøstaker, 2016). Det er vanskelig å få oversikt over hvordan telehiven påvirker funksjonen og tilstanden til rørene i grunnen, men fordi strukturer blir påvirket av et ujevnt poretrykk kan rørene sprekke (Caraco og Claytor, 1997).

2.4.2 Vannmettede omfyllingsmasser

På grunn av at omfyllingsmassene kan påvirke skadepotensialet til rørene, stilles det i VA/Miljø-blad nr. 109 krav til hvilke masser som skal benyttes. Det er essensielt at omfyllingsmassene er stabile ved vanngjennomtrengning, og det anbefales å benytte ensgradert singel eller finpukk 8–12 mm (Cowi, 2013). Gundersen (1992b) angir at slike masser er termisk og mekanisk stabile, har lav varmeledningsevne, liten evne til å holde på fuktighet og gode lastfordelende egenskaper. Massenes gode dreneringsegenskaper sørger for liten eller ingen frostheving, samtidig som den lave varmekapasiteten gjør at

frostpenetreringen kan gå ganske dypt (Reikvam, 2013). Eventuelle lekkasjer fra rør og kummer medfører at jorden kan stå i vannmettede masser, og dersom det da fryser på vil det kunne oppstå et ugunstig høyt isinnhold i jorden (Bjerkeholt og Vigerust, 2002). Dersom omfyllingsmassene er vannfylte når telen setter seg kan det oppstå bevegelse, riss og sprekker i rørene i grunnen. Eggestad og Gregersen (1983) sine feltforsøk viser at ved telefarlige masser øker jordtrykkene i grøften om vinteren, hvilket resulterer i økte spenninger i rørene (Eggestad og Gregersen, 1983). I ikke-telefarlige masser avtar derimot jordtrykkene i perioden der telen går ned i bakken, før den går tilbake til opprinnelig nivå etter teleopløsningen.

2.4.3 Termiske spenninger

Ifølge Zhan og Rajani (1997) kan de termiske spenningene relateres til at flere brudd forekommer i løpet av vinteren. Termiske spenninger oppstår i alle faste materialer ved temperaturendringer, og denne endringen gjør at rørmaterialene trekkes sammen eller utvides (Reikvam, 2013). Røret trekker seg sammen ved lavere temperaturer og det oppstår en strekkraft i lengderetningen til rørveggen, i motsetning til ved høyere temperaturer der røret utvides og det oppstår en trykkraft eller bøyespenning i røret. Alle rørmaterialer har en temperaturkoeffisient som avgjør hvordan materialet endrer struktur ved temperaturendringer, angitt i tabell 3.

Materiale	Temperaturutvidelseskoeffisient
PE	0,18 mm/m/°C
PVC	0,08 mm/m/°C
PP	0,12 mm/m/°C
Betong	0,0098 mm/m/°C

Tabell 3. Temperaturutvidelseskoeffisient for relevante rørmaterialer (Reikvam, 2013). Verdien til betong er hentet fra UTA: (<https://www.utausa.com/metalconverter.html>).

Den vanligste bruddtypen er tverrbrudd. Dette skjer når temperaturfallet medvirker til økte spenninger i lengderetningen, som legges til de spenningene som allerede påvirker røret som jordlast, frostlast, trafikklaster og internt trykk. Spenningene kan da overstige styrken til røret og det kan oppstå tverrbrudd (Habibian, 1994). Langsgående brudd kan også dannes som følge av temperaturfall. Dersom vannet inne i røret kjøles raskt ned, kan det oppstå en termisk gradient som blir satt opp mot veggykkelsen til røret, og konsekvensene er at de indre og ytre fibrene blir utsatt for ulike temperaturer. Dette gir økte tøyninger og spenninger som resulterer i langsgående brudd (Habibian, 1994).

2.4.4 Ispropper og frostsprengning av rør

Isdannelse inne i røret kan føre til at tverrsnittet blir redusert eller blokkert. Prosessen der det dannes ispropper i røret kan deles opp i tre faser (Akyurt, Zaki og Habeebullah, 2002). I fase 1 sørger lave temperaturer for at vannet blir nedkjølt, før det i fase 2 oppstår nukleering og dannelse av iskrystaller i vannet, som til sammen opptar 2–6 % av det totale volumet i røret. I den siste fasen blir fast ringformet is dannet fra rørveggen og innover mot sentrum av røret, og sørger for at det oppstår en komplett ispropp som dekker hele tverrsnittet.

Jain *et al.* (2018) beskriver at det er utviklet flere analytiske modeller for å forutse blokkeringen av rør ved frysing, og det konkluderes med at de avgjørende faktorene er diameteren til røret, vannstrømningen, temperaturen i vannet ved innløpet og temperaturen i rørveggen. Lav vannstrømning medvirker til at vanntemperaturen reduseres i kalde perioder, og tykkelsen på isen som dannes i fase 2 blir større enn vannstrømningen. Dette resulterer i en voksende frysefront. Blokkering av røret vil normalt ikke være et problem om vannstrømningen er større enn isdybden. Ispropper i røret kan føre til at det blir frostsprengt, og for å unngå dette anbefaler Caraco og Claytor (1997) at røret legges med et fall på over 10 promille. Da vil vannet renne raskere og redusere sannsynligheten for at stillestående vann fryser. De angir videre at dersom diameteren økes, vil sannsynligheten for at isen blokkerer røret reduseres, ettersom vannet har et større område til å passere isen som allerede er dannet i røret. Frostsprengning oppstår gjerne dersom det står vann i en ledning med et tverrsnitt som ikke gir plass til vannet under frysing. Ifølge Bjerkeholt og Vigerust (2002) kan sannsynligheten for frostsprengning av rør reduseres ved å få kontroll på «skorsteinseffekten». Denne effekten oppstår av temperaturforskjeller inni og utenfor røret, og resulterer i at kalde luftstrømmer blir sugd inn i utløp eller kummer. Tiltak for å unngå dette er å holde ventilasjonen til avløpsledningene lav ved å benytte vannlåser, vakumventiler og tette kummer.

2.4.5 Is i innløp, utløp og stikkrenner

Dersom et innløpsrør er tilknyttet et fordrøyningsbasseng eller andre åpne vannspeil bør det ikke være nedsenket, grunnet vannet kan fryse om vinteren og skape store problemer oppstrøms (Caraco og Claytor, 1997). Ved utløpsrøret kan sprut av vann føre til isdannelse, men dette kan unngås ved å begrense høydeavstanden mellom utløpet og den videre vannkilden (Caraco og Claytor, 1997). Carey (1977) angir at to ulike tiltak kan iverksettes for å redusere isdannelsen ved utløpsrør. Det er enten ved å benytte gardiner av plaststrimler eller ved å legge den siste rørlengden med et dobbelt utløpsrør.



Figur 3. Den ekstra utløpsrennen til venstre er helt fri for is siden den ligger høyere (Statens vegvesen, 2018).

Ifølge Statens vegvesen (2018) har det å montere en ekstra utløpsrenne, som ligger noe høyere enn den opprinnelige vist seg å være effektivt for å hindre oversvømmelse i perioder med tining. Den ekstra rennen er tørr hele vinteren ettersom den ligger høyere, og har dermed full kapasitet tilgjengelig når store vannmengder ankommer.

Den lave vannføringen i stikkrennene om vinteren gir et stort varmetap til omgivelsene, og resulterer i at isdannelse er et normalt problem (Liereng, 2016). Carey (1977) angir at dette kan oppstå i alle slags stikkrenner, uavhengig av material og konfigurasjon. Det koster mye tid og penger å holde stikkrennene åpne, og relatert til innsatsen som legges ned er erfaringene blandet (Statens vegvesen, 2013). Vanlige metoder som benyttes for å tine isen er steaming, Ice Guard System, varmekabler og strøing av sand og grus (Trøstaker, 2016).

I en del av NIFS forskningsprosjekt fra 2012–2015 ble det testet ut hvordan «kuldeskjørt» av fiberduk eller plaststrimler påvirket isdannelsen i stikkrenner, illustrert i figur 4. Det ble plassert termometerer inne i stikkrenner og ute i friluft for å illustrere effekten. Områdene som ble undersøkt var Dovre og Trysil, men dessverre var det lite isdannelse de årene målingene ble utført. Temperaturene ble derimot registrert og Trøstaker (2016) meddelte at erfaringene fra prosjektet er at «kuldeskjørt» har en termisk effekt på stikkrennene. Hun konkluderte med at bruk av plaststrimler ved innløp eller utløp hadde en større effekt enn fiberduk. Plast gir en bedre termisk effekt, i tillegg fester isen seg lettere på fiberduk. Det ble observert dugg på innsidene av noen utløp med plaststrimler, som i kombinasjon med termometermålingene illustrerer at temperaturen er høyere på innsiden av rørene enn på utsiden, ved bruk av plaststrimler. Trøstaker (2016) angir at en av de største fordelene med

kuldeskjørt er at de ikke hindrer mulighetene for å inspisere rennen. En ulempe er derimot at kuldeskjørtene kan fryse fast i bunnen ved vekslende fryse/tine-sykluser.



Figur 4. Kuldeskjørt av plaststrimler (Trøstaker, 2016).

At plaststrimlene er tette og har en liten tykkelse gjør at det kun skapes en liten temperaturgradient gjennom materialet. Strimlene er konstruert med tanke på å holde temperaturer stabile og hindre trekk (Trøstaker, 2016).

2.4.6 Iskjøving i grøfter

Iskjøving er et fenomen som oppstår når vannet renner over en kald flate, og kan relateres til dannelsen av ispropper i rør (Statens vegvesen, 2018). Dersom stikkrenner eller rister tettes av ispropper, sedimenter eller andre store legemer, vil det oppstå stillestående vann i nærliggende grøfter som gradvis fryser til og fylles med is om lufttemperaturen er lav nok (Liereng, 2016). Ved slike tilfeller vil vannet finne alternative veier. Det kan trenge inn i overbygningen til nærliggende vei og dermed medvirke til at telehiv oppstår dersom temperaturen synker, eller utvaske nærliggende konstruksjoner. Vann som eroderer vekk løsmasser nevnes blant de hyppigste årsakene til jord og flomskred (Liereng, 2016).

Tettpakkede grøfter med snø kan være en stor bidragsyter til iskjøving om våren. På denne tiden smelter snøen i grøften om dagen, og dersom dette fryser til på kvelden dannes det is i grøften (Liereng, 2016). Er grøften dyp nok til at vannet kan renne frostfritt i bunnen hele vinteren, har derimot snødekket i grøften en positiv effekt (Carey, 1977). Praktiske erfaringer viser at grøfter med dybde under 0,3 meter er mest utsatt for iskjøving (Statens vegvesen, 2018). I tillegg til at snøen påvirker iskjøvingen, spiller regnet en sentral rolle (Trøstaker,

2016). Store nedbørsmengder sent om sommeren og høsten gir rikelig med grunnvann som kontinuerlig kan strømme til der iskjøvingen startet, og dermed øke omfanget av det.

3. BESKRIVELSE AV STUDIEOMRÅDER OG AKTUELLE GRUNNE OVERVANNSYSTEMER

I dette kapittelet vil områdene der det er utført befaringer, observasjoner og intervju denne vinteren presenteres. I tillegg beskrives de grunne overvannsystemene som benyttes på de aktuelle stedene Åsveien skole, Trandum og Gardermoen.

3.1 ÅSVEIEN SKOLE

På Byåsen, like sørvest for Trondheim, ligger nye Åsveien skole med over 600 elever. Skolen ble tatt i bruk i 2015, og er en av Norges mest klimavennlige skoler (Andersen, 2015). Den er bygd som et passivhus og på uteområdet er det anlagt blågrønne løsninger som regnbed og åpne vannspeil som bidrar til en forsinket og redusert vannavrenning fra taket og uteområdene. Totalt er det etablert tre slisserenner på uteområdet, illustrert i figur 5.

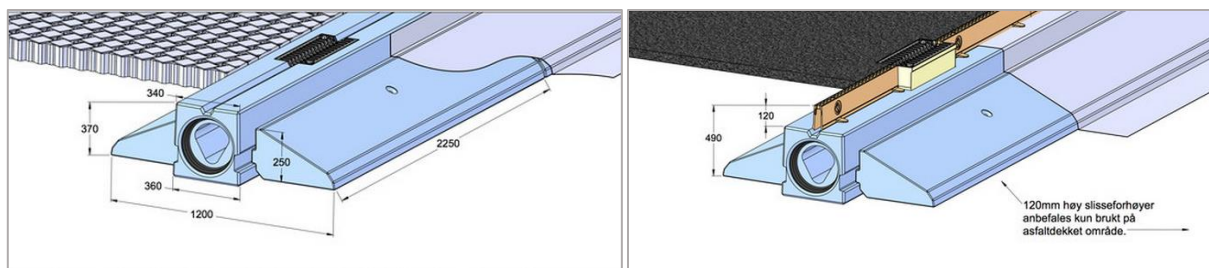


Figur 5. Lokalisasjonen til de tre slisserennene ved Åsveien skole er markert ved røde kryss (Google maps).

De tre rennene krysser gangveien gjennom skoleområdet, og har i oppgave å transportere overvannet bort fra lekeområdet mellom skolen og gangveien. Slisserennen lengst til høyre i figur 5 frakter vannet til et åpent vannspeil.

3.1.1 Generell beskrivelse av slisserenner

Slisserenner er et grunt overvannsystem som normalt legges uten fall, og benyttes vanligvis til å transportere overvann fra store arealer med tette flater. Slisserenner etableres typisk på flyplasser, kaier, terminaler, industriarealer og for å drenere tunneler og innkjørsler til garasjer (Merkesdal, u.å:a). Selve systemet består av en renne i bunnen med langsgående slisser på toppen, slik at vannet fraktes ned i rennen som illustrert i figur 6. Åpningen til slissene er noen få cm tykke. Det er vanlig at toppen til slisserennene plasseres på samme høyde som dekket rundt, eller rett under med en slisseforhøyer tilknyttet. Rennene ligger derfor med liten eller ingen overdekning. Mellom dekket og slisserennene må det fuges ordentlig slik at vannet ikke finner veien ned i grunnen mellom rennen og dekket.



Figur 6. Eksempel på ulike monteringer av slisserenner, med slisseforhøyer er vist til høyre (Merkesdal, u.å:a).

Fallet på overflaten bidrar til at vannet fraktes bort til slisserennene. Den primære funksjonen til slisserennene er å transportere overvannet bort fra de tette flatene og videre til kummer og tilknyttede rør. Målenøyaktigheten og rettheten til slisserennene er viktig for å unngå ujevnheter i dekket, slik at ikke kjøretøy påvirkes eller at det blir krevende å brøyte arealene (Merkesdal, 2014). Ved store ujevnheter kan rennene og brøyteutstyret ødelegges under brøyting, og det kan samle seg store dammer ved siden av rennene ettersom vannet hindres fra å renne ned (Merkesdal, 2014).

3.1.2 Beskrivelse av slisserennene ved Åsveien skole

Alle de tre slisserennene har en innvendig dimensjon på 200 mm, og er ca. åtte meter lange. Det er etablert slukrister ved alle innløpene, samt over utløpet til slisserennen som er tilknyttet vannspeilet. Samtlige utløp er åpne. Rennene har styrkeklasse F900, og slisseåpninger på 20 mm. Figur 7 illustrerer at rennene har en rektangulær form med rette sider under slukristen, og en rund konfigurasjon inni selve slisserennen.



Figur 7. Illustrasjon av konfigurasjonen til slisserennene ved Åsveien skole.

To av slisserennene frakter vannet bort til et regnbed, og den siste rennen frakter vannet til et åpent vannspeil som er tilknyttet lukkede fordrøyningsmagasin. Magasina benyttes når kapasiteten til det åpne vannspeilet ikke er tilstrekkelig.

3.2 TRANDUM

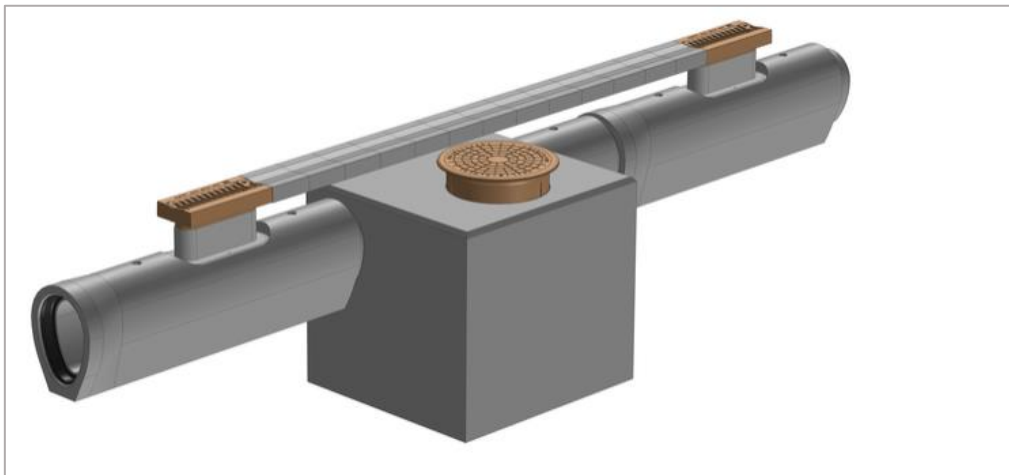
På Trandum, like nordøst for Gardermoen, ble det i november–desember 2018 anlagt et Qmax Storm system mellom to av parkeringsplassene på området til Forsvarsbygg. Skjæveland Gruppen involverte seg i prosjektet ettersom de hadde et ønske om å etablere et testområde for å måle, analysere og dokumentere påvirkningen frost har på et slikt system. Dette er vanskelig å teste ordentlig på Sør-Vestlandet hvor Skjæveland Gruppen holder til, siden det normalt er milde vintre i området. På Trandum er det som regel kalde og lange vintre. Nedslagsfeltet til systemet er ca. 29 m x 61 m, og har dermed et totalareal på 1769 m².

Massene under parkeringsplassene består av sand og grus, og selve dekket av asfalt. Grunnet terrenget heller nedover på den nordre parkeringsplassen er det kun parkeringsplassen sør for rørstrekningen som frakter vann bort til slukristene.

3.2.1 Generell beskrivelse av Qmax Storm systemet

Qmax Storm systemet er et grunt overvannsystem utviklet av Skjæveland Gruppen, som er effektivt ved håndtering av overvann fra store arealer med tette flater. Produktet består av et Qmax-rør med tilknyttede slukrister til overflaten, skissert i figur 8. Mellom slukristene er det montert V-formede heller som sørger for at vannet finner veien til slukristene. Det egg-formede profilet på Qmax-røret gjør at systemet har en effektiv selvrensing selv ved lav

vannføring, og en større bredde øverst i røret bidrar til at vannføringskapasiteten er høy (Merkesdal, u.å:b). Systemet er derfor spesielt gunstig på flate områder med lite fall.



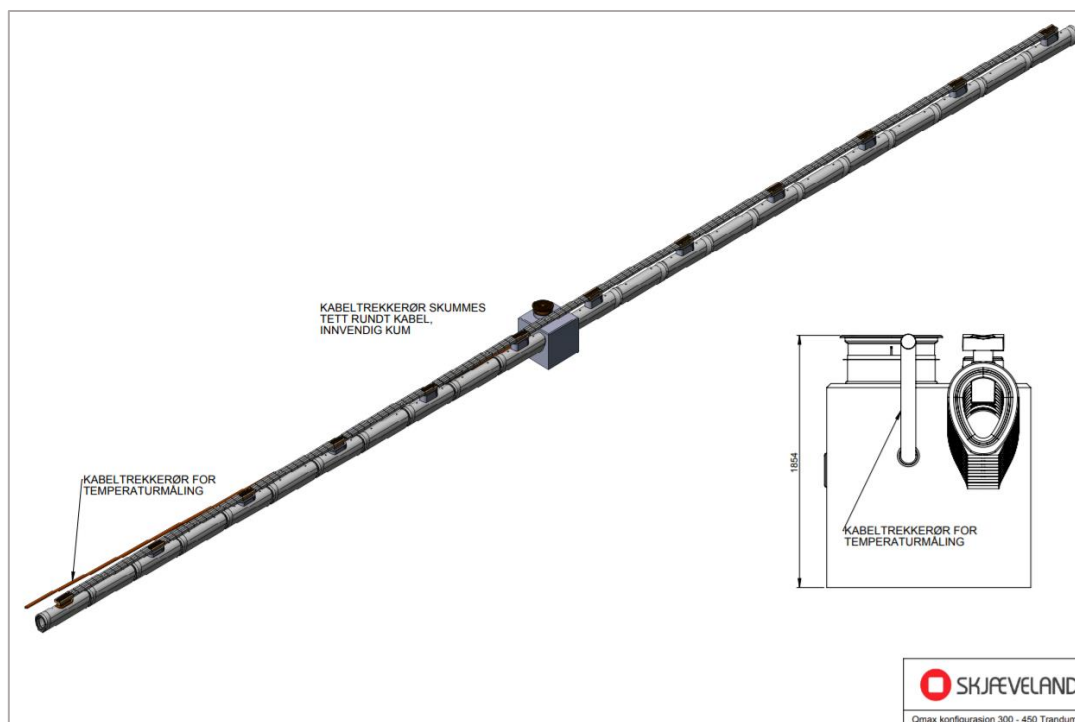
Figur 8. Illustrasjon av Qmax Storm systemet (Merkesdal, u.å:c).

Det eggformede profilet gir en større styrke enn hos sirkulære rør, og systemet kan derfor på enkelte steder legges med så lite som 200 mm i overdekning. Foten på Qmax-røret sørger også for at det er enklere å legge røret. Det kan legges direkte ned på et fast underlag uten at man må komprimere eller fylle i den nedre kvartsirkelen (Merkesdal, u.å:b). Etersom rørprofilet til Qmax-røret utvider seg oppover er det rom for ekspansjon. En av de mest kjente årsakene til frostsprengning kan derfor unngås, nemlig at det står vann i en ledning som har for lite tverrsnitt til vannet under frysing.

Sandfangskummer kan plasseres direkte inn på systemet, og dersom det trengs større kapasitet kan drensledninger kobles til. Da ledes noe av vannet via drensledninger til nærliggende masser og infiltrerer i grunnen (Merkesdal, u.å:c). Det finnes ikke bend til Qmax-rørene, og eventuelle avvinklinger må tas i kum.

3.2.2 Beskrivelse av Qmax Storm systemet på Trandum

Qmax Storm systemet på Trandum består av to ulike strekninger, der hver strekning er ca. 25 meter lang, illustrert i figur 9. Rørene har en dimensjon på 300/450 mm. Som figur 9 og 10 viser, er det etablert en sandfangskum mellom delstrekningene. På hver delstrekning er det etablert seks slukrister, med en avstand på 4,5 meter mellom dem. Mellom slukristene er det montert V-formede heller. Den ene strekningen har et fall på 10 promille, den andre strekningen er uten fall. Årsaken er at man ønsker å analysere om fallet har en påvirkning på opptreden til systemet. Røret med fall har en overdekning som varierer fra 10 til 35–40 cm, i motsetning til røret uten fall, som har en konstant overdekning på 35–40 cm.



Figur 9. Qmax Storm systemet på Trandum.

Langs rørstrekningen med fall er det lagt et kabeltrekkerør med temperaturfølere for å måle temperaturen i grunnen ved forskjellige dybder. Trekkerøret har et jevnt fall, og høydene er angitt i vedlegg 10. Ettersom temperaturen i grunnen på strekningen uten fall sannsynligvis er konstant hele veien og lik temperaturen på det dypeste for røret med fall, ble det besluttet å droppe temperaturmålinger der. Supplerende tegninger av systemet er vist i vedlegg 10.

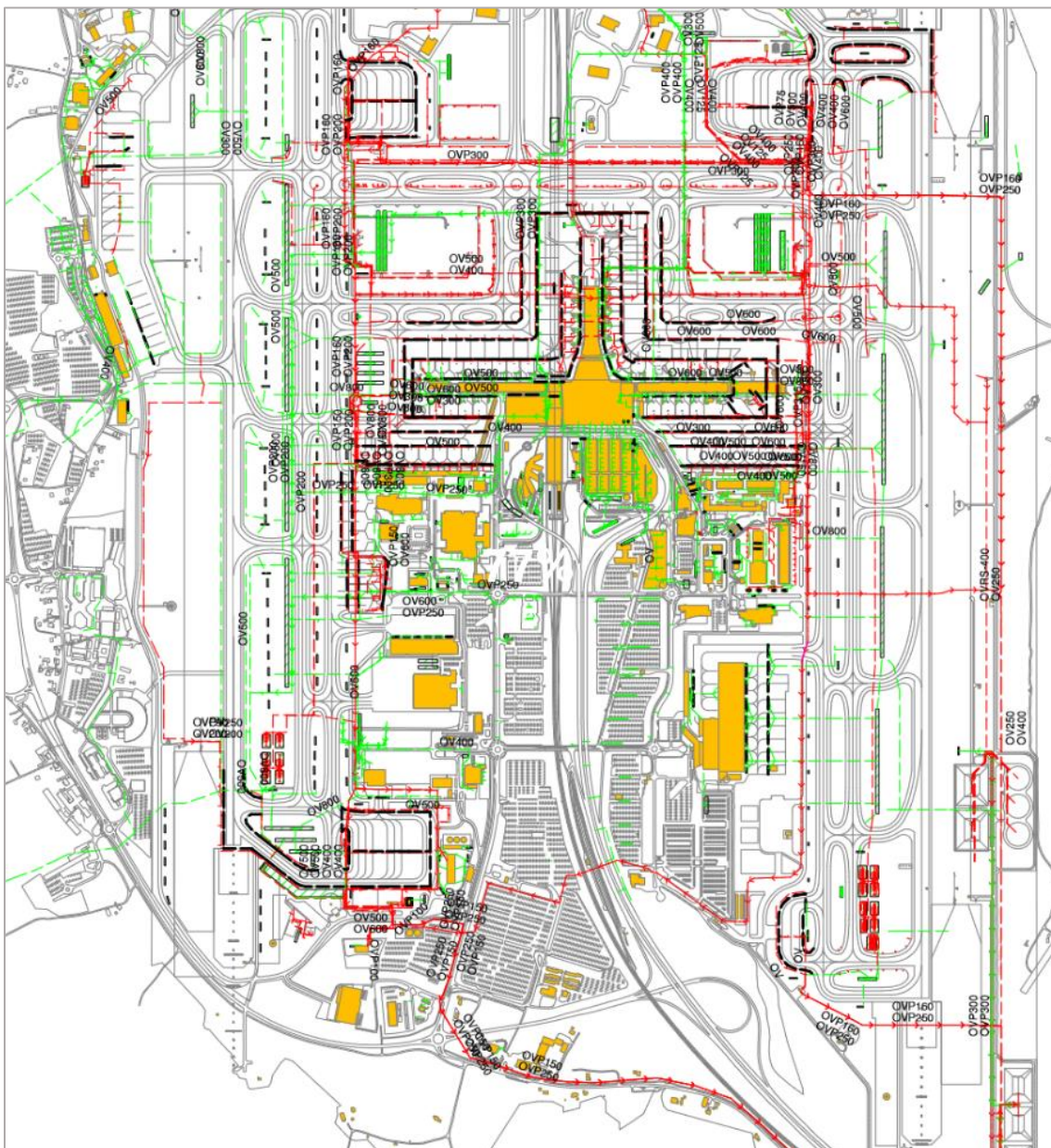


Figur 10. Sandfangskummen som er etablert midt på strekningen er illustrert til venstre. Bildet til høyre viser hele grøften, med delstrekningen uten fall nærmest.

3.3 OVERVANNSHÅNDTERINGEN PÅ GARDERMOEN

Oslo lufthavn Gardermoen har vært hovedflyplassen i Norge siden 1998. Flyplassen består av to rullebaner og store terminalområder. Brøytemannskapet har et fast dekke med areal på hele 3 km² som må brøytes om vinteren. Det faste dekket er 15 cm tykt og bygd opp av tre lag med asfalt. Under er det et pukklag og løsmasser av sand og grus. Frostdybden på Gardermoen er ca. 2,5 meter.

De har et omfattende overvannssystem for å frakte alt vannet bort fra de store flate dekkene slik at det ikke samler seg vann på rullebanene eller terminalområdet, skissert i figur 11.



Figur 11. Oversikt av overvannssystemet på Gardermoen. I kartet angir de svarte strekene slisserenner, de røde og grønne strekene er overvannsledninger, og de grønne rektanglene er infiltrasjonsmagasiner.

De har benyttet slisserenner helt siden den første utbyggingen av flyplassen i 1998. Årsaken til at de tok i bruk slisserenner var at utbyggingen var inspirert av flyplassen i München, der de benyttet slisserenner. Totalt er det 22 km med slisserenner på Gardermoen, der 75 % av rennene er levert av Østraadt, og de resterende av et tysk firma. Alle rennene har en rektangulær form utvendig. Vannet fra slisserennene fraktes normalt til en sandfangskum, hvor det er utløp til overvannsledninger på 1–3 m dybde som frakter vannet til et steinmagasin (LOD) eller til et lukket basseng. Om vinteren går primært alt vannet til et lukket basseng slik at det renses for ulike kjemikalier, for eksempel glykol. Glykol benyttes sammen med varmt vann under flyavisingen, hvor hensikten er å fjerne snø og is fra flyene før avgang.

4. METODE

I dette kapitlet beskrives metodene som er benyttet i studien. Arbeidet har i hovedsak gått ut på å innhente erfaringer og kunnskap gjennom kvalitative metoder som litteraturstudie, observasjoner og befaringer, intervju og laboratorieforsøk.

4.1 LITTERATURSTUDIE

Litteraturen som eksisterer innenfor dette fagfeltet ble i stor grad avdekket i prosjektoppgaven høsten 2018. Den viktigste litteraturen derfra er gjengitt i kapittel 2 i denne rapporten, supplert med nyere litteratur som er hentet denne våren. All litteratur er funnet gjennom omfattende søk på internett.

4.2 OBSERVASJONER OG BEFARINGER

Ved Åsveien skole er det utført kontinuerlige befaringer gjennom hele vintersesongen, med fokus på å dokumentere tilstanden ved de tre sentrale vær-situasjonene som er beskrevet i forskningsspørsmålene til studien. Tilstanden til slisserennene og området rundt ble dokumentert ved hjelp av bilder. I gjennomsnitt ble det utført en befaring per uke, der tidspunktene var avhengig av været. Det ble spesielt gjennomført befaringer før og etter et værskifte med endringer i temperatur og nedbør. I starten av februar ble utløpet til den ene slisserennen gravd fram for å observere om det var snø og is inne i selve rennen ved en stabil frostsituasjon med store snødybder.

I tillegg til de ukentlige befaringene ved Åsveien skole ble det gjennomført en befaring på Trandum, samt en befaring på Gardermoen. Begge befaringene ble gjennomført den 8. februar

2019, og det ble dokumentert med bilder hvordan tilstanden til systemene var midt i vintersesongen med stabilt kalde temperaturer. Som tidligere nevnt var det meningen å gjennomføre feltarbeid på Trandum, men problemer med sendingen av måleutstyret satte en stopper for dette. Det var også planlagt å gjennomføre flere befaringer på Trandum slik at observasjonene kunne knyttes tett opp mot målingene, men ettersom ingen målinger ble registrert ble det kun den ene befaringen. Manglete målinger gjorde at det ble supplert med et intervju av prosjektlederen fra Forsvarsbygg.

4.3 INTERVJU

Ettersom lite kunnskap om funksjonen til grunne overvannsystemer er beskrevet i litteraturen, var det nødvendig å gjennomføre intervju av personer som har erfaringer med opptreden til slike løsninger. Det ble utført intervju av driftspersonale/ansvarlige personer for overvann og avløpstransporten i ulike kommuner, et gruppeintervju med personale fra VA-avdelingen og plasttjenesten på Gardermoen, i tillegg til et intervju med prosjektlederen for anlegget på Trandum. Alle intervjuene er kvalitative, og var bygd opp på samme måte, med et fokus på å få intervjuobjektene til å snakke mest mulig (Jacobsen, 2015).

4.3.1 Individuelle intervju av driftspersonale/ansvarlige personer for overvann og avløp i kommuner

Det ble gjennomført flere kvalitative en-til-en intervju med personale fra ulike kommuner i landet, hvor formålet var å få mest mulig relevant informasjon om hvilke grunne overvannsystemer av rør/renne som benyttes i de ulike kommunene, og hvordan disse fungerer om vinteren. Det var også fokus på å få informasjon om eventuelle tiltak kommunene utfører for å holde sluk og rister fri for snø og is om vinteren. Det primære målet med intervjuene var å få kontakt med driftspersonale innad i kommunene, men dette viste seg å være krevende. Det ble likevel opprettet kontakt med sentrale personer innenfor overvannshåndteringen i de ulike kommunene, og noen av dem hadde i forkant av intervjuet vært i kontakt med driftspersonale for å høre om de hadde nyttige innspill.

Forespørselen om intervju ble sendt på mail til flere kommuner i landet. Ikke alle responderte, men totalt ble tre intervju gjennomført. Intervjuene var med Jan Stenersen (tidligere driftssjef for VA-avdelingen i Tromsø kommune), Stein Tore Asp (overingeniør vann og avløpstransport i Oslo kommune) og Marit Aase (fagansvarlig for avløpstransport i Bergen kommune). Selv med bare tre kommuner involvert ble det en gunstig geografisk spredning. Intervjuene ble gjennomført via telefon ettersom det var for omfattende å reise til alle byene.

Grunnet sannsynligheten for å få ut mer erfaringer og kunnskap er større om intervjuobjektet får muligheten til å snakke, ble derfor ikke intervjuene gjennomført skriftlig på mail (Jacobsen, 2015). Ved skriftlig besvarelse fryktes korte svar og mangelfull informasjon på grunn av at de har dårlig tid til å svare. Intervjuene varte fra 10–25 minutter, avhengig av hvilke grunne overvannsystemer og erfaringer de hadde i kommunen.

Spørsmålene var satt opp i en gjennomtenkt rekkefølge, med enkle spørsmål i starten om hvilke grunne overvannsystemer de har, oppfulgt av mer åpne spørsmål relatert til systemenes funksjon om vinteren. Totalt var det satt opp en liste med 13 spørsmål, men mange ble ikke stilt, ettersom de var irrelevante. Begrenset bruk av grunne løsninger var en sentral faktor til dette. Selve intervjuguiden med alle spørsmål som ble stilt er vedlagt i vedlegg 11. Det ble ikke gjennomført opptak av intervjuene, men svarene ble notert underveis. All informasjonen ble umiddelbart finskrevet etter intervjuene.

4.3.2 Gruppeintervju om slisserennene på Gardermoen

Den 08.02.2019 ble det gjennomført et kvalitativt gruppeintervju med tre representanter fra Avinor på Gardermoen, for å få mest mulig relevant informasjon om hvordan slisserennene på flyplassen fungerer om vinteren. Intervjuobjektene hadde ulike roller og innfallsvinkler mot emnet, fra seksjonsleder innenfor VA Per Espen Jahren som hadde god oversikt over VA-fagfeltet, driftsingeniør Harald Euflem hadde kontroll på det driftsmessige innenfor VA og til Terje fra plasstjenesten som fortalte generelt om vedlikehold av rennene, og hvordan vintervedlikeholdet påvirker rennene. Dette sørget for at det ble meddelt erfaringer og kunnskap fra ulike synsvinkler. Alle intervjuobjektene har arbeidet ved flyplassen siden 1998.

Intervjuet bestod av 18 spørsmål, både konkrete og åpne. I starten var det generelle spørsmål om slisserennene og overvannshåndteringen ved flyplassen, etterfulgt av mer åpne spørsmål rettet mot funksjonaliteten til slisserennene om vinteren. Etter deres ønske ble alle spørsmålene sendt inn på mail i forkant, slik at de kunne forberede seg og ta med relevante tegninger. Intervjuguiden med alle spørsmålene er gitt i vedlegg 7.

Intervjuet var lite formelt og mer en delt seksjon hvor de fortalte åpent om hvordan slisserennene fungerer om vinteren, og underveis besvarte de innsendte spørsmålene. Ved å gjøre det på denne måten kunne de formidle mer generell kunnskap om funksjonen til rennene. Basert på svarene ble det stilt oppfølgingsspørsmål. Intervjuet ble ikke tatt opp, men

de viktigste svarene ble notert ned underveis. Selve intervjuet ble gjennomført ansikt til ansikt ettersom det er enklere å få mer utfyllende svar og forklaringer. Underveis i seansen viste de tegninger av relevante overvannsystemer som benyttes på flyplassen. Intervjuet varte i ca. to timer, etterfulgt av befarings av slisserennene på flyplassen.

4.3.3 Intervju med prosjektlederen for Qmax Storm systemet på Trandum

Grunnet måleutstyret på Trandum ikke kom på plass denne vinteren, var det nødvendig å gjennomføre et kvalitativt intervju med prosjektlederen fra Forsvarsbygg, Jon Solberg. Han hadde regelmessig vært innom området for å observere tilstanden. Intervjuet bestod av ni enkle spørsmål om erfaringene hans fra systemets første vintersesong. Det ble fokusert på hvilke fordeler og ulemper de hadde opplevd med systemet denne vinteren, og hvordan vintersesongen hadde vært. Hele intervjuguiden kan sees i vedlegg 9.

Intervjuet ble gjennomført den 02.04.2019 via telefon, og varte i ca. ti minutter. Det ble ikke tatt opp, men de viktigste opplysningene ble notert ned underveis. Gjennomføringen skjedde på denne tiden av året fordi man innså at det ikke ville bli noen målinger fra anlegget. Det var derfor nyttig å få en oppsummering av opptreden til systemet like etter at vintersesongen var over, ettersom intervjuobjektet da hadde erfaringene friskt i minne.

4.3.4 Begrensinger med intervjuene

Det var kun intervjuet på Gardermoen som ble gjennomført ansikt til ansikt. Ideelt sett skulle flere intervju blitt gjennomført slik. Som lengdene på intervjuene illustrerer, ble det brukt betydelig lenger tid på intervjuet som ble gjennomført ansikt til ansikt. Dette kan ha en sammenheng med at deres lange erfaringer med bruk av slisserenner medførte at det var mange relevante spørsmål til intervjuet, i motsetning til i kommunene der det var få erfaringer med bruk av grunne systemer.

4.4 LABORATORIEFORSØK

I klimalaboratoriet til SINTEF på Gløshaugen ble det gjennomført forsøk med ulike typer rør for å dokumentere funksjonen ved kalde temperaturer. Ved å justere lufttemperaturen i rommet kunne rørene testes ved temperaturene man ønsket. Oppsummert gikk forsøkene ut på at et rør ble lagt i en kasse med finpukk over og under røret, og testet med ulike betingelser.

Det ble utført forsøk med to typer rør:

- sirkulært rør av plast, PVC 200 mm
- sirkulært rør av betong 200 mm

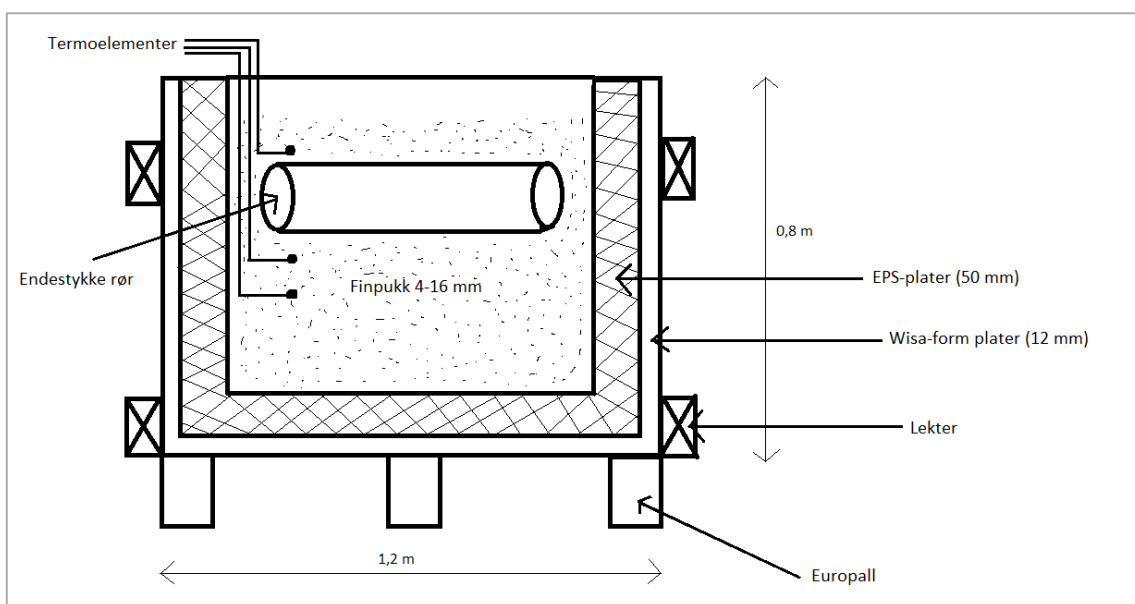
Temperaturutviklingen under nedfrysingen og opptiningen ble målt på forskjellige dybder ved hjelp av termoelementer. Opprinnelig var det planlagt åtte forsøk, men grunnet et begrenset tidsrom for gjennomføringen av forsøkene og overaskende lang tidsbruk før temperaturene stabiliserte seg i forsøkene, ble det bare utført tre forsøk, alle med tørre masser.

4.4.1 Formål

Hovedformålet med laboratorieforsøkene var å etablere et større datagrunnlag til å besvare forskningsspørsmålene i rapporten, ved å få en dokumentasjon på temperaturutviklingen i grunnen ved bruk av ulike variabler. Ettersom mange ulike variabler kan testes var det et stort fokus på å kontinuerlig videreutvikle metodikken slik at videre forskning kan bygge videre på denne modellen. Potensielt kan modellen benyttes til å utføre forsøk med kombinerings av ulike variabler, for eksempel ulike materialer, helninger, lufttemperaturer, overdekninger, diametere, bruk av vannmettede masser og kontinuerlig vannstrømning gjennom røret. Et ambisiøst mål med forsøkene var å få data som kan sammenlignes opp mot framtidige resultater fra Trandum for å undersøke om det finnes en korrelasjon. Da kan småskala laboratorieforsøk benyttes framfor store omfattende forsøk i feltet.

4.4.2 Oppbygningen av modellen

Kassen til forsøkene ble bygd opp av en europalle i bunn, 12 mm tykke Wisa-form plater på sidene og i bunnen, og 5 cm tykke EPS- isolasjonsplater innvendig på sidene og i bunnen. Alle sidene ble støttet opp med lekter for å gjøre kassen mer stabil. De utvendige målene til kassen var 1,2x0,8x0,8 (m). 2D-tegning og bilde av den ferdige kassen er illustrert i figur 12 og 13. I vedlegg 4 illustreres en skisse av modellen i 3D.



Figur 12. 2D-tegning av modellen.



Figur 13. Illustrasjon av den ferdige kassen.

Wisa-Form plater ble benyttet ettersom disse skal være vanntette. Isolasjonen innvendig i kassen ble lagt på grunn av at det var ønskelig med ensidig frostnedtrengning, systemet skulle kun påvirkes fra toppen av kassen og nedover.

I bunnen ble kassen fylt med et 25 cm tykt lag med finpukk 4–16 mm. I VA/Miljø-blad nr. 109 blir det anbefalt at man benytter ensgradert singel eller finpukk 8–12 mm som omfyllingsmasser (Cowi, 2013). Det er ikke betydelig forskjell mellom finpukk på 4–16 mm og 8–12 mm. Karakteristiske egenskaper til slike masser er at de er termisk og mekanisk stabile, har stor porøsitet, lav varmeledningsevne, gode lastfordelende egenskaper og liten evne til å holde på fuktighet (Gundersen, 1992b). Massene vil gi liten eller ingen frostheving grunnet god drenering, men frostpenetreringen kan gå ganske dypt (Reikvam, 2013).

Det ble lagt et rør over det 25 cm tykke laget med finpukk. Det første forsøket var med et PVC-rør med utvendig diameter på 200 mm. Røret var 0,95 meter langt, og ble lagt med et fall på 10 promille. Ved utløpet var røret dermed 24,05 cm over bunnen til kassen. For å slippe å måle høyden ved oppstarten av hvert forsøk ble det laget støttebukker med riktig høyde som endene på røret kunne legges på. På sidene og over røret ble det fylt mer finpukk, med en overdekning på 10 cm. Det var viktig at avstanden $H > h$ som illustrert i vedlegg 4, slik at systemet ble minst mulig påvirket av de ytre forholdene.

I tillegg til det generelle arbeidet var det litt mer detaljert arbeid som måtte utføres for å klargjøre modellen. Etter ulike innspill ble det antatt at de mest spennende forsøkene ville være med bruk av vannmettede masser og kontinuerlig vannstrømning gjennom røret. Dette skulles testes etter at de grunnleggende testene med tørre masser var ferdige, men beklageligvis strakk ikke tiden til for å teste dette. Modellen ble derfor bygd for å gjennomføre forsøk med vann. Nede i det ene hjørnet av kassen ble det boret et lite hull og installert en tappekran slik at kassen enkelt kunne tømmes for vann etter endt forsøk. Plasseringen av et lite lag med isolasjon foran innløpet til kranen bidrog til å redusere muligheten for at finpukken tettet kranen. Vannet ville klare å trenge gjennom denne isolasjonen og ut til kranen.

For å gjennomføre forsøk med konstant vannstrømning gjennom røret, var det tiltenkt å plassere en isolert plastbeholder med 25 liter vann på utsiden av kassen. Beholderen hadde en tappekran slik at det var mulig å justere vannmengden, og ha så liten vannstrømning som mulig. En isolert slange skulle kobles til tanken, og frakte vannet til røret. Endestykkene til røret ble tettet igjen av Wisa-form plater, men små hull ble laget slik at kun vann fra slangen kom inn og ut av røret. Ved utløpet ble det lagt opp til at vannet skulle renne ned i en trakt før det skulle fraktes ut av kassen via et lite kobberrør. Kobberrøret ble ført gjennom et hull i kassen ca. 10 cm over bunnen. På utsiden av kassen skulle vannet samles opp i en isolert beholder. Se vedlegg 4 for illustrasjon av det planlagte systemet.

Utstysrliste til de planlagte forsøkene:

- 200 mm plastrør av PVC
- 200 mm sirkulært betongrør

- europalle
- 12 mm tykke Wisa-form plater til bunnen og sidene av kassen
- 5 cm tykke EPS-isolasjonsplater til bunnen og sidene av kassen
- lekter for å støtte opp kassen
- endestykker til rørene
- 25 L plastdunk med tilhørende tappekran
- vannslange
- beholder til å samle opp vann
- propp i bunnen av kassen
- skruer til platene
- isolasjon til slange, beholdere, endestykkene til rørene og foran proppen i bunnen
- trakt
- finpukk 4–16 mm
- fryserom
- seks termoelementer
- logger
- meterstokk
- teip
- markør
- spade

4.4.3 Beskrivelse av gjennomføringen

Temperaturutviklingen i massene ble logget av fem termoelementer plassert på ulike dybder, i tillegg til et termoelement som logget lufttemperaturen i rommet. Totalt ble det gjennomført tre forsøk i klimalaboratoriet, med to forskjellige typer rør og ulik plassering av termoelementene. Før oppstarten var det satt opp en liste med åtte prioriterte forsøk som skulle gjennomføres, men den lange responstiden satte begrensninger for dette. I det følgende er alle forsøkene beskrevet, og de som ikke ble gjennomført er markert med rød skrift:

1. Testing av PVC 200 mm med tørre masser. Lufttemperaturen i rommet stilles inn på -5 °C. Termoelementene plasseres på 5 cm, 20 cm (sentrum innløp rør), 20 cm (sentrum utløp rør), 35 cm og 45 cm dybde. Røret har 10 cm overdekning.
2. Testing av PVC 200 mm med tørre masser. Lufttemperaturen stilles inn på -5 °C. Termoelementene plasseres annerledes enn i forsøk 1, grunnet fokuset er på

temperaturgradienten gjennom rørveggen. Termoelementene plasseres ved utvending bunn rør, innvendig bunn rør, innvendig topp rør, utvendig topp rør og med 5 cm dybde. Røret har 10 cm overdekning.

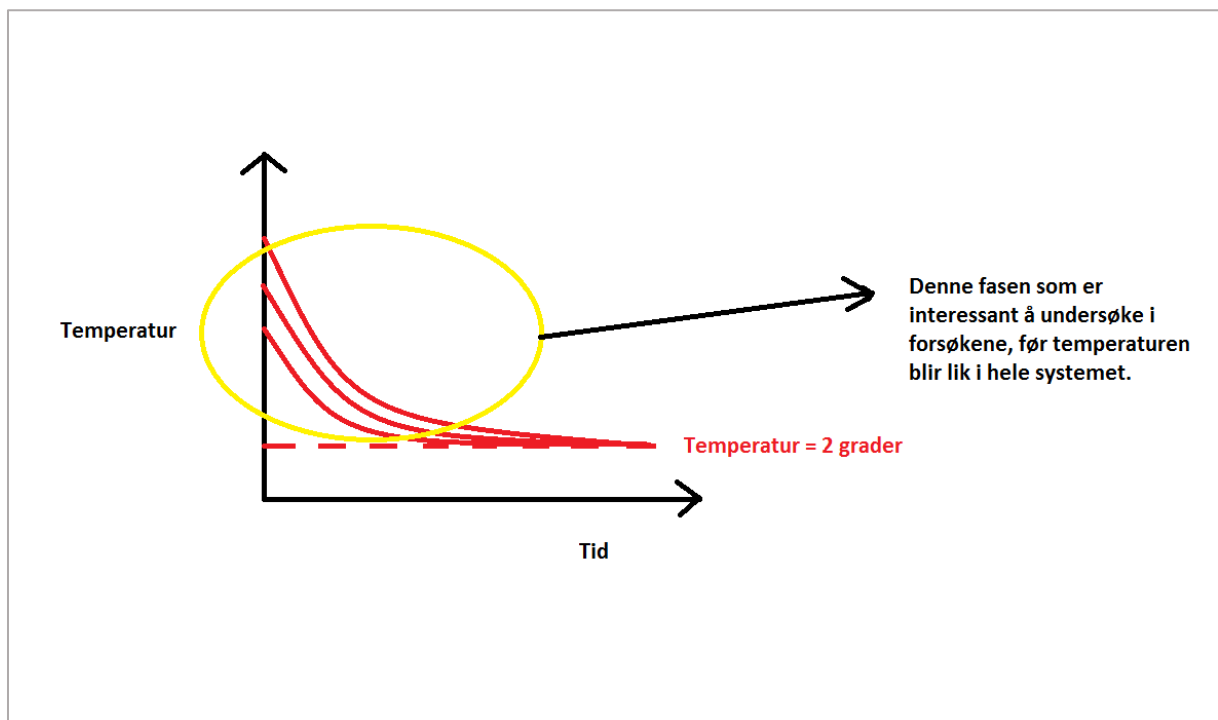
3. Testing av betongrør 200 mm med tørre masser. Lufttemperaturen i rommet stilles inn på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termoelementene og røret plasseres på de samme stedene som i forsøk 2.
4. Testing av betongrør 200 mm med tørre masser. Lufttemperaturen stilles inn på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termoelementene og røret plasseres på de samme stedene som i forsøk 2 og 3.
5. Testing av betongrør 200 mm med tørre masser. Røret legges helt på bunnen av kassen for å endre overdekningen. Lufttemperaturen stilles inn på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og termoelementene plasseres på de samme stedene som i forsøk 2–4.
6. Testing av betongrør 200 mm med tørre masser. Røret legges på samme sted som i forsøk 5, men lufttemperaturen stilles inn på $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Termoelementene plasseres på samme sted som i forsøk 2–5.
7. Testing av betongrør 200 mm med vannmettede masser. Røret legges 25 cm over bunnen til kassen, på samme sted som i forsøk 1–4. Temperaturen stilles inn på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, og termoelementene plasseres på de samme stedene som i forsøk 2–6.
8. Testing av betongrør 200 mm med kontinuerlig vannstrømning. Røret legges på samme sted som i forsøk 1–4 og 7. Temperaturen stilles inn på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, og termoelementene legges også her på de samme stedene som i forsøk 2–7.

Prosedyren for forsøkene som ble gjennomført:

1. Kontroller at massene har tint opp etter det forrige forsøket. Spa deretter deler av finpukken ut ifra kassen på et plastdekke eller lignende dersom røret eller termoelementene skal byttes ut eller plasseres annerledes i det kommende forsøket.
2. Plasser termoelementene på riktig dybde i modellen ut ifra forsøksoppsettet, og sørg for at alle elementene merkes med et gjenkjennelig navn.
3. Teip fast endestykkene til røret og isoler dem.
4. Plasser riktig rør på riktig dybde. Legg røret på støttebukkene som ble laget.
5. Fyll gradvis på med finpukken som ble fjernet over og ved siden av røret, og legg underveis termoelementene på riktig dybde. Fyll til røret har 10 cm overdekning.
6. Plasser modellen i fryserommet og sørg for at alle termoelementene blir koblet til loggeren. Start deretter forsøket med å stille rommet inn på ønsket konstant lufttemperatur. Sjekk at viftene starter før du lukker døren til fryserommet.

7. Kontroller måleresultatene underveis og avslutt forsøket når temperaturene begynner å stabilisere seg. Noter ned tidspunktet for avslutningen.
8. Skru av viftene i fryserommet og la kassen stå i normal romtemperatur noen dager.
Fortsett loggingen slik at opptiningsprosessen også kan dokumenteres.

Prosedyren ville hatt små justeringer i enkelte av de andre forsøkene som var tiltenkt, ettersom det var variasjoner i oppsettet. Spesielt gjelder det forsøkene hvor vann skulle inkluderes. Alle forsøkene fokuserer på fasen illustrert i figur 14, der systemet starter med høye temperaturer i massene, før temperaturene gradvis reduseres på grunn av endringene i lufttemperaturen. Forsøkene ble stanset når temperaturene flatet ut og stabiliserte seg. Alle målingene ble registrert i en database, og verdiene er benyttet til å lage grafer som illustrerer temperaturutviklingen.



Figur 14. Grafen illustrerer temperaturutviklingsfasen det var ønskelig å studere i forsøkene.

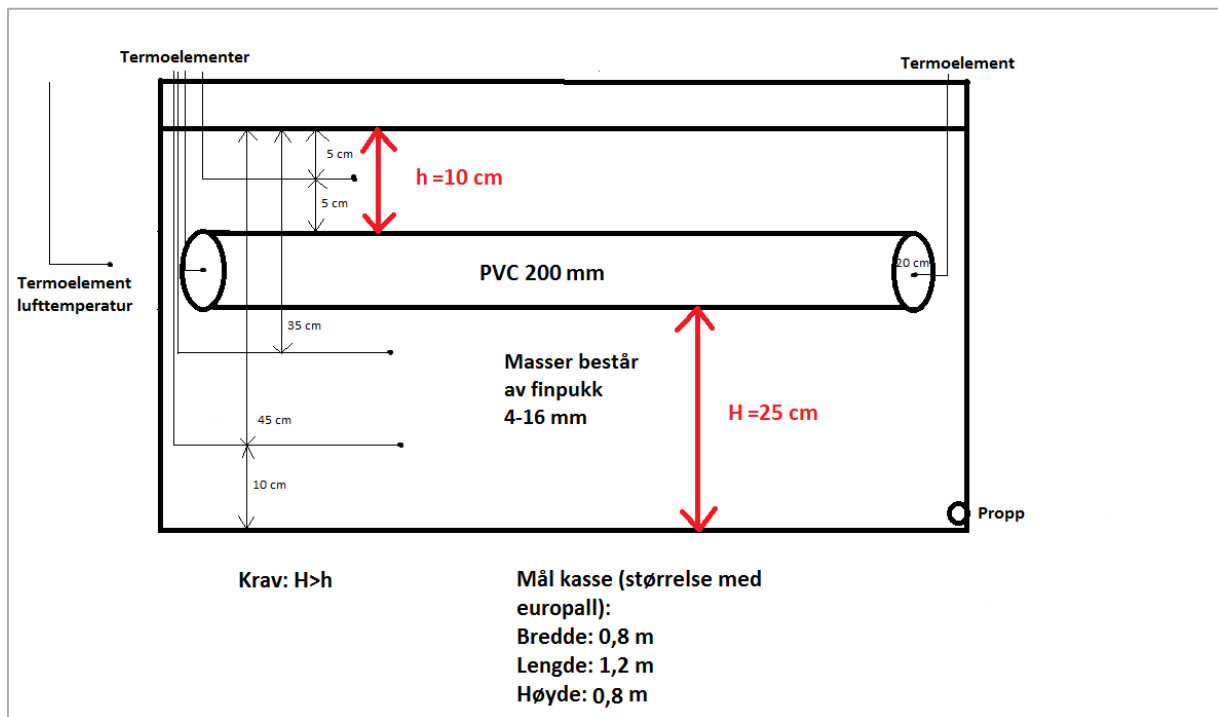
Det var satt av seks uker til gjennomføringen av forsøkene, fra starten av april til midten av mai. Hvert forsøk brukte til sammen ca. to uker på nedfrysingen og opptiningen, grunnet denne tidsbruken ble det bare tid til tre forsøk. De utførte forsøkene er beskrevet og skissert i det følgende. En fullstendig journal for alle endringene og tiltakene som er gjort i løpet av laboratoriearbeidet kan sees i vedlegg 5.

Forsøk 1:

I dette forsøket ble et sirkulært PVC-rør med en ytre diameter på 200 mm testet.

Forsøksoppsettet og bilder fra forsøket er vist i figur 15–17. Lengden på røret var 0,95 meter, og overdekningen på 10 cm. Massene var tørre og lufttemperaturen i fryserommet ble stilt inn på -5 °C. Endestykkene til røret ble ikke isolert. Til sammen ble det plassert ut seks termoelementer, på følgende steder:

- 5 cm dybde
- 20 cm dybde, utenfor sentrum av utløpsrøret
- 20 cm dybde, utenfor sentrum av innløpsrøret
- 35 cm dybde
- 45 cm dybde
- Vilkårlig i rommet for å måle lufttemperaturen



Figur 15. Illustrasjon av oppsettet i forsøk 1.



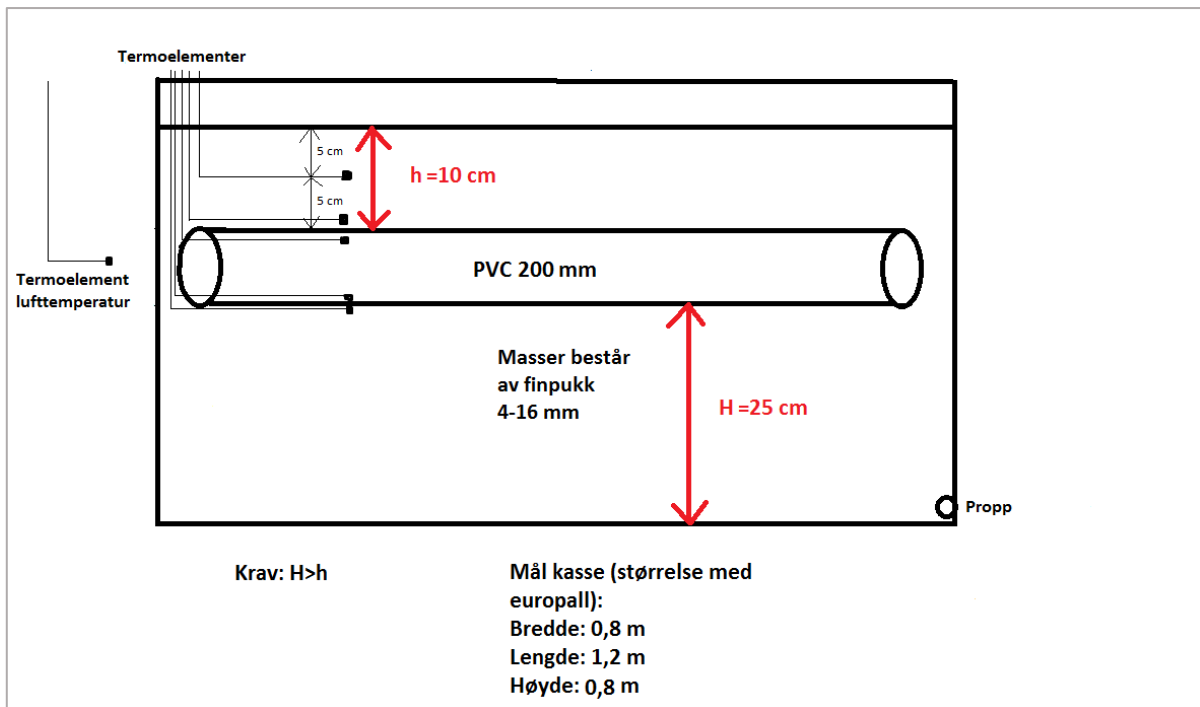
Figur 16. Klargjøring av modellen til forsøk 1. Røret er plassert på riktig dybde og noen termoelementer er allerede plassert og merket.



Figur 17. Modellen til forsøk 1 er klargjort og satt inn i fryserommet. Høyt oppe på bildet vises viftene som sørger for temperaturendringene i fryserommet.

Forsøk 2:

I dette forsøket ble PVC 200 mm røret testet med en annerledes plassering av termoelementene. Massene var fortsatt tørre, og lufttemperaturen i fryserrommet var innstilt på $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Overdekningen var 10 cm. Fokuset i dette forsøket var å få målinger for temperaturgradienten gjennom rørveggen. Termoelementene ble derfor plassert både innvendig og rett på utsiden av rørveggen, både i toppen og bunnen av røret, og på 5 cm dybde som illustrert i figur 18. Ved klargjøringen ble forsøksprosedyren fulgt, og deler av finpukken måtte bli spadd ut av modellen for å kunne endre plasseringen til termoelementene. Alle termoelementene ble som figur 18 viser plassert under hverandre, med en avstand på 30 cm fra veggen ved innløpet til røret.



Figur 18. Illustrasjon av oppsettet i forsøk 2.

Innvendig i røret var to termoelementer teipet fast til bunnen og toppen av røret. Som figur 19 illustrerer ble endestykkene til rørene godt isolert for å hindre sideveis påvirkning av røret. Da røret var lagt på plass ble massene spadd oppi kassen igjen, og de resterende termoelementene plassert på riktig dybde.



Figur 19. Isolasjon av endestykkene til røret.

Forsøk 3:

I dette forsøket ble PVC-røret erstattet med et betongrør med en innvendig diameter på 200 mm. For å få til dette måtte termoelementene tas ut av massene og finpukken over røret fjernes. Betongrøret ble plassert på samme dybde som plastrøret, 25 cm over bunnen til kassen. Ettersom betongrøret skulle testes for akkurat de samme betingelsene som PVC-røret i forsøk 2, ble termoelementene plassert på de samme dybdene. Alle termoelementene ble plassert under hverandre, med en avstand på 30 cm fra veggen ved innløpet til røret.

Mangel på isolasjonsmaterialet som var benyttet i forsøk 2 gjorde at endestykkene til røret ble isolert med 3 cm tykke EPS-plater, illustrert i figur 19. Massene var tørre og lufttemperaturen i fryserommet innstilt på -5 °C. Overdekningen var 10 cm. Illustrasjonen av forsøket kan sees i figur 18 ettersom oppsettet var identisk med forsøk 2, sett bort ifra at PVC-røret var byttet ut med betongrøret og at enkelte termoelementer lå litt dypere grunnet en større veggtykkelse.



Figur 20. Endestykkene til røret ble isolert med 3 cm tykke EPS-plater.

En større veggtykkelse på betongrøret førte til at mer finpukk måtte benyttes i dette forsøket. Finpukken var lagret ute og relativt kald. Små mengder finpukk ble dermed plassert på et varmt gulv dagen før forsøksoppstarten. Dette førte til jevnere temperaturer i massene og i større grad like forsøksbetingelser.

4.4.4 Begrensninger med metoden

Ideelt sett skulle det vært mulig å se inni røret under forsøkene. Dette hadde vært spesielt nyttig i forsøkene som var tiltenkt med vannmettede masser og kontinuerlig vannstrømning gjennom røret. Det var i utgangspunktet planlagt å etablere et pleksiglass ved utløpet til røret, men ettersom dette kompliserte byggingen av modellen ble ideen forkastet, for å få mer tid til å utføre forsøk. I en større og mer omfattende forsøksserie bør man få på plass en slik løsning. Et alternativ som også kan vurderes er å installere et kamera inne i røret.

Modellen er akkurat dyp nok til at den kan benyttes til å teste slisserenner, men dersom eggeformede rør skal testes må modellen bygges høyere. Ettersom det er tungvint å skifte ut røret i kassen, ville det vært hensiktsmessig å utføre lange forsøksserier med hvert enkelt rør

før man byttet. For å øke effektiviteten burde det blitt bygd en modell til, slik at to forsøk kunne blitt gjennomført i samme tidsrom. Tilføringen av den lille kontinuerlige vannstrømningen i røret som var tiltenkt i forsøk 7 løper over for kort tidsrom. Begrenset kapasitet på plastdunken gjør at røret kun vil ha vannstrømning i brøkdeler av forsøksperioden. Ideelt burde dunken vært mye større enn 25 liter.

Metodikken gir primært bare et bilde på hvordan temperaturutviklingen i massene er over en lang periode med minusgrader eller plussgrader, og relativt like temperaturer. I virkeligheten er det ofte større svingninger, og perioder med daglig frysing/tinging.

5. OBSERVASJONER OG INTERVJU

I dette kapittelet presenteres observasjonene som har blitt gjort denne vinteren ved Åsveien skole, Trandum og Gardermoen, kombinert med beskrivelse av relevant informasjon fra de aktuelle intervjuene. I tillegg presenteres de viktigste besvarelsene fra intervjuene med VA-personale fra Tromsø, Oslo og Bergen kommune.

5.1 OBSERVASJONER VED ÅSVEIEN SKOLE

Som tidligere nevnt er det kontinuerlig gjennomført befaringer av slisserennene ved Åsveien skole denne vinteren. I tabell 4 vises en oversikt over befaringsdagene, med informasjon om været i forkant og den aktuelle dagen.

Dato	Været dagen før befaring		Været på befaringsdagen	
	Temperatur	Nedbør	Temperatur	Nedbør
26.01.2019	-6,0 °C	0,0 mm	-4,5 °C	0,0 mm
02.02.2019	-2,5 °C	0,0 mm	-5,3 °C	0,0 mm
07.02.2019	-6,6 °C	0,0 mm	0,4 °C	0,6 mm
14.02.2019	4,3 °C	12,1 mm	6,9 °C	1,8 mm
16.02.2019	4,7 °C	1,8 mm	2,8 °C	0,6 mm
26.02.2019	6,0 °C	0,1 mm	5,9 °C	0,3 mm
07.03.2019	-7,7 °C	0,3 mm	-3,0 °C	0,0 mm
19.03.2019	0,7 °C	0,4 mm	3,1 °C	1,7 mm
26.03.2019	0,5 °C	22,6 mm	1,3 °C	3,8 mm
28.03.2019	5,0 °C	3,8 mm	9,0 °C	1,4 mm

Tabell 4. Meteorologiske data før og på befaringsdagene (yr.no).

De meteorologiske dataene er hentet fra den nærmeste målestasjonen, som er ved Voll. Denne ligger på ca. samme høyde som Åsveien skole, men avstanden i luftlinje er 4,1 km. Målingene skal være relativt representative. De viktigste observasjonsdagene er beskrevet og illustrert i dette delkapittelet, og en fullstendig befaringsrapport med flere bilder kan sees i vedlegg 6.

Befaring 02.02.2019:

Hensikten med befaringen var å få dokumentert tilstanden på overflaten ved stabilt kalde temperaturer. I forkant hadde det vært kalde temperaturer og snøfall i over tre uker.



Figur 21. Overflaten var helt dekket av snø og is. Mellom de to lyktestolpene ligger den ene slisserennen.

Det var et tettpakket lag med snø og is på overflaten, og dermed krevende å få øye på slisserennen som ligger mellom de to lyktestolpene i figur 21. Befaringen illustrerte at det var nødvendig å grave fram slisserennen for å få oversikt over tilstanden inni rennen.

Befaring 07.02.2019:

Utløpet til slisserennen som er tilknyttet det åpne vannspeilet ble gravd fram med spade for å dokumentere tilstanden inni slisserennen ved stabilt kalde temperaturer og snø på overflaten. Tilstanden både på utsiden og innsiden av slisserennen er illustrert i figur 22.



Figur 22. Illustrasjon av tilstanden på utsiden og innsiden av slisserennen.

Det var mye hardpakket snø som måtte fjernes rundt utløpet til slisserennen. På forhånd var det knyttet spenning til om det var snø eller is inne i selve rennen, men som bildet til høyre illustrerer ble det hverken observert snø eller is, bare noe snø rett under slukristen. Denne snøen falt etter all sannsynlighet ned gjennom slukristen da slisserennen ble gravd fram. Inne i rennen ble det observert store mengder sand og grus som burde vært fjernet.

Befaring 14.02.2019

Dette var den første befaringsen der slisserennene var synlige. Et værskifte slo til dagen før befaringsen, med høyere temperaturer og 12,1 mm regn. Dette dannet grunnlaget for befaringsen, og tilstanden til slisserennene er illustrert i figur 23.



Figur 23. Illustrasjon over tilstanden til slisserennene etter høye temperaturer og 12,1 mm regn.

Som figur 23 viser hadde tilstanden på overflaten endret seg raskt de siste dagene. Slisserennen som ikke var synlig for en uke siden var nå helt bar, men bildet til venstre illustrerer at utløpet fortsatt var dekket av snø. Bildet til høyre viser hvordan det så ut nede i den samme slisserennen. Det ble observert mye grus i og rundt slisserennen, og en liten vannstrømning gjennom rennen. Hverken snø eller is ble observert inne i rennen. Totalt var to av de tre slisserennene helt snø- og isfrie på overflaten, men alle innløp og utløp blokkert av snø. Kun små mengder overvann var synlig på overflaten.

Befaring 26.02.2019:

En lang periode med plussgrader og lite nedbør gjorde at det ble gjennomført en befaringsen for å dokumentere konsekvensene av snøsmelting. Det var nå mulig å se alle de tre slisserennene, men det hadde samlet seg overaskende mye vann ved den ene slisserennen, vist i figur 24.



Figur 24. Det hadde samlet seg mye vann ved slisserennen som er tilknyttet det åpne vannspeilet.

Som bildene illustrerer var det store mengder vann både i grøften som frakter vannet bort til innløpet til slisserennen, og ved slukristen. Vannet stod helt til toppen av slukristen.

Observasjoner ved utløpet til rennen viste dog at systemet fungerte bra, med jevn utstrømning av vann fra et snøfritt utløp. Ved de to andre slisserennene ble det ikke observert problemer, selv om innløpene og utløpene delvis var dekket av snø.

Befaring 07.03.2019:

Et større snøfall i månedsskiftet februar/mars, og stabile kalde temperaturer i etterkant gjorde denne befaringsen interessant. Man fikk et overblikk over hvordan systemet opptrådte ved store snømengder etter enn lang periode med mildvær. Som figur 25 illustrerer var rennene helt dekket av snø og is på overflaten igjen, men de fleste utløpene var åpne. Litt løssnø og is ble observert ved utkanten til rennene, men det var ingen tegn til snø eller is inne i rennene.



Figur 25. Selve slisserennene var helt dekket av snø og is, men utløpene var i stor grad snø- og isfrie.

Ettersom det hadde vært store snømengder i forkant var det overaskende at utløpene var fri for snø. Systemet var derfor i mye bedre stand til å håndtere store vannmengder på denne tiden av året enn i starten av februar, selv med relativt lik tilstand på overflaten.

Befaring 19.03.2019:

På denne befarings ble det dokumentert hvordan slisserennene fungerte ved daglig frysing/tining. I forkant var det lite nedbør, plussgrader om dagen og minusgrader om natten. Tilstanden til slisserennene er dokumentert i figur 26.



Figur 26. Det ble for første gang observert stillestående vann i den ene slisserennen. Bildet til høyre viser at en av slisserennene delvis var dekket av snø/slaps på overflaten.

Det var overraskende store variasjoner ved de ulike slisserennene. Den ene rennen var nesten helt tildekket av snø/slaps/is som illustrert i bildet til høyre i figur 26, i motsetning til de to andre rennene som var snø- og isfrie på overflaten. For første gang ble det observert stillestående vann i en av slisserennene. Det var fortsatt ingen tegn til isdannelse inne i rennene, men noe slaps hadde samlet seg ved utløpet. På overflaten ble det observert mye vann på akkurat de samme stedene som ved befaringsen den 26.02.2019. Dette kan ha en sammenheng med at innløpet til slisserennen var dekket av snø og is, og at det derfor samlet seg vann i grøften.

Befaring 28.03.2019:

Dette var den siste befaringsen som ble gjennomført ved Åsveien skole. Høye temperaturer

dagen i forveien, og spesielt på befaringsdagen med hele 9,0 °C, bidrog til at det meste av snøen hadde smeltet som illustrert i figur 27. Stabilt høye temperaturer i etterkant av befaringen gjorde det lite relevant å gjennomføre ytterligere befaringer. Ettersom det kom relativt store snømengder den 25.03.2019 og 26.03.2019 var det overaskende at både slisserennene, slukrister, innløp og utløp var snø- og isfrie. Årsaken til at nysnøen smeltet så raskt har nok en sammenheng med at den var relativt fuktig.



Figur 27. Illustrasjon over tilstanden til slisserennene da all snø og is hadde smeltet.

Som bildet til høyre i figur 27 viser hadde det samlet seg mye vann på overflaten ved slisserennen som er tilknyttet det åpne vannspeilet, akkurat som observert på befaringene den 26.02.2019 og 19.03.2019. Det så likevel ut til at alt fungerte, og det var god plass til større vannmengder i det åpne vannspeilet.

Oppsummering av observasjonene:

Observasjonene av slisserennene ved Åsveien skole har ikke avdekket noen nevneverdige problemer. Selv om slisserennene med tilhørende slukrister og utløp i perioder var helt dekket av snø og is, har de klart å håndtere den nedbøren og snøsmeltingen som har oppstått i løpet av vinteren. Ved å grave fram det ene utløpet ble hypotesen om at det er snø- og isfritt inne i slisserennene midt på vinteren med stabile kalde temperaturer bekreftet.

Selv om få problemer ble observert er det ikke gitt at slisserennene fungerer til enhver tid. Vinteren har ikke vært utfordrende, som figur 28 viser har få intense nedbørshendelser oppstått da slisserennene var tildekket av snø og is.

Måneder	Temperatur				Nedbør			Vind	
	Gjennomsnitt	Normal	Varmest	Kaldest	Totalt	Normal	Mest på ett døgn	Gjennomsnitt	Sterkest vind
mar 2019	0,0°	0,0°	13,5° 28. mar	-13,4° 6. mar	129,8 mm	50,0 mm	22,6 mm 25. mar	3,2 m/s	13,5 m/s 24. mar
feb 2019	0,8°	-2,5°	10,3° 14. feb	-12,7° 5. feb	53,5 mm	50,0 mm	12,1 mm 13. feb	2,8 m/s	14,0 m/s 14. feb
jan 2019	-2,1°	-3,0°	7,8° 4. jan	-11,7° 23. jan	139,2 mm	60,0 mm	18,9 mm 4. jan	2,9 m/s	12,5 m/s 11. jan
des 2018	-0,2°	-2,0°	9,1° 1. des	-13,7° 15. des	102,0 mm	80,0 mm	20,0 mm 25. des	2,7 m/s	10,2 m/s 25. des
nov 2018	3,5°	0,5°	12,6° 16. nov	-7,8° 28. nov	32,0 mm	70,0 mm	7,8 mm 17. nov	2,2 m/s	12,1 m/s 29. nov
okt 2018	5,8°	5,5°	21,8° 14. okt	-6,8° 29. okt	140,1 mm	100,0 mm	18,3 mm 15. okt	2,6 m/s	10,9 m/s 13. okt
sep 2018	10,8°	9,0°	21,8° 6. sep	2,2° 28. sep	127,7 mm	110,0 mm	18,4 mm 23. sep	2,8 m/s	10,8 m/s 26. sep

Figur 28. Meteorologisk statistikk fra Voll denne vintersesongen (yr.no).

Denne vinteren var noe varmere enn normalt, spesielt i februar. Snøen begynte derfor å smelte tidlig på året, noe som bedret tilstanden rundt rennene. Det var mer nedbør enn normalt, men mye av dette var snø. Det største regnfallet denne vinteren var 12,1 mm den 13.02.2019. I forkant av denne hendelsen hadde det smeltet litt, og vannmengdene var derfor såpass små at de ikke skapte problemer. Dersom det hadde oppstått et intenst regnfall helt i starten av februar, ville slisserennene sannsynligvis fått problemer med å håndtere vannmengdene. Selv med relativt små nedbørsmengder har det samlet seg vann i grøfter oppstrøms slisserennen som er tilknyttet det åpnet vannspeilet, i tillegg til at slukristen ved innløpet var fylt av vann på tre av befaringene.

Det ble ikke observert snø eller is inne i slisserennene på noen av befaringene, og kun ved et tilfelle ble det oppdaget små mengder stillestående vann i den ene rennen. Basert på observasjonene denne vinteren er erfaringene med slisserennene svært gode.

5.2 OBSERVASJONER OG INTERVJU PÅ TRANDUM

I denne delen beskrives observasjonene fra befaringen av Qmax Storm systemet på Trandum som ble gjennomført sammen med prosjektlederen fra Forsvarsbygg, supplert med den viktigste informasjonen fra intervjuet av prosjektlederen i etterkant av vintersesongen.

Befaringen ble gjennomført den 08.02.2019, og i forkant hadde det vært en lang periode med stabilt kalde temperaturer og snø. Førsteintrykket på befaringen var overaskende, da et 7–8 cm tykt snø- og islag over systemet gjorde det krevende å lokalisere slukristene. Som figur 29 viser ble snø og is fjernet fra slukristene for å dokumentere tilstanden nedi røret.



Figur 29. Slukristene ble gravd fram og istykkelsen målt til 7–8 cm.

På befaringen ble det ikke observert is inne i røret under noen av slukristene, kun små snømengder som hadde falt ned da ristene ble gravd fram, illustrert i figur 30. I rørstrekingen mellom slukristene var det heller ikke observasjoner av snø eller is, men dette lot seg ikke dokumentere med bilder grunnet problemer med å åpne slukristene.



Figur 30. Dokumentasjon på at det kun ble observert litt snø nedi røret.

Hovedpoenget med befaringen var å dokumentere hvordan systemet så ut ved en stabil frostsituasjon med kalde temperaturer og snø. Prosjektlederen ble også overasket over det tykke snø- og islaget over systemet. Ladestolper til elbiler like ved siden av systemet medfører at biler parkerer over eller rett ved siden, og gjør dermed brøytingen rundt Qmax Storm systemet mer krevende. På befaringen hadde for eksempel en bil parkert rett over sandfangskummen, og hindret mulighetene for å se ned i kummen.

Basert på intervjuet av Jon Solberg 02.04.2019, har de ikke opplevd noen nevneverdige problemer med Qmax Storm systemet på Trandum. Erfaringene fra vintersesongen er at systemet har fungert utmerket. Han fortalte at asfalten nå var helt bar, og at det meste av telen i jorden hadde forsvunnet. Dagen før intervjuet hadde han vært i kontakt med flere ansatte som daglig parkerer og arbeider der systemet er etablert, også de hadde utelukkende positivt å si om systemets funksjon denne vinteren. Svarene deres bekreftet det Jon Solberg hadde observert på sine befaringer. Han forklarte videre at han generelt har større tro på funksjonaliteten til Qmax Storm systemet enn slisserennene om vinteren, grunnet den lille overdekningen bidrar til at systemet får tilført jordvarme.

Han har ikke mottatt noen klager om at systemet ikke fungerer som det skal, eller at det har blitt etablert dammer på overflaten. Det kan ofte oppstå problemer med at rørene tettes ettersom det pakkes snø og is inne i rørene, men slike problemer er ikke erfart. Som figur 31 illustrerer var alle slukristene dekket av snø og is ved befaringen. Jon fortalte at slukristene ikke hadde vært dekket av snø og is etter at de ble frigjort på befaringen. Vannet har derfor hatt fri tilgang til å renne ned i røret, framfor å renne videre på overflaten eller etablere dammer rundt omkring på parkeringsplassen.

Da Qmax Storm systemet ble etablert syntes Jon at slukristene på overflaten lå litt for dypt. Han fryktet at dette ville skape problemer for brøytingen, og det kan delvis forklare det 7–8 cm tykke snø- og islaget som ble observert. For oppsamlingen av overvannet mente han derimot at det var bra at slukristene lå såpass lavt i terrenget. Det viktigste er tross alt å samle opp vannet. Kommende vinter vil det gjennomføres tiltak i forbindelse med brøytingen slik at tykkelsen på snø- og islaget reduseres. Enkle tiltak som vurderes er å bedre framkommeligheten til brøytemannskapet ved å hindre at EL-bilene parkerer over røret, eller å brøyte ved andre tidspunkter.



Figur 31. Slukristene til Qmax Storm systemet ble gravd fram.

Jon hadde den samme oppfatningen som meg fra befaringen vi gjennomførte, nemlig at det ville oppstått problemer de kommende dagene om ikke snø- og islaget hadde blitt fjernet fra slukristene. Grunnen til dette er at den største nedbørshendelsen av regn på frossen grunn denne vinteren var dagen etter befaringen. Meteorologiske data fra målestasjonen på Gardermoen, som i luftlinje ligger 3 kilometer unna Trandum, viste at den 09.02.2019 var gjennomsnittstemperaturen $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ og nedbørsmengden 11 mm. Mesteparten av nedbøren kom derfor som regn, og det tykke snø- og islaget ville sannsynligvis ført til at det hadde blitt etablert store dammer på overflaten, som potensielt kunne ha fryst til is. Selve nedbørsmengdene var ikke så store, men det faktum at regnet kom tidlig i sesongen på et totalt frossent underlag, ville ført til problemer om ikke slukristene hadde blitt frigjort.

Den eneste negative erfaringen med systemet han kunne oppgi var problemene med brøytingen. De håper at bedre brøyting neste år bidrar til at det ikke er nødvendig å fjerne snø og is manuelt fra slukristene. Han har ikke åpnet sandfangskummen, men kontinuerlig sett ned i slukristene. All dokumentasjon tyder på at systemet fungerer bra i kaldere klima, men

det er viktig å nevne at det ikke har vært den tøffeste vinteren. De meteorologiske dataene i figur 32 illustrerer at det ikke har oppstått intenst regn på frossen grunn denne vinteren.

Tabellvisning for temperatur og nedbør per måned									
Måneder	Temperatur				Nedbør			Vind	
	Gjennomsnitt	Normal	Varmest	Kaldest	Totalt	Normal	Mest på ett døgn	Gjennomsnitt	Sterkest vind
apr 2019	6,2°	2,8°			8,9 mm	48,0 mm	4,6 mm 27. apr	3,3 m/s	
mar 2019	0,4°	-2,3°			62,6 mm	53,0 mm	13,7 mm 8. mar	3,5 m/s	
feb 2019	-1,0°	-7,1°			56,5 mm	49,0 mm	11,3 mm 10. feb	2,9 m/s	
jan 2019	-5,1°	-7,2°			17,4 mm	59,0 mm	7,8 mm 8. jan	2,5 m/s	
des 2018	-3,8°	-5,7°			71,8 mm	65,0 mm	15,5 mm 1. des	1,2 m/s	
nov 2018	2,2°	-1,5°			52,9 mm	89,0 mm	21,7 mm 11. nov	2,2 m/s	
okt 2018	6,1°	4,7°			42,4 mm	100,0 mm	19,2 mm 31. okt	3,2 m/s	

Figur 32. Meteorologiske data for gjennomsnittstemperatur og nedbør per måned på Gardermoen denne vinteren (yr.no).

Generelt har temperaturene vært høyere enn normalt denne vinteren, spesielt i februar, mars og april. Dette bidrog til at snøen og isen smeltet tidlig på våren. Nedbørsmengdene var rundt gjennomsnittet, men med lav intensitet.

5.3 OBSERVASJONER OG INTERVJU PÅ GARDERMOEN

I denne delen presenteres den viktigste informasjonen fra gruppeintervjuet på Gardermoen, i tillegg til noen observasjoner fra befaringen på anlegget. Etersom de tok i bruk slisserenner på Gardermoen i 1998 var det interessant å høre hvilke erfaringer de hadde med disse på vinterstid.

Den generelle oppfatningen fra intervjuet er at de opplever få frostproblemer med slisserennene. De var heller ikke nevneverdig bekymret for frostproblematikken da de tok i bruk rennene, men noen enkle sikkerhetstiltak ble utført for å redusere sannsynligheten for at rennene tettes om vinteren. I enkelte renner er det derfor tilførsel av vannbåren varme eller installert varmekabler. Dette gjelder spesielt slisserennene ved oppstillingsplassene til flyene. Som figur 33 illustrerer ble dette tydelig observert under befaringen, ved at slissene var fri for is ved alle oppstillingsplassene og tettet igjen av snø og is mellom oppstillingsplassene.



Figur 33. Bildet til venstre illustrerer tilstanden til slisserennene mellom oppstillingsplassene. Bildet til høyre viser tilstanden ved oppstillingsplassene.

Intervjuobjektene uttrykte at slisserennene fungerer like bra om vinteren som om sommeren. De forklarte at de mest krevende værforholdene for overvannshåndteringen på flyplassen var når det regnet på frossen grunn. Værmeldingen overvåkes derfor kontinuerlig for å se om det plutselig oppstår et værskifte med høyere temperaturer og regn. Per Espen nevnte spesielt at det kan oppstå problemer om regnet kommer tidlig på vinteren, før solen får tint noe av snøen og isen som dekker rennene. Ved slike spesielle tilfeller settes varmekablene på, noe de i størst mulig grad ønsker å unngå på grunn av høye driftskostnader. De synes varmekablene har begrenset effekt med tanke på prisen, og uttrykte bekymringer ved mangelen av et system som viser om varmen fra de aktuelle kablene faktisk fungerer. I tillegg instrueres plasstjenesten til å fjerne så mye snø og is fra rennene som mulig ved slike hendelser. Dersom dette arbeidet delegeres og utføres ordentlig, oppstår få problemer selv om det regner på frossen grunn. Slisserennene er dimensjonert med en liten sikkerhetsmargin, og det blir sjelden store dammer på overflaten. Ifølge Terje fra plasstjenesten, spyles og tømmes slisserennene og sandfangene for sand og grus hver eneste sommer. Han anslo at det ville oppstått større frostproblemer med rennene dersom dette arbeidet ikke hadde blitt utført.

Hovedutfordringen de erfarer med slisserennene om vinteren er at forurenset vann, som blant annet består av glykol, renner ned i grunnen ved avisningsplattformene. Problemet er at vann

renner ned mellom skjøtene på slisserennene, eller ned mellom slisserennene og asfalten. Det benyttes normalt en 20 mm tykk fuge mellom asfalten og slisserennen for å unngå dette, men fugen blir ofte raskt dårlig. Problemene førte til at de tok i bruk en membranløsning under slisserennene ved avisningsplattformene, for å hindre det forurensede vannet i å trenge ned i grunnen, illustrert i vedlegg 8. De fortalte videre at denne løsningen ikke fungerte helt som forventet, og at slisserennene på den ene avisningsplattformen derfor ble erstattet med en slukløsning, illustrert i figur 34 og i vedlegg 8.

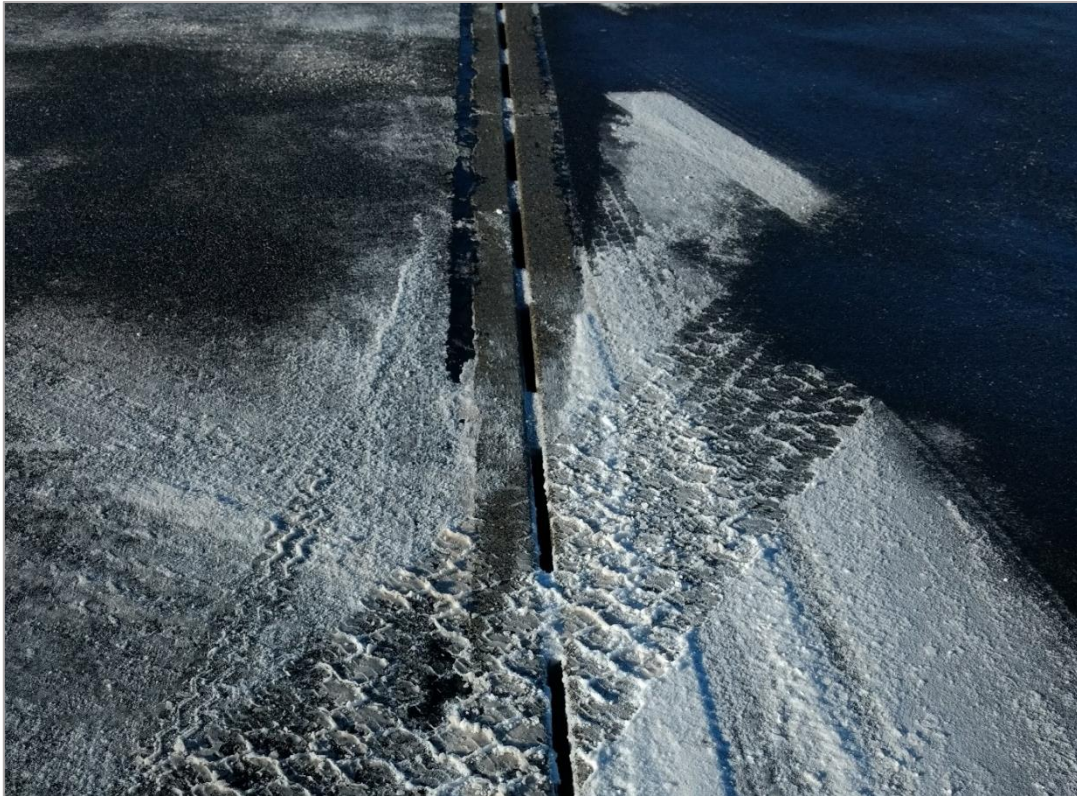


Figur 34. Illustrasjon over slukløsningen ved den ene avisningsplattformen.

På befaringen ble det observert løssnø i sluket, men dette ble nok raskt fjernet da varmt vann fra flyavisingen ankom sluket. Slukene ble etablert ved bruk av kjerneboring, og er en mye tettere løsning enn slisserennene. Forurensingen ned i grunnen blir dermed betydelig redusert, og de forklarte at ettersom denne løsningen har vist seg å fungere utmerket vil den sannsynligvis benyttes på alle avisningsplattformene på sikt. Kjerneboringen gjør det derimot mer krevende å reparere systemet.

De forklarte at slisserennene sjelden tettes om vinteren, men at det tidvis kan bli problemer med at kantrennene på avisningsplattformen tettes. Dette kan oppstå på grunn av glykolen fra avisningsvæsken fører til en rar sammensetning på snøen ved siden av kantrennene. Terje

forklarte at de derfor har et ekstra fokus på å brøyte ordentlig ved kantrennene. Det varme vannet fra avisningen gjør at slisserennene i midten av avisningsplattformene bestandig er fri for snø og is, illustrert i figur 35.



Figur 35. Slisserennene midt på den ene avisningsplattformen var tilnærmet fri for snø og is den 08.02.2019.

Vått vær over en lang periode ble nevnt som et tilfelle som potensielt kunne skape problemer for kantrennene på avisningsplattformene. Det våte været fører til at det er lite glykol der, og mye vanlig vann som fryser til ved kuldegrader om natten.

Et av de mest spennende aspektene ved intervjuet, var å finne ut hvor ofte de måtte erstatte eller vedlikeholde slisserennene etter vintersesonger. Svarene var svært overaskende, siden 1998 har de kun opplevd et tilfelle av frostsprengning. Da sprakk rennen både i toppen og bunnen. Rennene ble rehabilitert ved hjelp av strøpemetoden. Ingen andre slisserenner har blitt skiftet ut på grunn av skader eller dårlig tilstand. De presiserte også at det er utført veldig lite vedlikehold av rennene. Normalt er det fugingen mellom rennene og asfalten som har krevd vedlikehold.

På spørsmålet om det tidvis er stillestående vann i rennene, var de bestemte på at dette ikke oppstår. Selv om slisserennene er lagt uten fall, klarer vannet å finne veien til nærmeste sluk.

Slukene er plassert med 40 meters avstand. De forklarte at dersom det oppstår is nedi rennen er det på grunn av at snø har blitt kostet nedi, ikke på grunn av stillestående vann.

Det var også interessant å få informasjon om vintervedlikeholdet fører til skader på rennene. De opplever noen mekaniske skader på grunn av utstyret som benyttes, ofte at små deler gjerne faller av på toppen av slisserennen. Det utstyret som skader mest er veghøvel og tungt brøyteutstyr med stålskjær. Stålskjæret benyttes sjeldent, men i enkelte tilfeller er det nødvendig. Normalt benyttes plastskjær. De poengterte at det tunge brøyteutstyret kan ødelegge rammen til ristene som består av epoxy, og selve ristene. Dette er krevende å reparere. Totalt sett gav intervjuet en god indikasjon på at slisserennene er i stand til å takle mange ulike og tøffe vintersesonger. De få erfarte problemene er ikke spesielt avgjørende.

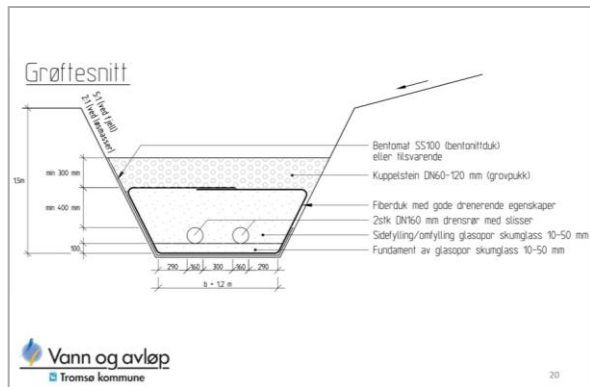
5.4 INTERVJU MED VA-PERSONALE FRA ULIKE KOMMUNER

I de påfølgende delkapitlene utdypes den viktigste informasjon fra intervjuene med VA-personale fra Tromsø, Oslo og Bergen kommune.

5.4.1 Tromsø kommune

Jan Stenersen, tidligere VA driftssjef i Tromsø kommune, beskrev at de benytter få eller ingen grunne overvannsløsninger av rør/renner i Tromsø kommune. Det gjorde at fokuset i intervjuet ble dreid over mot andre grunne løsninger som benyttes, og vedlikeholdet rundt rister og sluk om vinteren. Han forklarte at det generelt har vært stor skepsis fra veiavdelingen i kommunen til å benytte grunne overvannsystemer, fordi de mener at det fryser til og dannes is i veibanen. VA-avdelingen har derimot stilt seg uforstående til denne problemstillingen, ettersom overvannsystemer som renner tørt, uten noe tilførsel av grunnvann, normalt ikke fører til nevneverdige problemer med isdannelse.

Mesteparten av overvannet i Tromsø fraktes i ledninger på frostfri dybde. Jan har primært god tro på de grunne løsningene, og regner med at bruken av disse vil øke i framtiden. Istedenfor grunne systemer av rør, testet de ut en åpen grøfteløsning i 2013. De etablerte avskjærende åpne grøfter i dalsidene for å fange opp vannet oppstrøms, slik at belastningen nedstrøms i byområdene i Tromsø ble begrenset. Grøftene var helt åpne, men isolerte i bunnen. Vannet rant gjennom permeable materiale og glasopor, før det kom til en eller to drensledninger i bunnen av grøften (Stenersen, 2013). Drensledningene som ble benyttet var normalt PVC 160 mm, med en slisseåpning slik at vannet trengte inn i røret. Oppbygningen til grøften er skissert i figur 36.



Figur 36. Oppbyggingen til de åpne grøftene som ble testet ut i Tromsø (Stenersen, 2013).

De var ikke særlig bekymret for frostproblematikken, ettersom de isolerte grøftene i bunnen. Jan fortalte at det kom en 50-års nedbørshendelse på frossen grunn like etter at grøftene ble etablert. Likevel hadde de ikke noen problemer med å håndtere vannmengdene, og grøftene har vist seg å fungere bra.

Han informerte om at det veldig ofte er tette rister og sluk på overflaten i Tromsø om vinteren, opptil $\frac{3}{4}$ av dem kan gjerne være tette samtidig. Dette avhenger av hvilke tiltak driftsavdelingen gjør underveis knyttet til brøyting og salting. De har en samhandling mellom vei og VA-etaten relatert til dette, problemet er at det ikke er digitalisert. Den normale prosedyren er at personale fra veietaten kontinuerlig sjekker værmeldingen om det vil oppstå store regnfall de kommende dagene. Dersom det er forventet, går de ut med mannskap for å påse at sluk, rister og bekkeinntak er åpne før nedbøren kommer. De har et ekstra fokus på områder hvor de tidligere har erfart at det oppstår problemer med regn på frossen grunn. Jan skisserte at det ideelt sett skulle vært installert et alarmsystem som var koblet direkte opp mot en værsentral, slik at de fikk alarmer om at sluk, rister og bekkeinntak måtte åpnes opp.

Ettersom de får problemer med avrenningen når sluk og rister tettes, har de hatt fokus på å etablere kjeftsluk i kommunen. Denne løsningen er illustrert i figur 37. Fordelen med den, er at deler av åpningen til sluket ligger over brøytearealet, og dermed normalt over toppen av islaget. Vannet kommer derfor inn gjennom sluket, selv ved et tykt islag på veien og fortauet. Andre typer sluk tettes oftere av snø og is.



Figur 37. Illustrasjon av kjeftsluk langs vegkanten. I bakkant vises en kuppelrist (Olsen, 2018).

De har opplevd få tilfeller av frostsprengning i overvannsrørene i Tromsø. Jan mente at dette kunne ses i sammenheng med at overvannet transporterer energi, ettersom de har erfart langt flere frostproblemer i vannledningene. Han beskrev at ledninger med dårlig fall og svanker oftere får isdannelse innvendig, men at dette ikke hadde vært et stort problem i Tromsø. Han tror de grunne systemene vil fungere bra om det renner rikelig med vann, ettersom mye energi transporteres. Mer skepsis var knyttet til opptreden ved liten og ujevn vannstrømning.

5.4.2 Oslo kommune

I Oslo kommune anvendes også få grunne løsninger av rør/renner. De benytter stort sett den tradisjonelle metoden med rør og kulverter på frostfri dybde. Stein Tore Asp gav to forklaringer på hvorfor grunne overvannsystemer ikke benyttes, nemlig at det er for små dimensjoner på systemer som Qmax Storm og slisserenne, samt at det er lite separatsystemer i Oslo. De grunne systemene egner seg ikke til å transportere avløpsvann. Det er sjelden de opplever frostproblemer på ledningsnett, kun ved spesielt kalde vintre. Generelt sett mente han at frostproblematikken var litt oppskrytt.

Rister og sluk på overflaten går sjelden tett i Oslo. Ifølge Stein Tore skjer dette kun ved langvarige frostperioder, og i motsetning til Tromsø og Bergen kommune gjennomfører de veldig få tiltak for å holde rister og sluk åpne. Det eneste tiltaket de pleier å utføre, er å

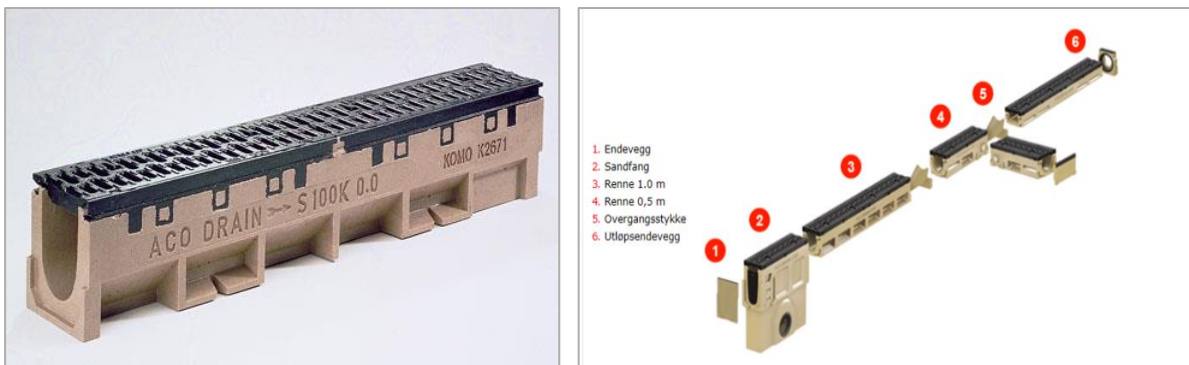
ukentlig hugge is ved bekkeinntak dersom temperaturene er lave. Det skal spesielle omstendigheter til for at tiltak blir utført for å holde rister og sluk åpne. Inntrykket var at de heller ikke gjorde handlinger ut ifra værmeldingene.

Han fortalte at frostsprengning av overvannsrørene i Oslo kommune er et fenomen som ikke oppstår. Dette unngås på grunn av energien fra overvannet, og er et mye større problem for vannledningene.

5.4.3 Bergen kommune

Bergen kommune benytter flere grunne løsninger enn de andre kommunene som ble intervjuet. Det er derimot lite frost i Bergen om vinteren, så betraktningene derfra gir ikke et nøyaktig nok bilde av hvordan de grunne løsningene fungerer i områder med mye frost. Den normale prosedyren for overvannshåndteringen i Bergen er at vannet føres fra takrennene til fortauet og veien, der det renner ned i sluk eller rister som frakter vannet til lukkede systemer, eller at vannet renner i åpne løsninger helt til resipient. Kombinasjonen av lite frost og det bratte terrenget rundt Bergen gjør at det ifølge Marit Aase er gunstig å benytte grunne løsninger.

Kravet til overdekning i Bergen kommune er 1,5 meter, men det benyttes mange løsninger som ligger over denne dybden. Et grunt overvannssystem som anvendes mye i Bergen er AcoDrain, skissert i figur 38.



Figur 38. Illustrasjon av AcoDrain (Aco Nordic, u.å).

AcoDrain er et system som på undersiden ligner på slisserenner, men slissene øverst er erstattet med langsgående rister som frakter vannet direkte ned i rennen. Rennen består av polymerbetong, og både rist og ramme er korrosjonsbeskyttet (Aco Nordic, u.å).

Konstruksjonen tåler belastningsklasse F (Aco Nordic, u.å). Det er enkelt å åpne opp ristene

dersom man ønsker å se ned i rennen, eller skal fjerne noe derfra. Ettersom AcoDrain har et større areal med åpninger på toppen enn slisserennene, bør sannsynligheten være mindre for at snø og is tetter igjen denne risten enn sannsynligheten for at slissene tettes.

Ifølge Marit fungerer de grunne overvannsystemene like bra om vinteren som om sommeren dersom sluk og rister er åpne, noe de vanligvis er. Et automatisk system gjør at de får alarmer fra værsentralen når store eller intense nedbørsmengder er ventet. Slik kan de sørge for at bekkeinntak, sluk og rister er åpne før nedbøren oppstår. Dette er et forebyggende tiltak som reduserer skadene, og i løpet av de siste årene har de kun hatt tre skadeerstatningsaker som følge av overvann. Hun skisserte at regn på frossen grunn kan være krevende å håndtere, men at dette sjeldent oppstår i Bergen.

På spørsmålet om de har statistikk over vedlikehold og reparasjoner av systemene om vinteren og sommeren, var svaret at de har prøvd å se etter en sammenheng mellom skader på rørene om vinteren vs. sommeren, men det er ikke funnet noen indikasjoner på at det eksisterer store forskjeller. Lite frost gjør at de opplever få tilfeller av frostsprengning.

6. RESULTATER

I dette kapittelet presenteres resultatene fra nedfrysingen og opptiningen av massene i de tre forsøkene i klimalaboratoriet ved hjelp av grafer og tabeller, samt en beskrivelse av resultatene. Sammenligning og diskusjon av resultatene finnes i kapittel 7.

6.1 FORSØK 1

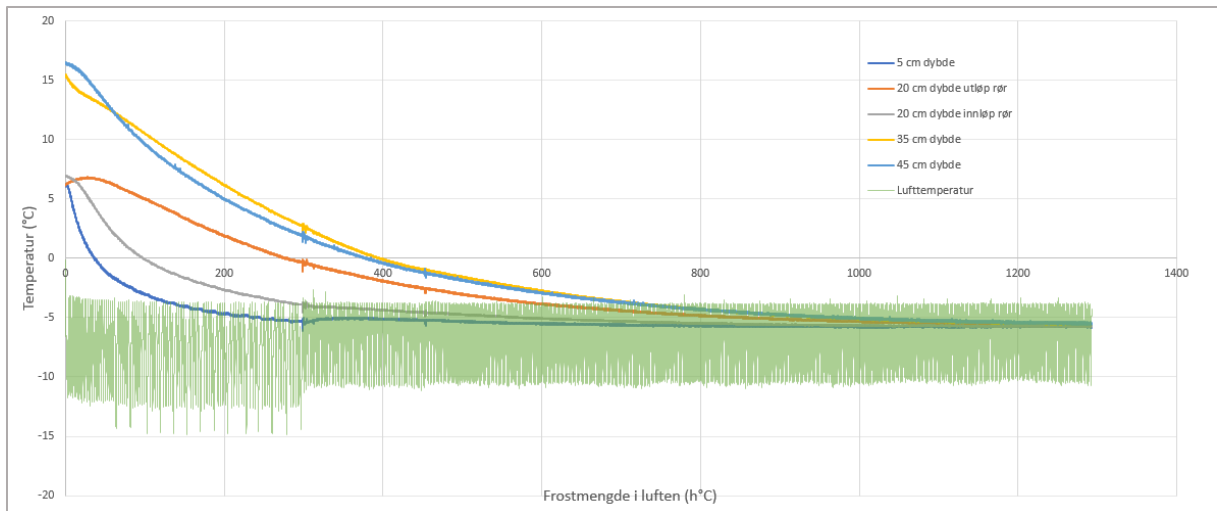
Nedfrysing:

Starttid logging: 09.04.2019 kl. 11:35:33

Sluttid logging: 18.04.2019 kl. 09:32:29

I forsøk 1 ble det som beskrevet i delkapittel 4.4.3 benyttet et PVC 200 mm rør.

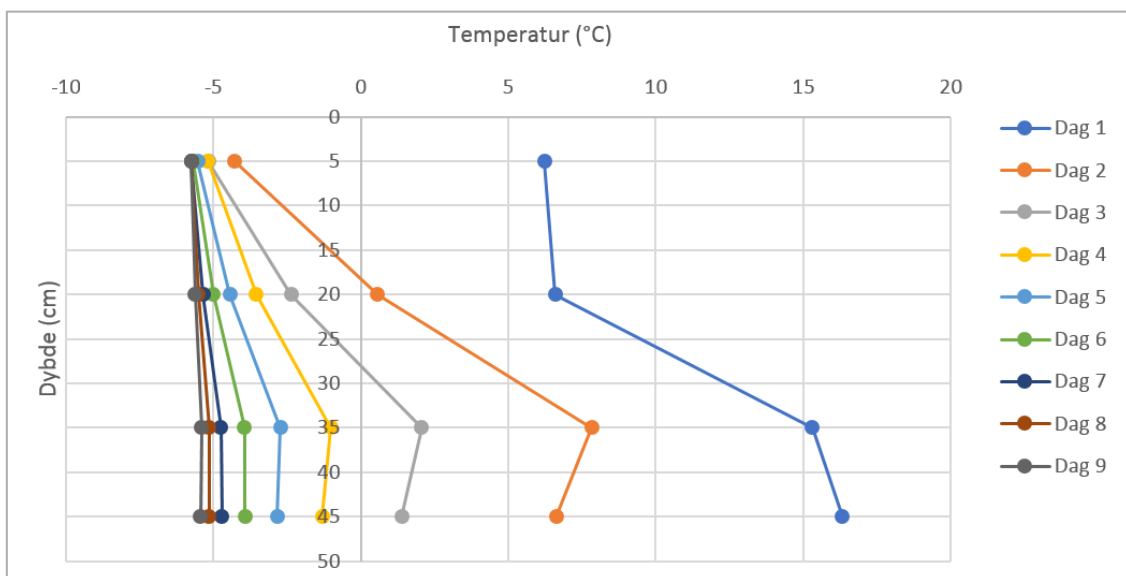
Temperaturutviklingen under nedfrysingen av modellen er illustrert i figur 39 og 40. Figur 39 viser hvordan temperaturutviklingen var på de ulike dybdene ut ifra den totale frostmengden i luften. Grafen illustrerer at det var store problemer med å stabilisere lufttemperaturen i rommet, denne varierte i korte sykluser mellom -3 °C og -10 °C. Responstiden var overaskende lang. Grafen i vedlegg 1 viser at det tok hele ni dager å få stabile og relativt like temperaturer på de ulike dybdene.



Figur 39. Grafen illustrerer frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 1.

Temperaturutviklingen på de ulike dybdene var overaskende. Det var en signifikant forskjell i responstiden for de to termoelementene som begge ble lagt på 20 cm dybde, da temperaturen falt mye raskere ved innløpet til røret. Det var også oppsiktsvekkende at responsen ved 45 cm dybde var raskere enn ved 35 cm dybde. Grunnet deler av massene var kalde før oppstarten, ble det store forskjeller i starttemperaturen på de ulike dybdene. Ideelt sett skulle massene hatt lik temperatur ved oppstart.

I figur 40 er det registrert verdier for temperaturen på de ulike dybdene klokken 12:00 hver enkelt dag. Grunnet varme og kalde masser var forskjellen i temperaturen på de ulike dybdene svært stor de første dagene. De siste dagene ble det som forventet mindre forskjeller, ettersom temperaturen begynte å stabilisere seg.



Figur 40. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under nedfrysingen i forsøk 1.

Tabell 5 gir en kort oversikt over sentrale resultater fra forsøket. Det var en relativt stor forskjell på tidsbruken og frostmengden som måtte til for å nå 0 °C på de ulike dybdene.

Dybde	Starttemperatur (°C)	Tid til 0 °C	Frostmengde i luften til 0 °C på dybden (h°C)
5 cm	5.9849	5 timer og 38 min	37
20 cm utløp rør	6.0846	41 timer og 50 min	277
20 cm innløp rør	6.9379	14 timer og 56 min	97
35 cm	15.6456	61 timer og 50 min	396
45 cm	16.2688	58 timer og 30 min	379
Lufttemperatur	18.9543	9 min og 20 sekund	

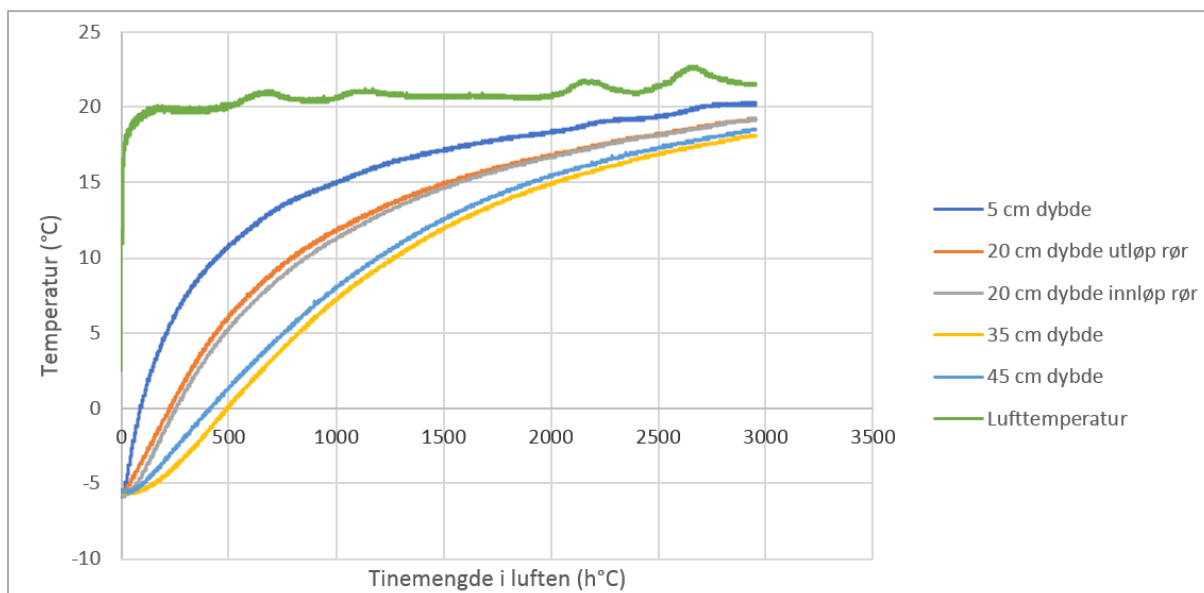
Tabell 5. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen i forsøk 1.

Opptining:

Starttid logging: 18.04.2019 kl. 09:00:09

Sluttid logging: 24.04.2019 kl. 07:59:59

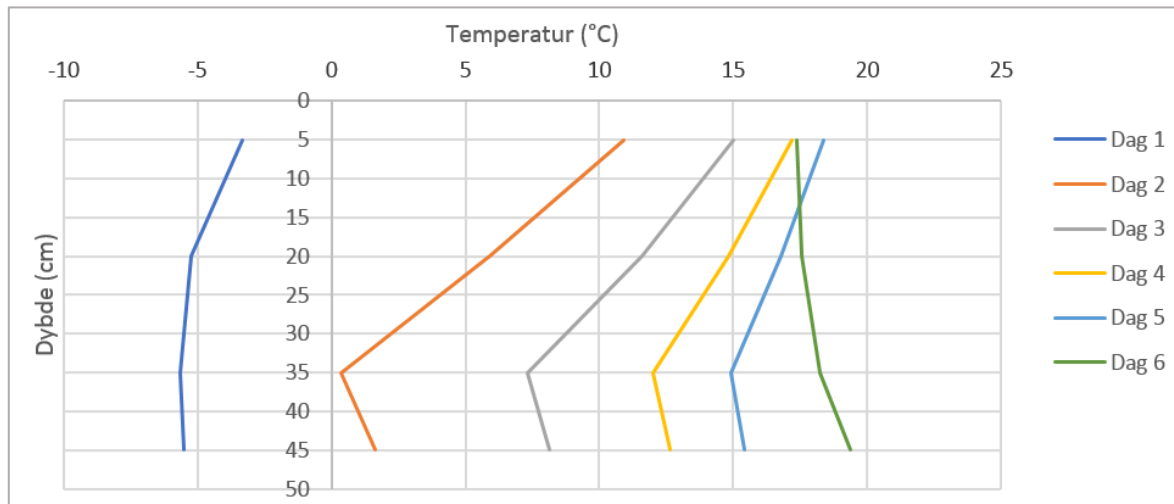
Opptiningen ble startet etter at temperaturene hadde stabilisert seg i nedfrysingsforsøket. Temperaturen i fryserommet gikk raskt fra -5 °C til 20 °C, og temperaturutviklingen på de ulike dybdene er illustrert i figur 41 og 42. Figur 41 viser hvordan temperaturen utviklet seg ut ifra den totale tinemengden i luften. Totalt varte opptiningen i seks dager, og hvordan temperaturene endret seg ut ifra tiden kan sees i vedlegg 1.



Figur 41. Grafen illustrerer tinemengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 1.

Resultatene fra opptiningen var mer som forutsett, med relativt lik responstid mellom de to termoelementene på samme dybde. Temperaturen økte raskere til grunnere dybden var, sett bort ifra at temperaturen økte saktere ved 35 cm dybde enn ved 45 cm dybde.

I figur 42 vises en oversikt over temperaturen på de ulike dybdene klokken 12:00 hver dag under opptiningen. Grafen representerer en forventet temperaturutvikling. Logisk nok var det liten forskjell på dag 1, grunnet massene startet med tilnærmet like temperaturer, og opptiningen kun hadde holdt på i tre timer. For dag 2 var derimot forskjellen betydelig, før den gradvis ble redusert etter hvert som det nærmet seg stabile forhold.



Figur 42. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under opptiningen i forsøk 1.

Tabell 6 gir en kort oversikt over sentrale resultater fra opptiningen. Den viser at det tok relativt kort tid før temperaturen var over 0 °C på alle dybdene, den lengste tiden var i underkant av 26 timer ved 35 cm dybde.

Dybde	Starttemperatur (°C)	Tid til 0 °C	Tinemengde til 0 °C (h°C)
5 cm	-5.7938	5 timer og 31 min	89
20 cm (Utløp rør)	-5.6277	12 timer og 23 min	225
20 cm (Innløp rør)	-5.7316	13 timer og 53 min	255
35 cm	-5.5527	25 timer og 51 min	493
45 cm	-5.425	21 timer og 56 min	414
Lufttemperatur	-8.0355	33 min og 40 sek	

Tabell 6. Oppsummering av resultatene fra opptiningen i forsøk 1.

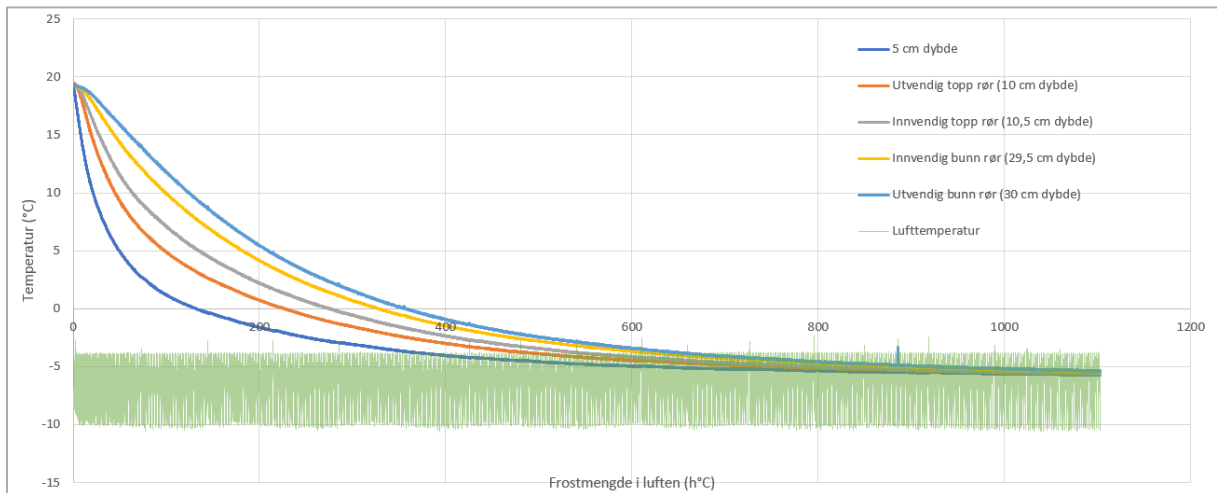
6.2 FORSØK 2

Nedfrysing:

Starttid logging: 24.04.2019 kl. 11:27:29 Sluttid logging: 02.05.2019 kl. 07:54:29

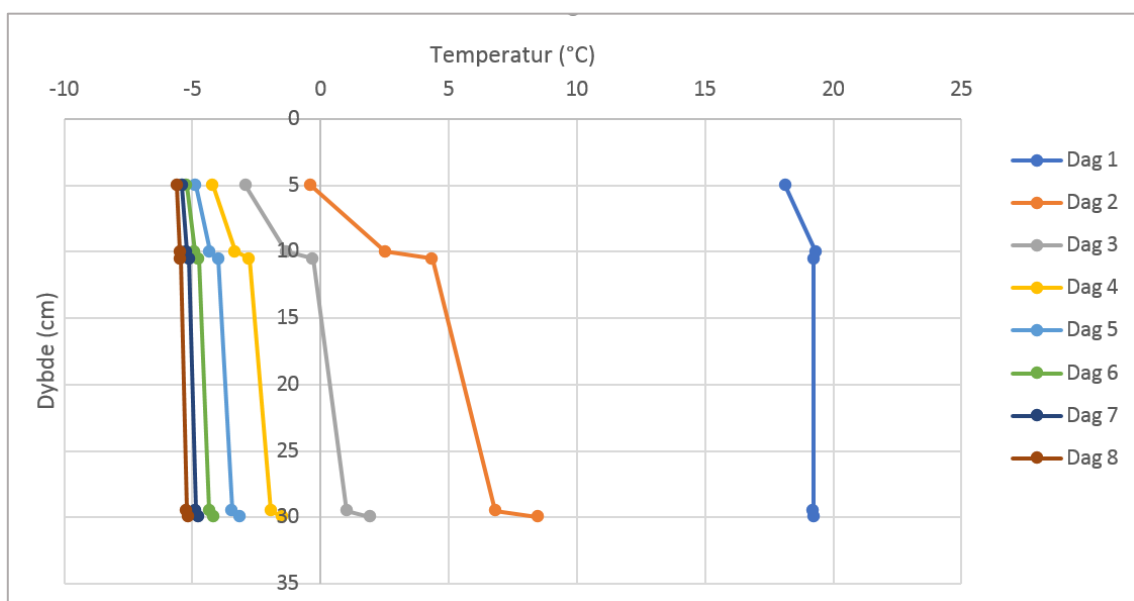
Også i dette forsøket ble det som beskrevet i delkapittel 4.4.3 benyttet et PVC 200 mm rør. Figur 43 og 44 viser resultatene fra nedfrysingen av modellen. Figur 43 viser hvordan

temperaturene utviklet seg ut ifra den totale frostmengden i luften. Utviklingen var som forventet, med en tregere respons til dypere termoelementet var plassert. Grafen illustrerer at det oppstod temperaturforskjeller innvendig og utvendig av røret både i toppen og bunnen, og at det ble dannet en luftlomme inne i røret som gradvis ble redusert. Forsøket varte totalt i åtte dager, som vist i vedlegg 2.



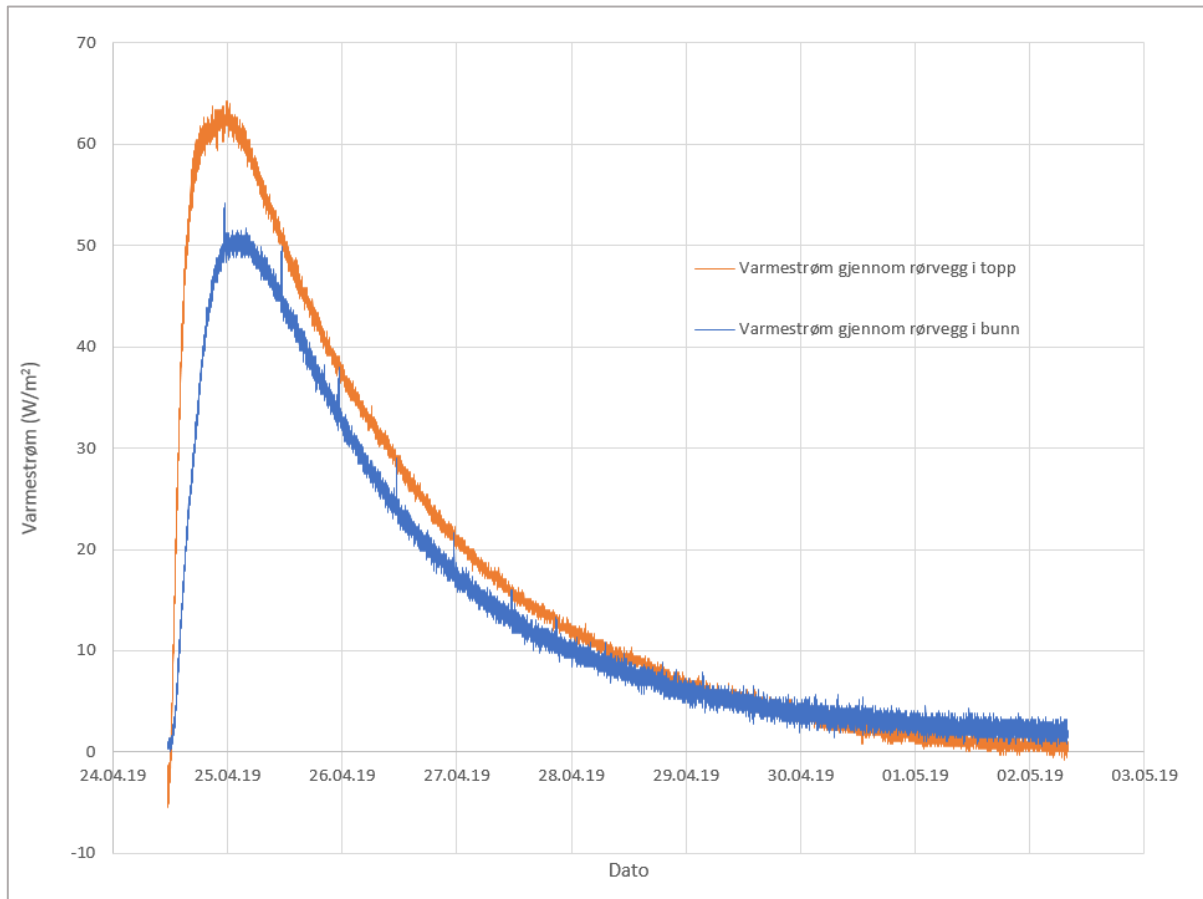
Figur 43. Grafen illustrerer frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 2.

I figur 44 vises en oversikt over hvordan temperaturene var på de ulike dybdene klokken 12:00 hver dag under nedfrysingen. Temperaturforskjellen var liten på dag 1, siden nedfrysingen nylig ble igangsatt, men grafen viser at den største forskjellen i temperaturene på de ulike dybdene og de største temperaturendringene oppstår mellom dag 1 og 2. Dette illustreres av den tydelige temperaturgradienten gjennom rørveggen på dag 2.



Figur 44. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under nedfrysingen i forsøk 2.

Ved å benytte ligning 1, som tidligere er beskrevet i kapittel 2.3.1, kunne varmestrømmen gjennom rørveggen i toppen og bunnen av røret kalkuleres. Beregningen er basert på temperaturforskjellen innvendig og utvendig av røret, varmeledningsevnen til materialet og veggtykkelsen. Resultatene er illustrert i figur 45, og viser at varmestrømmen gjennom rørveggen i toppen av røret både oppstod raskere og var høyere enn i bunnen.



Figur 45. Illustrasjon over varmestrømmen gjennom rørveggen i toppen og bunnen av røret i forsøk 2.

Tabell 7 gir en kort oversikt over sentrale resultater fra nedfrysingen. Det var relativt stor forskjell i tidsbruken og frostmengden som måtte til for å nå $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ på de ulike dybdene, selv om det var kort avstand mellom flere av termoelementene.

Dybde	Starttemperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Tid til $0\text{ }^{\circ}\text{C}$	Frostmengde i luften til $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ på dybden (h°C)
5 cm	19.21	21 timer og 47 min	131
10 cm (Utvendig topp rør)	19.36	38 timer	227
10,5 cm (Innvendig topp rør)	19.27	46 timer og 8 min	275
29,5 cm (Innvendig bunn rør)	19.31	55 timer og 10 min	327
30 cm (Utvendig bunn rør)	19.32	60 timer og 17 min	357
Lufttemperatur	3.53	4 min (opprinnelig 9 minutt, siden reel oppstart var 11:22)	

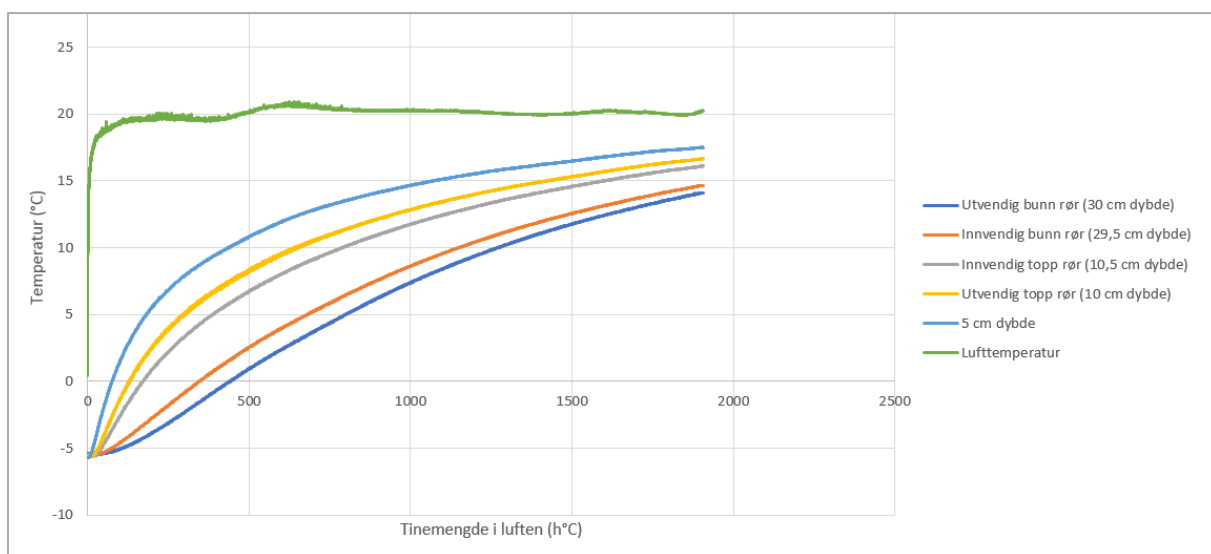
Tabell 7. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen i forsøk 2.

Tining:

Starttid logging: 02.05.2019 kl. 10:03:29

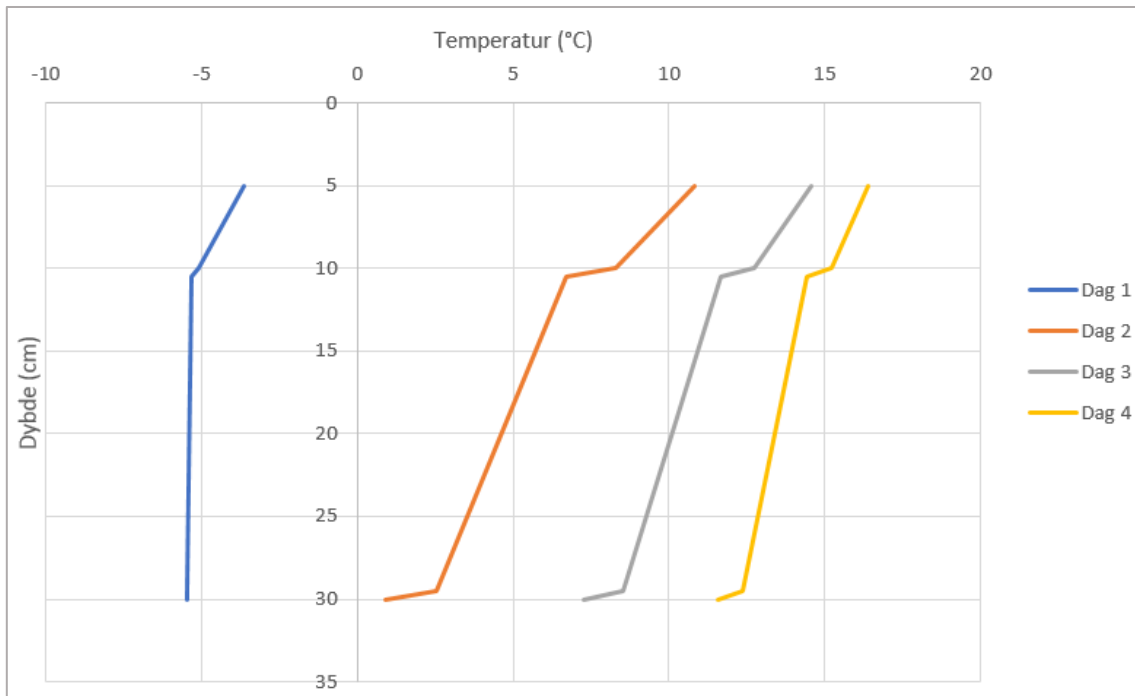
Sluttid logging: 06.05.2019 kl. 09:37:59

Resultater fra opptiningen av modellen er illustrert i figur 46 og 47. Figur 46 viser temperaturutviklingen på de ulike dybdene ut ifra den totale tinemengden i luften, og resultatene ble som forventet. Temperaturen i fryserommet økte raskt, mens temperaturene på de ulike dybdene gradvis økte. Responstiden var lengst for de dypeste termoelementene. Opptiningen varte i fire dager, og i vedlegg 2 vises temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden.



Figur 46. Grafen illustrerer tinemengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i opptiningen av forsøk 2.

I figur 47 vises en oversikt over temperaturen på de ulike dybdene klokken 12:00 hver dag under opptiningen. Grafen viser den samme trenden som for nedfrysingen, men i motsatt retning. På dag 2 oppstod det en tydelig temperaturgradient gjennom rørveggen. Denne gradienten ble gradvis redusert ettersom massene nærmet seg stabile og like forhold.



Figur 47. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under opptiningen i forsøk 2.

I tabell 8 er det gitt en kort oppsummering av de viktigste resultatene fra opptiningen. Over røret gikk det relativt kort tid før massene nådde en temperatur på 0 °C, i motsetning til ved bunnen av røret, der det tok 22 timer og 37 minutter. Tabellen viser at det var betydelige forskjeller på om termoelementene var plassert på innsiden eller utsiden av røret.

Dybde	Starttemperatur (°C)	Tid til 0 °C	Tinemengde til 0 °C (h°C)
5 cm	-5.71	4 timer og 19 min	75
10 cm (Utvendig topp rør)	-5.62	6 timer og 47 min	129
10,5 cm (Innvendig topp rør)	-5.61	8 timer og 54 min	170
29,5 cm (Innvendig bunn rør)	-5.46	17 timer og 45 min	345
30 cm (Utvendig bunn rør)	-5.38	22 timer og 37 min	440
Lufttemperatur	-5.38	3 min	

Tabell 8. Oppsummering av resultatene fra opptiningen i forsøk 2.

6.3 FORSØK 3

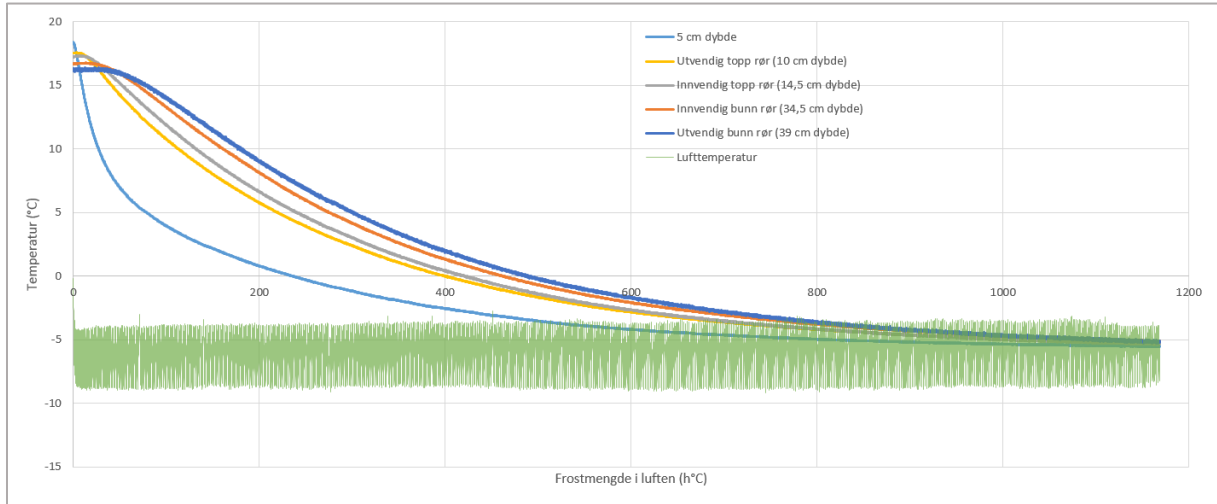
Nedfrysing:

Starttid logging: 07.05.2019 kl. 11:49:46

Sluttid logging: 16.05.2019 kl. 08:20:46

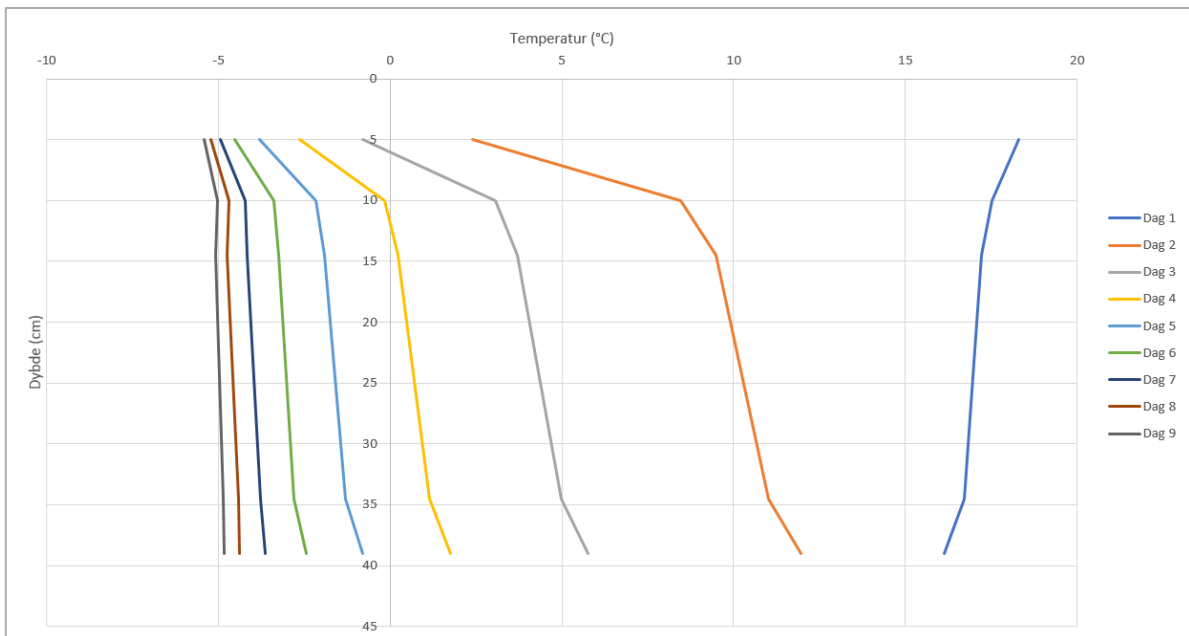
I dette forsøket ble det som beskrevet i delkapittel 4.4.3 benyttet et betongrør med en indre diameter på 200 mm. Resultatene fra nedfrysingen er illustrert i figur 48 og 49. I figur 48 vises temperaturutviklingen på de forskjellige dybdene ut ifra den totale frostmengden i luften. Grafen viser at responstiden var overraskende lang for samtlige termoelementer.

Elementene som lå på 10 cm dybde eller dypere, trengte en frostmengde i luften på over 400 h°C før temperaturen ble under 0 °C. Det oppstod en tydelig luftflomme inne i røret, som gradvis ble redusert med økende frostmengde. Forsøket varte i over ni dager, og temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden er vist i vedlegg 3.



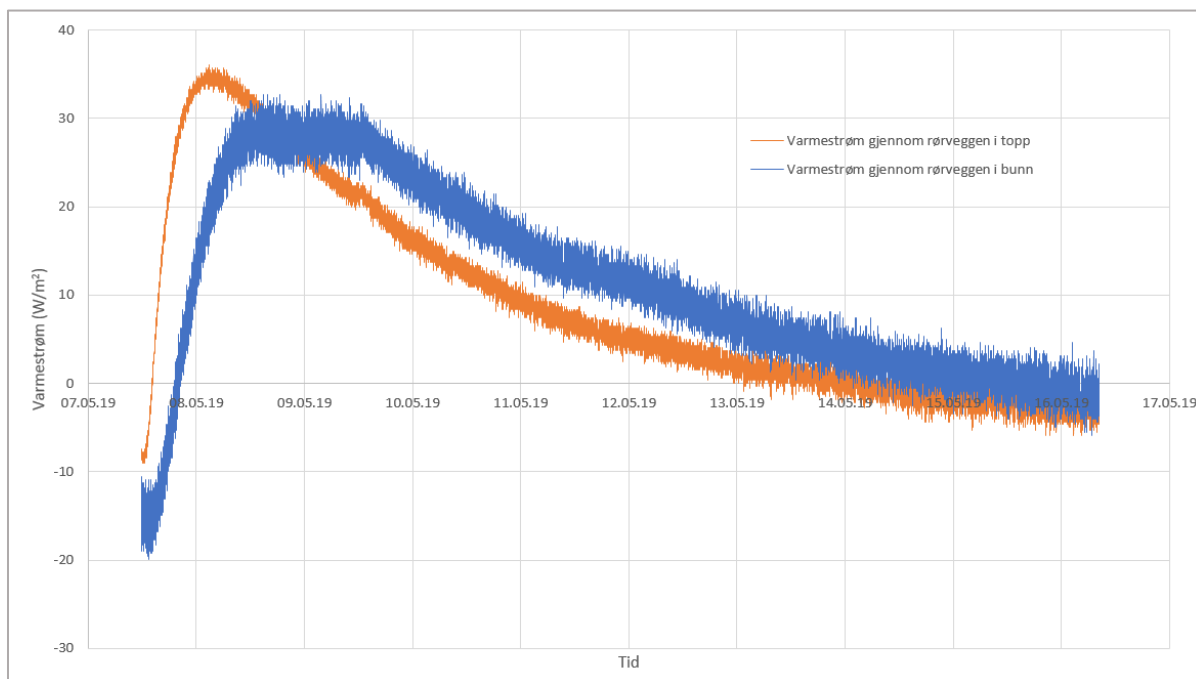
Figur 48. Grafen illustrerer frostmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i forsøk 3.

I figur 49 vises en oversikt over temperaturen på de ulike dybdene klokken 12:00 hver dag under nedfrysingen. Den følger samme trenden som i forsøk 2, med at de største temperaturforskjellene oppstod i perioden mellom dag 1 og 2, før skilnaden gradvis reduseres. Grafen viser at det oppstod en temperaturgradient gjennom rørveggen til betongrøret.



Figur 49. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under nedfrysingen i forsøk 3.

Varmestrømmen gjennom rørveggen i toppen og bunnen av røret ble også i dette forsøket beregnet ved bruk av ligning 1. Resultatene er illustrert i figur 50, og viser at varmemestrømmen både oppstod raskere og var høyere gjennom rørveggen i toppen. Responsen i bunnen var tregere, men etter litt over en dag var faktisk varmemestrømmen høyest gjennom rørveggen i bunnen.



Figur 50. Illustrasjon over varmemestrømmen gjennom rørveggen i toppen og bunnen av røret i forsøk 3.

I tabell 9 er det gitt en kort oppsummering av de viktigste resultatene fra nedfrysingen i forsøk 3. Tabellen illustrerer at det tok lang tid før temperaturen falt under 0 °C på de ulike dybdene.

Dybde	Starttemperatur (°C)	Tid til 0 °C	Frostmengde i luften til 0 °C på dybden (h°C)
5 cm	18.4	40 timer og 54 min	236
10 cm (Utvendig topp rør)	17.49	70 timer og 36 min	400
14,5 cm (Innvendig topp rør)	17.21	74 timer og 15 min	420
34,5 cm (Innvendig bunn rør)	16.68	82 timer	462
39 cm (Utvendig bunn rør)	16.18	86 timer og 47 min	488
Lufttemperatur	2.68	3 min og 30 sek (opprinnelig 14 min, siden reel oppstart var 11.39)	

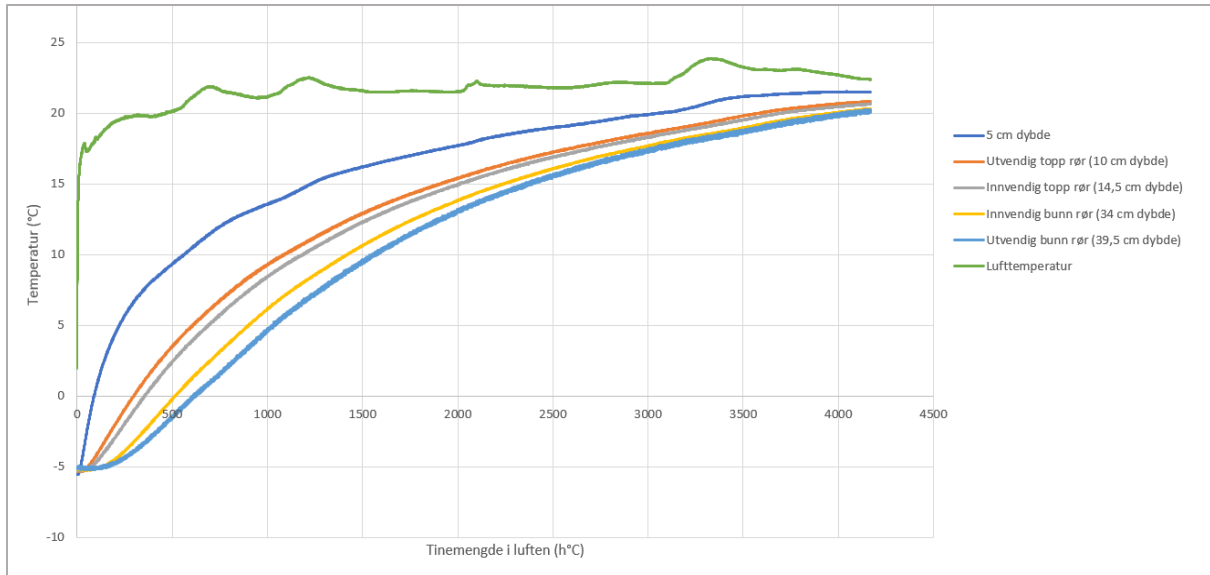
Tabell 9. Oppsummering av resultatene fra nedfrysingen i forsøk 3.

Tining:

Starttid logging: 16.05.2019 kl. 08:21:13

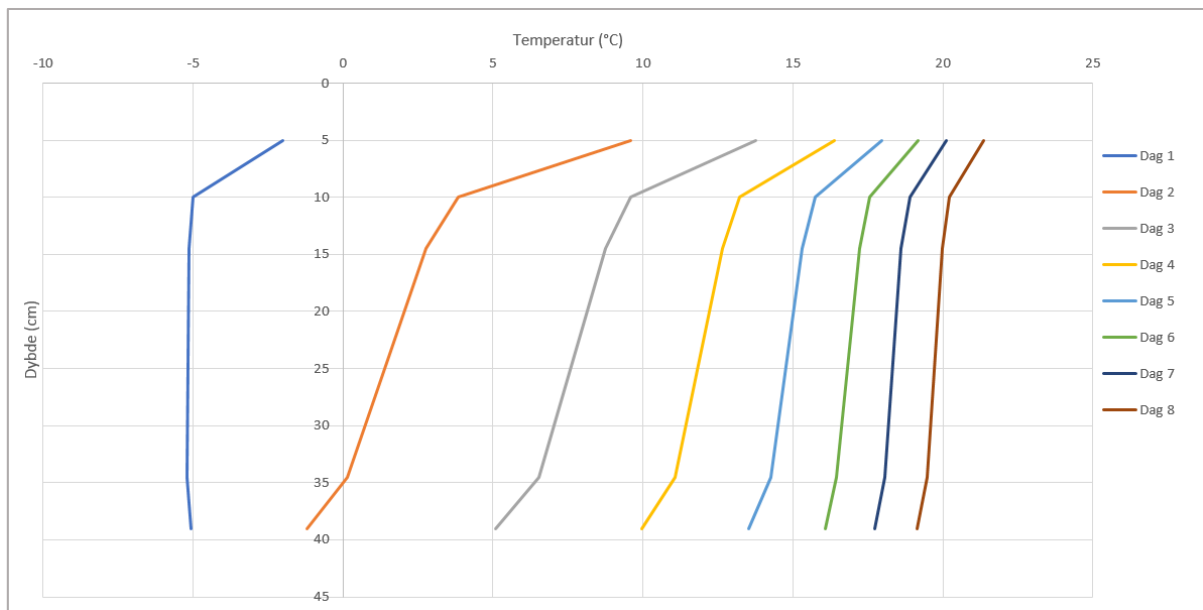
Sluttid logging: 24.05.2019 kl. 08:59:43

Resultatene fra opptiningen av forsøk 3 er illustrert i figur 51 og 52. Figur 51 viser en oversikt over hvordan temperaturen utviklet seg på de ulike dybdene, ut ifra den totale tinmengden i luften. Grafen viser den samme utviklingen som i forsøk 2, med en senere respons jo dypere termoelementene var plassert. I vedlegg 3 vises temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden.



Figur 51. Grafen illustrerer tinmengden i luften vs. temperaturen på de ulike dybdene i opptiningen i forsøk 3.

I figur 52 vises temperaturen på de ulike dybdene klokken 12:00 hver dag under opptiningen. Grafen illustrerer akkurat den sammen trenden som ble vist i opptiningen av de andre forsøkene.



Figur 52. Grafen illustrerer temperaturen vs. dybden kl. 12 hver dag under opptiningen i forsøk 3.

I tabell 10 er det gitt en kort oppsummering av de viktigste resultatene fra opptiningen av forsøk 3. Tabellen illustrerer at det dypeste termoelementet brukte like i overkant av 32 timer for å oppnå en temperatur som var over 0 °C, i motsetning til termoelementet på 5 cm dybde som kun brukte 5 timer og 24 minutter.

Dybde	Starttemperatur (°C)	Tid til 0 °C	Frostmengde i luften til 0 °C på dybden (h°C)
5 cm	-5.55	5 timer og 24 min	89
10 cm (Utvendig topp rør)	-5.23	16 timer og 15 min	296
14,5 cm (Innvendig topp rør)	-5.38	19 timer og 10 min	354
34,5 cm (Innvendig bunn rør)	-5.1	27 timer og 13 min	514
39 cm (Utvendig bunn rør)	-5.2	32 timer og 17 min	619
Lufttemperatur	-5.19	4 min	

Tabell 10. Oppsummering av resultatene fra opptiningen i forsøk 3.

7. DISKUSJON

I dette kapittelet vurderes og diskuteres resultatene fra klimalaboratoriet opp mot hverandre, samt at de resterende funnene i studien diskuteres.

7.1 VURDERING OG SAMMENLIGNING AV RESULTATENE FRA LABORATORIET

Forsøkene som er utført i klimalaboratoriet gir bare et bilde på hvordan temperaturutviklingen er i tørre masser med to ulike rørmaterialer under nedfrysing med stabile kalde temperaturer, og opptining ved stabile varme temperaturer. Temperaturutviklingen kan være annerledes ved bruk av andre masser, og det er vanskelig å si om de grunne systemene vil fungere i virkeligheten eller ikke, ut ifra resultatene fra forsøkene. Få gjennomførte forsøk er også med på å øke sannsynligheten for at resultatene blir tolket feil. Ettersom forsøkene gir få konkrete svar har det vært et ekstra fokus på å utvikle metodikken underveis i laboratoriearbeidet, slik at den kan benyttes i videre forskning.

For å få best mulig sammenligningsgrunnlag, ble det forsøkt å få like rammebetingelser for forsøkene. Enkelte endringer ble likevel utført underveis for å utvikle metodikken, basert på resultatene fra de foregående forsøkene og materialet tilgjengelig. Resultatene fra forsøk 1 skiller seg ut, men viser samtidig hvor store variasjoner som kan oppstå, om man ikke er observante på hvordan termoelementene plasseres i massene, og på at massene har like temperaturer ved oppstart. Som figur 39 illustrerte var det store forskjeller mellom responstiden for to termoelementer som begge lå på 20 cm dybde, og overaskende nok en lenger responstid for termoelementet på 35 cm dybde enn det på 45 cm dybde. Den mest

logiske forklaringen på variasjonene er at termoelementene ikke ble plassert med en bestemt avstand fra veggene til kassen, men på vilkårlige steder. Termoelementene på 20 cm dybde (ved utløpet) og 35 cm dybde ble plassert lengst vekk fra viftene i fryserommet, og det virker som at dette har bidratt til en tregere respons. En annen potensiell forklaring er at massene var pakket bedre rundt disse termoelementene. Ved høy tetthet rundt elementene, tar det lenger tid å endre temperaturen. At termoelementene ikke er kalibrert mot hverandre, kan være en medvirkende faktor som kan ha påvirket nøyaktigheten av målingene, men ved å ta gjennomsnittverdien og standardverdien på de siste 1000 målingene på de ulike dybdene i forsøk 1, ble det kontrollert at det var relativt liten forskjell mellom elementene.

Basert på erfaringene fra det første forsøket var det et større fokus på få like temperaturer i massene, og å plassere termoelementene med lik avstand fra sidene til kassen i de neste forsøkene. Opptiningen av forsøk 1 og 2 bidro til at temperaturene i massene var relativt like ved oppstarten av forsøk 2 og 3. Figur 44 viste derfor et mer forventet bilde over temperaturutviklingen på de ulike dybdene hver dag, enn hva figur 40 illustrerte. Den store forskjellen i starttemperaturen ($6\text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $19\text{ }^{\circ}\text{C}$) gjorde at det tok i underkant av 6 timer å nå $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ på 5 cm dybde i forsøk 1, mot i underkant av 22 timer i forsøk 2 på den samme dybden. Ettersom skilnaden i starttemperaturen var $13\text{ }^{\circ}\text{C}$, var ikke forskjellen i tidsbruken særlig overraskende. Totalt sett ble temperaturer under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ på alle dybdene oppnådd raskest i forsøk 2, men dette har etter alle solemerker en sammenheng med at temperaturen ikke måles like dypt. Resultatene fra opptiningen av forsøk 1 og 2 var relativt like, men logisk nok gikk det litt raskere i forsøk 2, ettersom termoelementene var plassert grunnere. Det var likevel overraskende at det skilte 1 time og 12 minutt i opptiningstiden for å nå $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ mellom forsøkene ved 5 cm dybde, selv med tilnærmet like temperaturer ved oppstarten. Dette viser at plasseringen av termoelementene i kassen også hadde stor betydning for opptiningen.

Resultatene fra forsøk 2 og 3 var i stor grad som forventet, med tregere responstid til dypere termoelementene lå. Resultatene fra begge forsøkene viste tydelig at det oppstod en luftlomme inne i røret, og at det var en temperaturgradient gjennom rørveggen. På dag 2 og 3 i figur 44 og 49, ser man spesielt tydelig at det oppstod en temperaturgradient gjennom rørveggen. En interessant observasjon er at responstiden var betydelig lenger for betongrøret enn for PVC-røret, selv med tilnærmede like forutsetninger i forsøkene. Det gjelder spesielt under nedfrysingen, men klare forskjeller ble også observert i opptiningen, skissert i tabell 8 og 10. Responstiden var atpåtill ulik for termoelementene som var plassert på akkurat den

samme dybden over røret, på 5 cm og 10 cm dybde. Ved bruk av PVC-rør trengte termoelementet på 10 cm dybde en frostmengde på 227 h°C for å nå 0 °C, mens betongrøret trengte en frostmengde på hele 400 h°C for å nå 0 °C på samme dybde. Det kan være flere faktorer som medvirket til dette, men en forklaring kan være at betongrøret var relativt kaldt da det ble plassert nedi massene. Sannsynligvis var det en så massiv varmekapasitet i betongrøret at det dominerte områdene rundt, og bidrog dermed til at det tok lenger tid å kjøle ned massene. Temperaturen på de oppvarmede massene som måtte tas i bruk grunnet økt veggtykkelse på betongrøret ble ikke målt nøyaktig, men den kjentes tilfredsstillende ut. Et par grader forskjell i massene er uansett ikke nok til å kunne forklare den store forskjellen alene, men dersom temperaturen i de ekstra massene hadde blitt målt, kunne denne feilkilden blitt utelukket. En annen forklaring kan være at massene var pakket ulikt rundt termoelementene i de to forsøkene. Veggtykkelsen til betongrøret bidrog til at det var logisk med en lenger responstid for de nederste termoelementene i dette forsøket, ettersom de lå litt dypere enn i forsøk 2. Resultatene illustrerte at det trengs enn relativ lang periode med kontinuerlig kalde temperaturer på overflaten, før de grunne løsningsene av betong som Qmax Storm og slisserenner får kalde temperaturer i og rundt røret/rennen.

Resultatene fra figur 45 og 50, der varmestrømmen gjennom rørveggen er presentert, viser at det var relativt stor forskjell mellom varmestrømningen gjennom et PVC-rør vs. et betongrør. For PVC-røret var varmestrømmen på det høyeste 63 W/m², mens den maksimale varmestrømmen for betongrøret var 35 W/m². Den store forskjellen oppstod selv om tabell 1 viser at betong har en betydelig høyere varmeledningsevne enn PVC. Ettersom veggtykkelsen inngikk i beregningen av varmestrømmen, kan skilnaden forklares med at veggtykkelsen til betongrøret er betydelig tykkere. Resultatene illustrerer derfor at veggtykkelsen har mye å si for varmestrømmen gjennom rørveggen, og at denne påvirker i større grad enn varmeledningsevnen til materialet. Varmestrømmen som er presentert i figur 45 og 50 er bare første del av metoden, men grafene viser at den kan legges til grunn i videre forskning. Resultatene hadde vært mer spennende om det hadde vært tid til å gjennomføre forsøkene med vannstrømning og vannmettede masser, da kunne varmeoverføringen fra vannet blitt inkludert i analysene av varmestrømmen. Temperaturutviklingen kan være annerledes dersom vann inkluderes i massene, som beskrevet av Johansen og Frivik (1976) påvirker vanninnholdet varmeledningsevnen i stor grad, og ved økende vanninnhold øker varmeledningsevnen. Det er også viktig å ta i betraktning at massene ikke komprimeres i laboratoriet. Dette stilles det krav til ved legging av nye rør, og komprimeringen øker

varmeledningsevnen til massene (Johansen og Frivik, 1976).

Totalt sett var det overraskende lang responstid i samtlige forsøk. Ettersom rørene lå med en overdekning på 10 cm og dermed hadde et minimalt bidrag fra jordvarmen, var det forventet at temperaturen på de ulike dybdene relativt raskt skulle være lik lufttemperaturen i fryserommet. Målingene viste at selv om systemet utsettes for kontinuerlig kalde temperaturer, tok det relativt lang tid før temperaturene sank på de ulike dybdene, og normalt minst en uke før man fikk stabile temperaturer. Under opptiningen gikk temperaturene relativt raskt til 0 °C, men det tok betydelig lenger tid enn forventet før temperaturene ble stabilisert.

Modellen er kun testet for situasjonen der man plutselig går fra varme temperaturer, til en lang periode med kalde temperaturer. For å få en enda bedre forståelse av opptreden til rørene burde det blitt gjennomført tester der lufttemperaturen i sykluser svingte mellom plussgrader og minusgrader. I perioder med daglig frysing/tining er dette det reelle bildet som oppstår. Selv om responsen i massene var treg, illustrerte den raske endringen av lufttemperaturen i fryserommet at metodikken kan benyttes i videre forsøk til å undersøke opptreden ved daglig frysing/tining. Dette kan i hovedsak gjøres på to ulike måter: (1) rommet stilles manuelt på noen få minusgrader hver kveld, og noen få plussgrader hver morgen; (2) lufttemperaturen i rommet stilles inn på 0 °C. Som resultatene illustrerte, var det krevende å få stabil lufttemperatur i rommet. Selv om temperaturen i fryserommet ble stilt inn på -5 °C, varierte temperaturen i sykluser mellom -3 °C og -10 °C. Ved å stille inn lufttemperaturen på 0 °C vil man derfor få kontinuerlige sykluser der temperaturen både er over og under 0 °C. Problemet er at syklustiden kun er på ca. åtte minutter. Det mest ideelle hadde derfor vært å benytte den første metoden, selv om denne krever mer fysisk tilstedeværelse. Slike forsøk vil være nyttige for å få et større overblikk over hvordan systemet fungerer ved daglig frysing/tining, men også her vil det være mest interessante resultater dersom vann inkluderes i forsøkene. Ved vannmettede masser eller kontinuerlig vannstrømning gjennom røret vil det som beskrevet av Bjerkeholt og Vigerust (2002) og Jain *et al.* (2018) potensielt dannes islinser i massene, og ispropper inne i røret.

7.2 DE ULIKE ELEMENTENE SETT I SAMMENHENG

Svarene fra de ulike intervjuene samsvarer i stor grad med hverandre. De lange erfaringene med slisserenner på Gardermoen vektlegges ekstra, men det var også nyttig å få opplysninger

om at Qmax Storm systemet på Trandum hadde fungert utmerket den første vinteren. Denne vinteren har ikke vært blant de mest utfordrende, men basert på erfaringene med slisserennene på Gardermoen, som ikke har noe tilførsel av jordvarme, tyder det meste på at Qmax Storm systemet også vil takle tøffere vintre. Det faktum at dette systemet kan legges med fall og har en liten overdekning gjør at det får tilførsel av jordvarme, samt at stillestående vann i røret unngås. Troen på funksjonaliteten til dette systemet om vinteren blir ytterligere forsterket ved at Qmax-røret utvider seg oppover, slik at det i tillegg blir rom for ekspansjon. Som det framgår av intervjuene på Gardermoen og Trandum, er det å holde slukristene eller slissene fri for snø og is før store endringer i vær-situasjonen med høyere temperaturer og regn på frossen grunn, et nøkkelement for at de grunne systemene skal fungere til enhver tid. Relevansen av dette ble bekreftet i intervju med to av kommunene, der både Tromsø og Bergen kommune forklarte at de var observante på at slukrister og bekkeinntak var fri for snø og is før slike hendelser. Som Gundersen (1992a) beskriver fungerer snøen som et isolasjonslag for telen, så ideelt sett skulle snøen ligget urørt over de grunne overvannsystemene, og kun blitt fjernet fra slukristene. Dette ville derimot ha komplisert brøytingen, og mange steder ville det ikke vært mulig å få til, grunnet løsningsene ligger i tilknytning til veier, gangveier eller parkeringsplasser. Det var oppsiktsvekkende å høre at Oslo kommune ikke hadde det samme fokuset på å fjerne snø og is fra slukrister, ettersom de har mer frost enn Bergen. I kalde perioder sørget de kun ukentlig for at bekkeinntakene var frie. En faktor som kan forklare at det normalt rettes lite fokus mot dette, er at Oslo har betydelig mindre regn enn Bergen, og at det derfor sjeldnere oppstår intense regnfall på frossen undergrunn. Kommunene har begynt å benytte kjeftsluk, men det er viktig at bruken av disse ekspanderes, ettersom det skal et ganske tykt lag med is til for å tette dem. Svarene fra intervjuene med kommunene kan knyttes til observasjonene som er gjort, ved at frosten ikke skaper nevneverdige problemer for de grunne systemene, og at frostproblematikken er litt oppskrytt. Det var enighet blant intervjuobjektene om at det ikke oppstod flere skader på overvannsledningene om vinteren enn om sommeren. Samtlige kommuner anga at frostsprengning av overvannsledninger er et fenomen som ikke oppstår.

Ut ifra observasjonene av slisserennene ved Åsveien skole, er det relativt enkelt å besvare forskningsspørsmålene om hvordan systemet opptrer ved stabile kalde temperaturer og ved daglig frysing/tining. Ved begge tilstandene har systemet vist seg å fungere bra, og få problemer ble observert. Ved stabile vinterlige forhold lå både innløp og utløp helt blokkert, men inne i slisserennen var det hverken snø eller is. Det samme bilde ble observert ved Qmax

Storm systemet på Trandum, med hverken snø eller is inne i røret ved stabile vinterforhold. Selv om både innløp og utløp delvis var blokkert av snø i periodene med daglige fryse/tine-sykluser ble bare små mengder stillestående vann observert én gang i den ene slisserennen ved Åsveien skole. Det har ikke oppstått intense nedbørshendelser av regn på frossen grunn på noen av de aktuelle stedene denne vinteren. Det tykke snø- og islaget over Qmax Storm systemet kan ha påvirket opptreden til systemet denne vinteren, for som Trøstaker (2016) beskriver, vil et tykt nok snødekke isolere den temperaturen som allerede er i bakken, og en større kulde på overflaten evner ikke å trekke nedover. Ettersom utløpene til slisserennene ved Åsveien skole ligger åpne, kunne det blitt installert kuldeskjørt av plaststrimler dersom det hadde vært problemer med isdannelse inne i rennen. Ifølge Trøstaker (2016) ville dette gitt en termisk effekt, der temperaturen hadde vært høyere inni rennen enn på utsiden. Basert på denne sesongens observasjoner er det derimot ikke nødvendig å installere dette.

Ettersom det ikke ble gjennomført laboratorieforsøk med kontinuerlig vannstrømning eller vannmettede masser, er det vanskelig å knytte resultatene fra laboratoriet opp mot observasjonene som har blitt gjort. Den mest nyttige informasjonen er at responstiden ved de ulike dybdene var såpass lang at det trengs flere dager med kalde temperaturer før de grunne systemene blir påvirket. For å kunne besvare alle forskningsspørsmålene er det tydelig at det er nødvendig å gjennomføre flere forsøk, ettersom spørsmålene går litt utover de forsøkene det ble tid til å gjennomføre i laboratoriet. Hadde alle de åtte planlagte forsøkene blitt utført, ville man vært bedre rystet til å besvare samtlige forskningsspørsmål. De tre utførte forsøkene gir primært et bilde på forventede temperaturutviklinger i massene, og at dette er en metodikk som kan benyttes til å gjennomføre mer omfattende forsøk med ulike variabler som vannmettede masser, vannstrømning gjennom røret, samt andre materialer, fall og masser for å nevne noe. Ifølge Caraco og Claytor (1997), er det når vannstrømningen er lav de største problemene ofte oppstår, grunnet vannet blir stillestående og varmekapasiteten fra vannet begrenses. Det var derfor tiltenkt å gjennomføre forsøk 8 med så lav kontinuerlig vannstrømning som mulig gjennom hele forsøket.

De grunne systemene Qmax Storm og slisserenner burde også vært testet i laboratoriet, ettersom oppbyggingen av disse systemene gjør at de kan opptre på andre måter enn et tradisjonelt betongrør. Begrenset tid i laboratoriet gjorde at dette ikke var mulig, men det hadde vært svært interessant å sammenligne opptreden til de grunne systemene vs. generelle betongrør. Optimalt skulle forsøkene i klimalaboriet resultere i en felles funksjon

eller en graf basert på de ulike elementene som ble testet, men for få forsøk ble gjennomført til å kunne etablere noe slikt i denne studien. Det uforløste kunnskapspotensialet innenfor dette emnet medvirker til at mye forskning gjenstår, og sentrale elementer som bør inkluderes i denne forskningen er beskrevet i kapittel 9 om videre arbeid.

8.KONKLUSJON

Funnene fra denne studien kan benyttes til å få en begynnende forståelse av hvordan de grunne systemene opptrer om vinteren, og det kan bygges videre på metodikken fra laboratorieforsøkene. Det begrensede datagrunnlaget fra laboratorieforsøkene og de manglende målingene fra Trandum, gjør det vanskelig å konkludere. Basert på observasjonene denne vinteren, og den videreformidlede informasjonen fra intervjuene, indikerer all dokumentasjon at de grunne overvannsystemene fungerer bra om vinteren. Svært få problemer ble observert på de grunne anleggene som ble overvåket. Det er likevel viktig å ta i betraktning at anleggene ikke ble utfordret i stor grad denne vinteren. Både ved Gardermoen, Trandum og Åsveien skole har den maksimale nedbørsmengden av regn på frossen grunn på en enkelt dag, vært mellom 10–12 mm denne vinteren. Overvannsystemene på Trandum og Åsveien skole trenger å bli testet og observert over en lengre periode for å kunne fastslå at systemene faktisk fungerer bra om vinteren, men hverken snø eller is ble observert inne i systemene denne vintersesongen. Tilsynelatende fungerte systemene bra ved stabile kalde temperaturer, og ved daglig frysing/tining. Et ordentlig bilde av hvor godt rystet systemene er, vil først oppnås når de observeres ved kombinasjonen av intens nedbør og snøsmelting på frossen grunn. Slisserennene på Gardermoen har derimot blitt testet i løpet av 20 ulike vintre, og erfaringene rundt vinterfunksjonen til rennene er svært gode.

I intervjuene går det tydelig fram at både kommunene og Avinor Gardermoen opplever få ekstra skader på overvannsystemene om vinteren vs. sommeren. Svarene fra Avinor var uventede, med bare et tilfelle av frostsprengning i løpet av 20 år med slisserenner. Dette illustrerer at de grunne løsningene fungerer, selv om de ligger uten fall og overdekning i et område med relativt røffe vintre. Den generelle oppfatningen basert på observasjonene og intervjuene, er at frostproblematikken er litt oppskrytt. Benytter man omfyllingsmasser som ikke er telefarlige og som drenerer godt, og i tillegg iverksetter ekstra tiltak for å holde sluk og rister åpne før intense regnfall om vinteren, vil få problemer oppstå.

Forsøkene i klimalaboratoriet illustrerer at metodikken fungerer bra, og at det kan bygges videre på denne. Temperaturutviklingen på de ulike dybdene var i stor grad som forventet, sett bort fra noen uventede resultater i forsøk 1. Det som overasket mest, var den lange responstiden. Dette gjorde at ikke alle tiltenkte forsøk ble utført, men potensialet for å gjennomføre utallige forsøksserier med modellen i framtiden er absolutt tilstede. De mest spennende forsøkene vil være når vann inkluderes. Ved å kombinere flere forsøk i klimalaboratoriet med framtidige målinger fra anlegget på Trandum, er det potensielt mulig å øke kunnskapen om emnet. Intervjuene med de ulike kommunene stadfestet at det benyttes få grunne løsninger, spesielt i områdene med større frostmengder. Som beskrevet er det flere fordeler med grunne overvannsystem, og ved hjelp av dokumentasjon fra denne rapporten, samt videre forskning om emnet, vil bruken av grunne løsninger etter all sannsynlighet øke i framtiden.

9. VIDERE ARBEID

Arbeidet i denne studien utgjør kun startskuddet for dette forskningsområdet. Det er fremdeles mange ubesvarte spørsmål, og mer forskning er nødvendig for å få dokumentert opptreden til systemene ved ulike situasjoner. Etersom ingen målinger ble registrert på Trandum denne vinteren, er det et uforløst potensial av kunnskap og forskningsmateriale å hente derfra de kommende årene. Målingene bør analyseres og vurderes opp mot eksisterende forskning fra denne rapporten, og resultatene kan benyttes til å modifisere framtidige forsøk i laboratoriet. Selve metodikken for forsøkene i klimalaboratoriet er utviklet i denne studien, men denne kan justeres, og utallige forsøk kan gjøres i framtiden for å øke kunnskapen.

Det bør vurderes å installere kamera både innvendig i Qmax-røret og på overflaten på Trandum, slik at temperaturmålingene som registreres neste vinter enkelt kan sammenlignes mot observasjoner. Dette vil øke informasjonsgrunlaget fra målingene, og i større grad knytte målingene til situasjoner som oppstår. Om det ikke installeres kamera inne i røret, bør det gjennomføres hyppige CCTV-undersøkelser. Det anbefales uansett at det gjennomføres en CCTV-undersøkelse før neste vinter, og i etterkant av neste sesongs vinter. Man vil da kunne sammenligne dataene, og få dokumentert om frosten har påført røret noen skader eller ikke.

Det vil være hensiktsmessig å gjennomføre en ny masteroppgave neste år som bygger videre på denne rapporten. Da får man dokumentert en vintersesong med målinger fra anlegget på

Trandum, i tillegg til å gjennomføre forsøk i klimalaboratoriet. Fokuset denne våren var å bygge opp en metodikk som fungerte i laboratoriet, og utallige forsøk kan gjennomføres med den samme modellen. Jo flere forsøk som utføres per rør, jo mer øker sammenligningsgrunnlaget mellom de ulike rørene og målingene fra Trandum. For hvert enkelt rør kan det gjennomføres målinger med større variasjoner av overdekning, annerledes plassering av termoelementene, ulik helning på røret, bruk av andre omfyllingsmasser, andre lufttemperaturer, kontinuerlig vannstrømning gjennom røret og ved vannmettede omfyllingsmasser. Potensielt kan det gjennomføres et titalls forsøk per rør. Det er selvsagt også nødvendig å gjennomføre de samme testene for slisserenner og Qmax-rør. Dersom den samme modellen skal benyttes for testing av Qmax-rør må den bygges ca. 30 cm høyere. Denne testingen er viktig for å kunne sammenligne opptreden til de grunne systemene mot opptreden til de tradisjonelle rørene av plast og betong. Det må vurderes nøye hvilke forsøk som skal prioriteres i framtiden, men det anbefales et ekstra stort fokus på å gjennomføre forsøk med vannmettede masser og kontinuerlig vannstrømning gjennom røret. Som tidligere beskrevet bør man også teste systemet for daglig frysing/tining, enten ved å stille inn temperaturen i rommet på 0 °C, eller ved å manuelt stille rommet inn på kuldegrader om natten og varmegrader om dagen. Det bør vurderes å installere et kamera innvendig i røret slik at observasjoner kan knyttes opp mot måleresultatene. Et alternativ er å videreutvikle modellen ved å etablere et pleksiglass på den ene siden, slik at det er mulig å kikke inn i røret. Det var i utgangspunktet tiltenkt å etablere en slik løsning i denne studien, men det ble forkastet ettersom byggeprosessen ville blitt mer omfattende og dermed tatt lenger tid.

Det skal også nevnes at slisserennene ved Åsveien skole kun er observert gjennom en vintersesong med lite utfordrende vær. Det bør vurderes å gjennomføre observasjoner av dette anlegget i flere vintersesonger, for å få dokumentert hvordan det fungerer med andre og mer utfordrende værforhold. Det kan selvsagt vurderes å montere noen kamera for å unngå fysisk tilstedeværelse, men man får ikke den samme oversikten dersom man ikke er fysisk tilstede. Et annet framtidig tiltak som kan utføres, er å intervju flere kommuner for å dokumentere erfaringene bedre, og få tak i personer spesifikt fra driftsavdelingen. Spesielt om noen år kan dette være aktuelt, når erfaringene sannsynligvis er flere, ettersom bruken av grunne løsninger i større grad er forventet i framtiden. Samtidig er rask dokumentasjon av opptreden til de grunne systemene om vinteren en nøkkelfaktor for at flere kommuner tar i bruk slike systemer.

10.REFERANSELISTE

- Aco Nordic (u.å) *Aco Vei og anlegg S100 K*. Tilgjengelig fra: http://www.aco-nordic.no/media/722535/ACO_NO_K1_S100K.pdf (Hentet 20. mars 2019)
- Akyurt, M., Zaki, G. og Habeebullah, B. (2002) Freezing phenomena in ice-water systems, *Energy Conversion and Management*, 43(14), s. 1773–1789. doi: 10.1016/S0196-8904(01)00129-7
- Andersen, O.E. (2015) Åsveien skole og idrettshall, *Byggeindustrien.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1231009> (Hentet 4. februar 2019)
- Andersland, O.B. og Ladanyi, B. (2004) *Frozen ground engineering*. 2 utg. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bjerke *et al.* (2015) Impacts of snow season on ground-ice accumulation, soil frost and primary productivity in a grassland of sub-Arctic Norway, *Environmental research letters*, 10(9). doi: 10.1088/1748-9326/10/9/095007.
- Bjerkholt, J.T. og Vigurust, E. (2002) *Bedre hydrotekniske løsninger-Nedløpskummer og utløp*. (ITF rapport 123/2002). Oslo: Norges landbrukshøgskule, Institutt for tekniske fag. Tilgjengelig fra: <http://regionkontorlandbruk.no/wp-content/uploads/2015/10/NETTSIDE.pdf> (Hentet 1. februar 2019)
- Caraco, D. og Claytor, R. (1997) *Stormwater BMP design supplement for Cold Climates*. Elliot City: Center for Watershed Protection. Tilgjengelig fra: https://www.in.gov/indot/files/BMP_Design_Cold_Climates.pdf (Hentet 2. februar 2019)
- Carey, K.L. (1977) *Solving problems of ice-blocked drainage facilities*. (Special report 77–25). Hanover, New Hampshire: Cold Region Research and Engineering Laboratory. Tilgjengelig fra: http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en_US/default/index.assetbox.assetactionicon.view/1027722/?rm=ERDC+DIGITAL+R0%7C%7C%7C1%7C%7C%7C0%7C%7C%7Ctrue (Hentet 17. november 2018)
- Colleuille *et al.* (2001) *Infiltrasjonsprosesser i frossen jord på Gardermoen*. (Rapport nr 8–2001). Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapport/2001/oppdragsrapport2001_08.pdf (Hentet 25. januar 2019)
- Coutermarsh, B.A. og Carbee, D.L. (1998) *Frost-shielding methodology and demonstration for shallow burial of water and sewer utility lines*. (Report 98–4). Hanover, New Hampshire: Cold Region Research and Engineering Laboratory. Tilgjengelig fra: http://coldregionsresearch.tpub.com/CR98_04/CR98_040007.htm (Hentet 21. november 2018)

- Cowi (2013) *Frostsikring av VA ledninger og kummer*. (VA/Miljø-blad 109). Drammen: Stiftelsen VA/Miljøblad. Tilgjengelig fra: <http://www.va-blad.no/frostsikring-av-va-ledninger-og-kummer/> (Hentet 2. februar 2019)
- Eggestad, Å. og Gregersen, O. (1983) *Telens innflytelse på nedgravde rør*. (PTV24). Oslo: Prosjekt transport av vann
- Gundersen, P (1992a) *Frostsikring av VA-ledninger-Frosttekniske grunnlagsdata*. (Byggforskserien 515.008). Oslo: Byggforsk
- Gundersen, P (1992b) *Lett kommunalteknikk-Hovedprinsipper*. (Byggforskserien A 515.004). Oslo: Byggforsk.
- Gundersen, P. (2005) *Frostsikring av husfundamenter og VA-ledninger i grunnen*. (Frost i jord 2005 nr. 108). Oslo: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190016/frost%20i%20jord%202005.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet 2. februar 2019).
- Habibian, A. (1994) Effect of temperature changes on water-main break, *Journal of transportation engineering-ASCE*, 120(2), s. 312–321. doi: 10.1061/(ASCE)0733-947X(1994)120:2(312)
- Hanssen-Bauer *et al.* (2015) *Klima i Norge 2100- Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning*. (NCCS report 2/2015). Oslo: Norsk klimaservicesenter. Tilgjengelig fra: <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M406/M406.pdf> (Hentet 13. mars 2019).
- Instones, A. (2005) *Klimaendringer og konsekvenser for fundamentering og infrastruktur i kalde strøk*. (Frost i jord 2005 nr. 108). Oslo: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/bitstream/handle/11250/190016/frost%20i%20jord%202005.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet 5. februar 2019).
- Jacobsen, D.I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser?* 3 utg. Oslo: Cappelen Damm Akademisk
- Jain *et al.* (2018) Ice formation modes during flow freezing in a small cylindrical channel, *International journal of heat and mass transfer*, 128, s. 836–848. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.051
- Johansen, Ø. og Frivik, P.E. (1976) *Grunnlag for termisk dimensjonering*. (Frost i jord 1976 nr. 17). Oslo: Norges teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd og Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/4917731-Resultatene-fra-frost-i-jord-prosjektet-er-dokumentert-i-a-kjos-formann-l-bjerrum-j-amble-k-flaate-l-bjerrum-t-27-2-73.html> (Hentet 25. mars 2019).

- Liereng, A. (2016) *Iskjøving i grøfter og skjæringer langs veg og jernbane*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2408406> (Hentet 13. februar 2019)
- Lindholm *et al.* (1999) *Urbaniserte områders påvirkning på flomforhold*. (Hydra-rapport nr. T02). Ås: Hydra. Tilgjengelig fra: <http://publikasjoner.nve.no/hydra/rapport/t02.pdf> (Hentet 13. februar 2019).
- Lindholm *et al.* (2008) *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. (Vol. 162, 2008). Hamar: Norsk Vann BA.
- Lindholm, O (2011) *Regnvannsoverløp. Status, krav og dokumentasjon av utslipp*. (01, 2011). Oslo: Vannforeningen. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2011_820096.pdf (Hentet 2. mars 2019).
- Merkesdal, I.A. (u.å:a) *SC slisserenne*. Tilgjengelig fra: <http://www.skjeveland.no/skjaeveland/4-overvannshaandtering/slisserenner/sc-slisserenne> (Hentet 1. november 2018).
- Merkesdal, I.A. (u.å:b) *Qmax: Dimensjonering/kapasitetsberegning*. Tilgjengelig fra: <http://www.skjeveland.no/skjaeveland/hovedmeny/montering-og-bruk/avlopsror-og-deler/qmax-dimensjonering-og-bruksomraader> (Hentet 1. november 2018).
- Merkesdal, I.A. (u.å:c) *Qmax Storm, Basal*. Tilgjengelig fra: <http://www.skjeveland.no/skjaeveland/4-overvannshaandtering/qmax-storm-basal> (Hentet 1. november 2018).
- Merkesdal, I. A. (2014) «Nye» slissrenner begeistrer. (VA forum nr 2–2014, 3.årgang). Oslo: Basal AS. Tilgjengelig fra: <http://vaforum.no/artikler/118/nye-slissrenner-begeistrer> (Hentet 1. november 2018).
- Milina, J. og Selseth, I. (2000) Flomforhold i urbane felt ved ekstreme langvarige og kortvarige avrenningshendelser, *Norsk vannforening*, 35(3). Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2000_30701.pdf (Hentet 10. februar 2019)
- NOU 2015:16 (2015) *Overvann i byer og tettsteder - som problem og ressurs*. Oslo: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon, Informasjonsforvaltning.
- Olsen, T. (2018) Kjeftsluk og regnbed svelger unna i Drammen, *VAnytt.no*. Tilgjengelig fra: <https://www.vanytt.no/2018/11/29/kjeftesluk-og-regnbed-svelger-unna-i-drammen/> (Hentet 20. mars 2019)
- Pericault *et al.* (2017) A novel freeze protection strategy for shallow buried sewer pipes: temperature modelling and field investigation, *Water science and technology*, 76(2), s. 294–301. doi: 10.2166/wst.2017.174

Reikvam, S. (2013) *Frostskader på drikkevannsledninger*. Masteroppgave. Universitetet for miljø- og biovitenskap, Ås. Tilgjengelig fra: <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/189006> (Hentet 18. februar 2019).

Statens vegvesen (2013) *Vannrelaterte skader langs E6 Biri-Otta, befarings etter flom, mai 2013*. (Rapport nr. 323). Oslo: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/attachment/692270?ts=148b11d8170&download=true&fast_title=Vannrelaterte+skader+langs+E6+Biri+-+Otta (Hentet 20. februar 2019)

Statens vegvesen (2018) *Lærebok Drenering og håndtering av overvann*. (Rapport nr. 681). Trondheim: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/attachment/2162096?ts=1617a9850d0&download=true&fast_title=L%C3%A6rebok%3A+Drenering+og+h%C3%A5ndtering+av+overvann+%28PDF%2C+9+MB%29 (Hentet 20. februar 2019)

Stenersen, J. (2013) *Overvannshåndtering i uterom*. Presentasjon fra Tromsø kommune v/ Jan Stenersen for landskapsarkitektutdanningen.

Time, B (2017) *Klima 2050- Annual Report 2017*. (Report No 8). Trondheim: SINTEF Academic Press. ISBN: 978-82-536-1570-7

Trøstaker, J. (2016) *Isdannelse og kjøving i stikkerenner, Utfordringer og mulige løsninger for jernbane og annen infrastruktur*. Masteroppgave. Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2449721> (Hentet 12. februar 2019)

van Ree *et al.* (2011) FloodProBE: technologies for improved safety of the built environment in relation to flood events, *Environmental Science & Policy*, 14 (7), s. 874–883. doi: 10.1016/j.envsci.2011.03.010

Zhan, C. og Rajani, B. (1997) Estimation of frost load in a trench: theory and experiment, *Canadian Geotechnical Journal*, 34(4) s. 568–579. doi: 10.1139/cgj-34-4-568

Zhang, T. (2005). Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview, *Reviews of Geophysics*, 43(4). doi:10.1029/2004RG000157

Ødegaard, H. (red.) (2014) *Vann og avløpsteknikk*. 2. utgave. Hamar: Norsk vann.

11 VEDLEGG

Oversikt:

Vedlegg 1: Resultater fra forsøk 1 i klimalaboratoriet

Vedlegg 2: Resultater fra forsøk 2 i klimalaboratoriet

Vedlegg 3: Resultater fra forsøk 3 i klimalaboratoriet

Vedlegg 4: Tegninger av modellen til klimalaboratoriet

Vedlegg 5: Journal for laboratoriearbeidet

Vedlegg 6: Befaringsrapport ved Åsveien skole

Vedlegg 7: Intervjuguide for slisserennene på Gardermoen

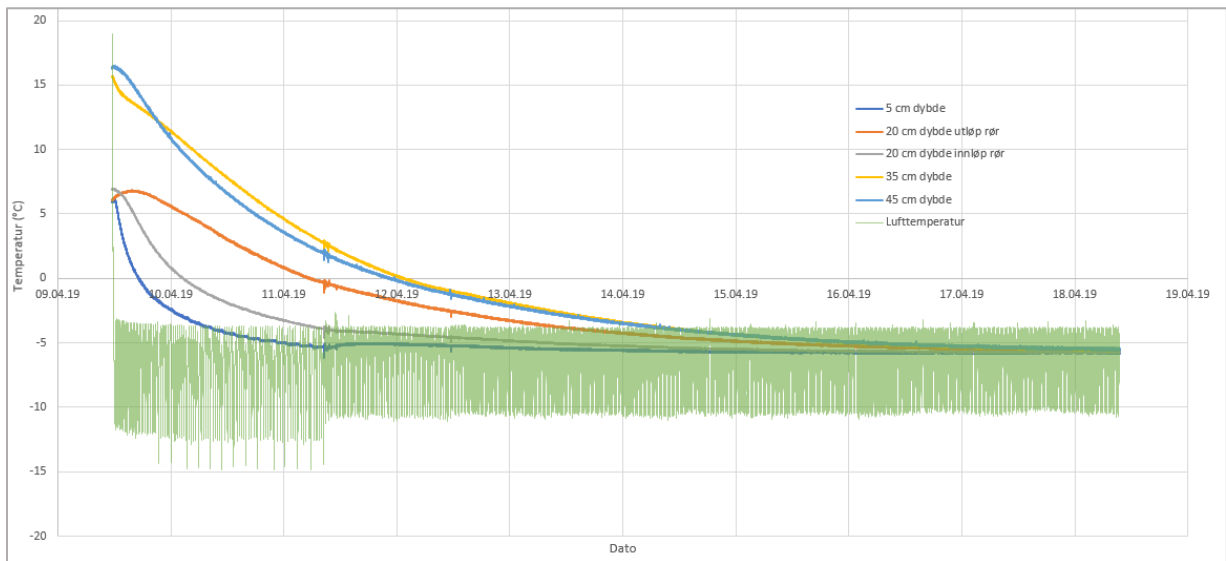
Vedlegg 8: Tegninger av overvannsystemer på Gardermoen

Vedlegg 9: Intervjuguide for Qmax Storm systemet på Trandum

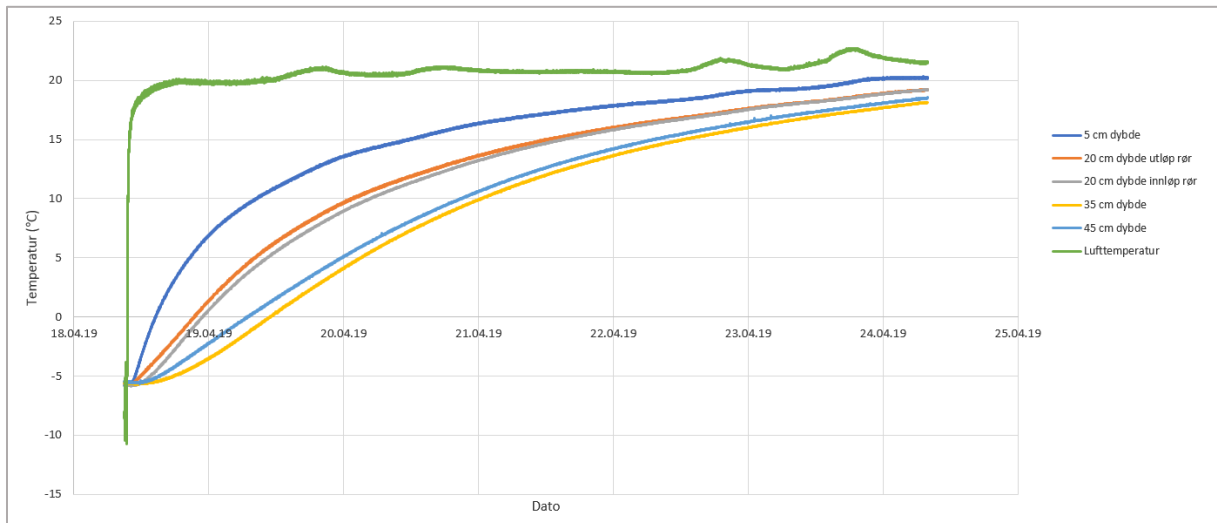
Vedlegg 10: Tegninger av Qmax Storm systemet på Trandum

Vedlegg 11: Intervjuguide for VA-personale fra ulike kommuner

Vedlegg 1: Resultater fra forsøk 1 i klimalaboratoriet

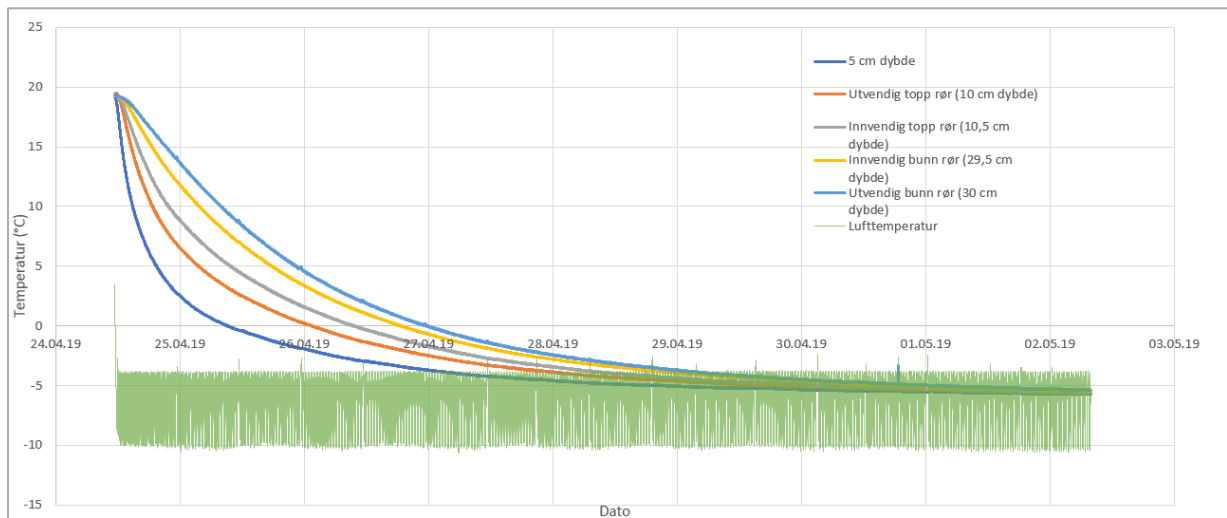


Figur 1.1. Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under nedfrysingen i forsøk 1.

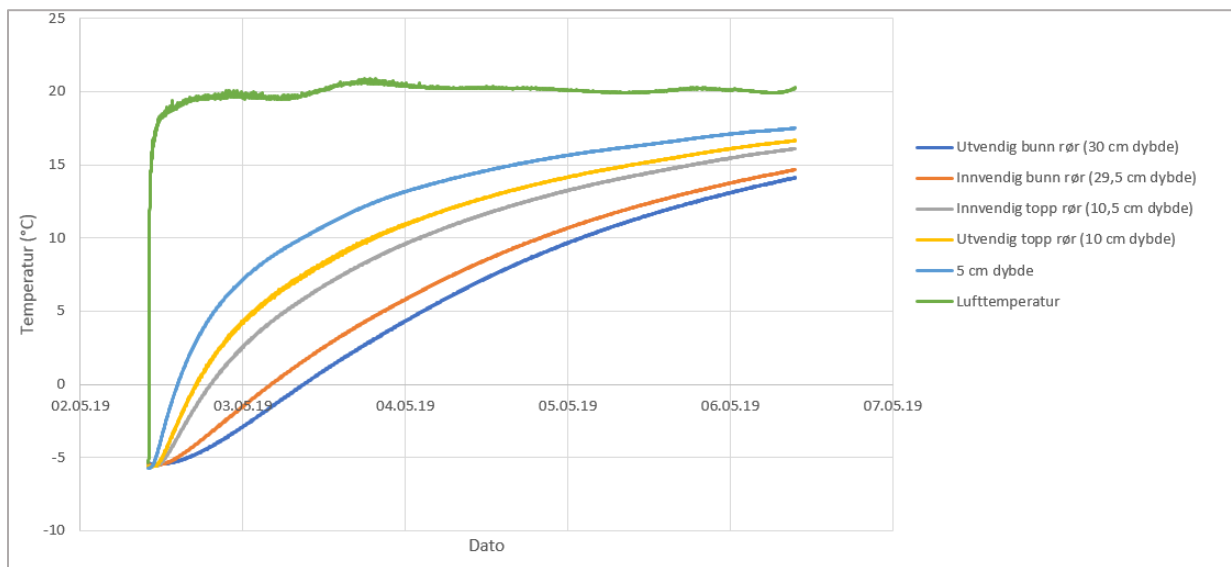


Figur 1.2. Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under oppthiningen i forsøk 1.

Vedlegg 2: Resultater fra forsøk 2 i klimalaboratoriet

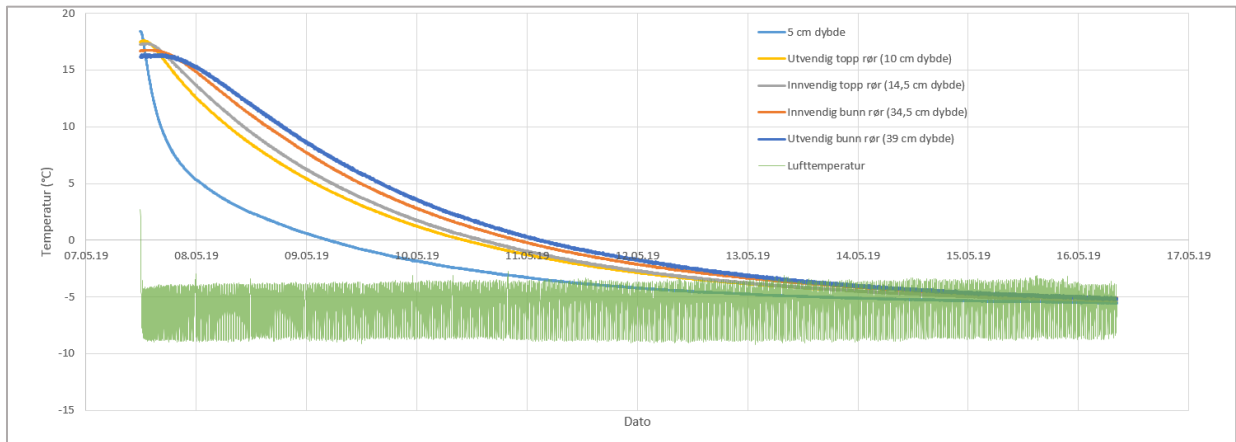


Figur 2.1 Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under nedfrysingen i forsøk 2.

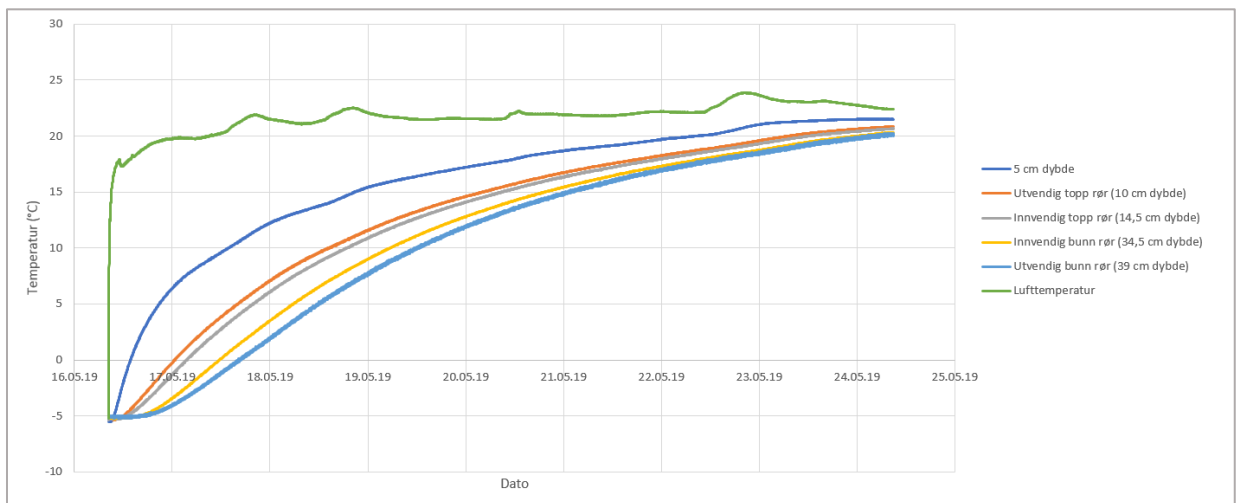


Figur 2.2 Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under opptiningen i forsøk 2.

Vedlegg 3: Resultater fra forsøk 3 i klimalaboratoriet

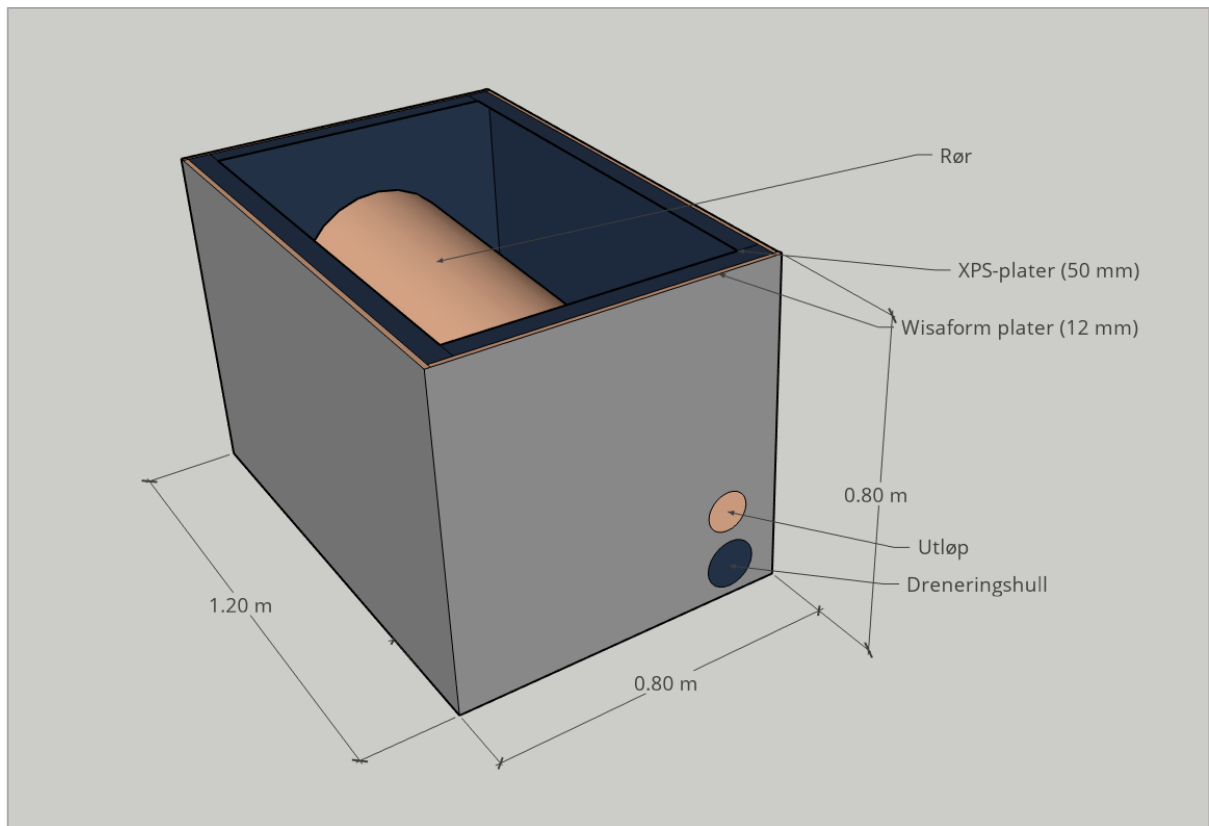


Figur 3.1. Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under nedfrysingen i forsøk 3.

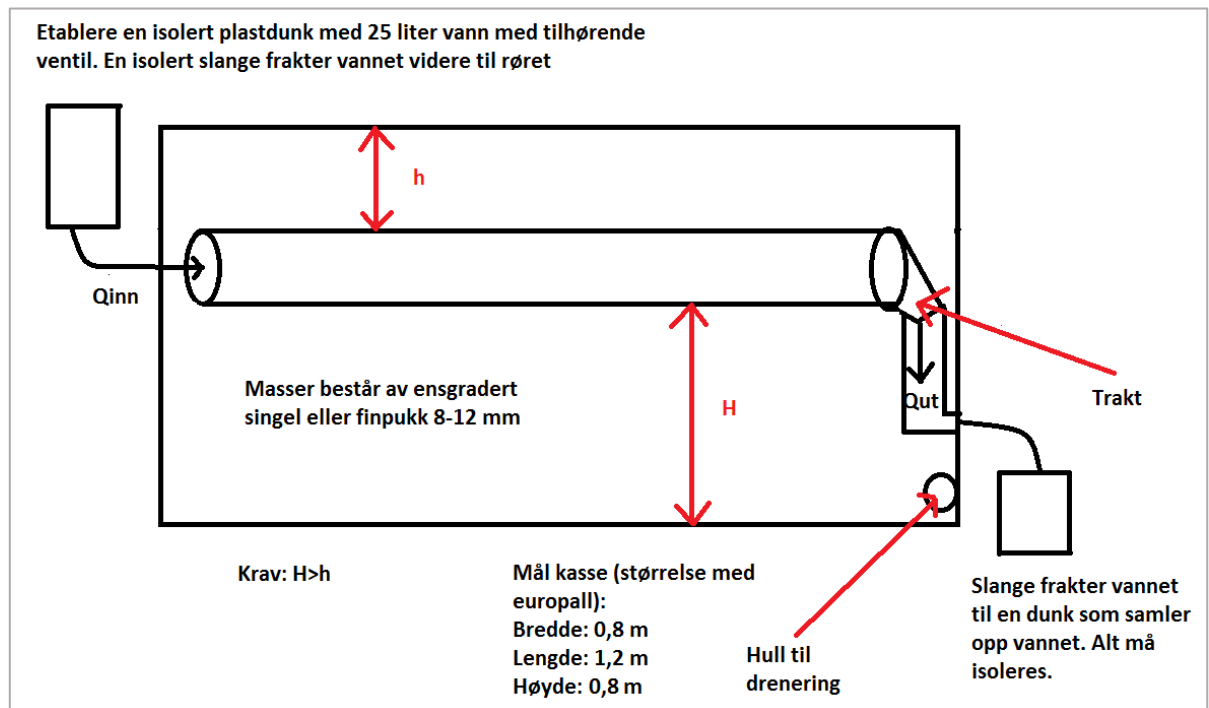


Figur 3.2 Grafen illustrerer temperaturutviklingen på de ulike dybdene vs. tiden under opptiningen i forsøk 3.

Vedlegg 4: Tegninger av modellen til klimalaboratoriet





Figur 4.1 3D- tegning av modellen.







Figur 4.2 Modell av det planlagte oppsettet ved kontinuerlig vannstrømning gjennom røret.

Vedlegg 5: Journal for laboratoriearbeidet

Dato	Tiltak
01.04.2019	Kassen ble bygget
02.04.2019	Finpukk 4–16 mm ble bestilt og ankom samme dagen
03.04.2019 – 09.04.2019	<p>De siste detaljene på modellen ble bygd slik at det var mulig å få til forsøk med kontinuerlig vannstrømning og vannmettede masser. På bildet til venstre er løsningen ved utløpet innvendig i kassen vist, med etablering av ei trakt for å frakte vannet ned i utløpsrøret. Bildet til høyre viser utløpsrøret på utsiden av kassen samt tappekranen i bunnen.</p> <div data-bbox="523 667 1353 981"></div>
09.04.2019	<p>Det første forsøket ble igangsatt kl. 11:25. Et 200mm PVC-rør var plassert nedi kassen med 10 cm overdekning, og tørre masser. Totalt ble kassen fylt opp med et lag på 55 cm finpukk. Termoelementer var plassert på 5, 20, 20, 35 og 45 cm dybde, i tillegg til et ekstra element som registrerte lufttemperaturen i rommet. Alle ble merket med riktig dybde. Ved oppstarten var romtemperaturen ca. 18 °C, men fryserommet ble innstilt på -5°C. Deler av finpukken som ble benyttet hadde stått ute i kulden, og noe var oppi kassen fra før av. Det var derfor litt ulike starttemperaturer på de ulike dybdene i modellen. Målinger ble logget hvert 10 sekund. Bildet til venstre illustrerer fryserommet med tilhørende vifter, og bildet til høyre viser PVC-røret som ble benyttet med tilhørende endeplate.</p> <div data-bbox="598 1637 1281 2022"></div>

	<p>I bildet under var alle termoelementene ferdig koblet, og modellen klar til testing.</p> 
09.04.2019	<p>Plastdunken som skulle benyttes ved kontinuerlig vannstrømning ble fylt opp med 25 liter vann for å teste hvor lang tid det tok å tømme denne. Det ble testet med ulike åpningsvinkler på tappekranen, og tiden per liter ble registrert. Ved full åpning av tappekranen ble 1 liter vann fraktet ut på ca. 40 sekunder, mens med en mer begrenset åpning på tappekranen var det mulig å frakte kontinuerlig vann så sakte at det tok 30 minutter per liter.</p> 
18.04.2019	<p>Temperaturene i massene hadde endelig stabilisert seg, og forsøk 1 ble dermed avsluttet. Opptiningsprosessen ble registrert med det samme måleutstyret og den samme plasseringen av termoelementene. Modellen stod i et rom med standard romtemperatur. Målingene fra nedfrysingen ble studert, og det ble besluttet at det ikke var nødvendig å kalibrere termoelementene.</p>
24.04.2019	<p>Opptiningsprosessen ble avsluttet kl. 08:20, og klargjøringen til forsøk 2 startet. Kassen ble fraktet til et annet rom der det var lagt ut en liten duk på gulvet slik at deler av massene kunne bli spadd ut av kassen for å</p>

	<p>klargjøre forsøk 2, illustrert under i bildet til venstre. Ettersom det var fokus på å se på temperaturgradienten i rørveggen ble det plassert termoelementer innvendig og utvendig i bunnen og toppen av PVC-røret. Det siste termoelementet plassertes på 5 cm dybde. Alle termoelementene ble plassert på samme sted i kassen, 30 cm fra endestykket til innløpet av røret. Endestykkene var isolert med standard isolasjonsmateriale for å unngå sideveis påvirkning, illustrert i bildet til høyre. De samme massene ble plassert oppi kassen igjen, og et nytt forsøk igangsatt kl. 11:20. Loggertiden var justert fra 10 sekund til 30 sekund på grunn av at forsøkene løpte over en mye lenger periode enn forventet.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
02.05.2019	<p>Temperaturene i massene begynte å stabilisere seg, og det ble derfor besluttet å avslutte nedfrysingen av forsøk 2. Viftene ble skrudd av, og optningen startet umiddelbart i det samme rommet.</p>
06.05.2019	<p>Tiningen ble avsluttet kl. 09:59. Klargjøringen av forsøk 3 startet, og store deler av massene ble spadd ut fra kassen på en plastduk. PVC-røret ble erstattet med et betongrør med innvendig diameter på 200 mm, illustrert under i bildet til venstre. Termoelementene var plassert på samme sted som i forsøk 2. Det må presiseres at betongrøret var ganske kaldt før det ble gravd ned. Nye endestykker ble laget for å tilpasse de til den økte diameteren. Isolasjonen var noe annerledes i dette forsøket grunnet mangel på isolasjonen som ble benyttet i forsøk 2. Foran innløpet ble det lagt en 30 mm tykk EPS-plate, illustrert i bildet til høyre.</p> <p>Forsøket skulle egentlig starte denne dagen, men på grunn av at betongrøret var tykkere enn plastrøret var det nødvendig med mer</p>

	<p>finpukk for å få 10 cm overdekning. Finpukken hadde stått ute og var litt kald og fuktig. Det ble derfor besluttet å ta inn noe av denne massen og la den tørke en dag slik at forsøksbetingelsene ble så like som mulig. Finpukken ble strødd utover gulvet i et rom med standard romtemperatur.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
07.05.2019	<p>Forsøk 3 ble igangsatt kl. 11:39. Massene hadde blitt både tørre og varme. De siste 5 cm med finpukk ble spadd oppi kassen før alt ble tilkoblet.</p>
16.05.2019	<p>Temperaturene i massene begynte å stabilisere seg, og det ble derfor besluttet å avslutte forsøk 3. Viftene ble skrudd av, og opptiningen startet.</p>
24.05.2019	<p>Registreringen av opptiningen til forsøk 3 ble avsluttet kl. 09:00.</p>

Vedlegg 6: Befaringsrapport ved Åsveien skole

Befaring 26.01.2019:

Temperatur: -4,5 °C

Nedbør: 0,0 mm

Værsituasjon i perioden før: Mye snø og kalde temperaturer

Dette var den første befaringsrapporten som ble gjennomført. Ingen kart over plasseringen til slisserennene var studert på forhånd. Befaringen ble gjennomført i en periode med kalde temperaturer og mye snø, og ettersom slisserennene var dekket av snø og is var det ikke mulig å finne ut hvor de var lokalisert.

Befaring 02.02.2019:

Temperatur: -5,3 °C

Nedbør: 0,0 mm

Værsituasjon i perioden før: Mye snø og kalde temperaturer

Etter å ha studert kart over hvor slisserennene var plassert, ble det gjennomført en befaring for å dokumentere tilstanden til slisserennene. Som bildene under illustrerer var det ikke mulig å se noen av slisserennene selv om lokalisasjonen var kjent.



Befaring 07.02.2019:

Temperatur: 0,4 °C

Nedbør: 0,6 mm

Værsituasjon i perioden før: Stabilt kaldt før det ble et værskifte med høyere temperaturer på befaringsdagen.

På denne befaringen ble utløpet til slisserennen som frakter vann til det åpne vannspeilet gravd fram med spade for å dokumentere tilstanden inni slisserennen. Det var meldt mildværdene kommende dagene, og derfor veldig viktig gjennomføre denne befaringen. Utstyret til å grave fram slisserennen ble lånt av skolen. Det ble ikke observert snø eller is inne i slisserennen, kun snø litt under slukristen. Denne snøen falt etter all sannsynlighet ned gjennom slukristen da slisserennen ble gravd fram. Bilder fra befaringen kan sees under:





Befaring 14.02.2019:

Temperatur: 6,9 °C

Nedbør: 1,8 mm

Værsituasjon i perioden før: Mildvær med plussgrader og regn.

Hensikten med denne befaringen var å dokumentere tilstanden til slisserennene etter den første perioden med høye temperaturer og nedbør som regn. Mesteparten av snøen og isen på overflaten hadde smeltet, og to av de tre rennene var synlige. Innløpene og utløpene til slisserennene var derimot dekket av snø. Smeltingen gikk veldig raskt, men det ble observert overaskende lite synlig vann på overflaten. Det var kontinuerlig vannstrømning gjennom slisserennene, og ingen tegn til snø eller is inne i rennen. Selv om utløpene og det åpne vannspeilet var dekket snø så det ut til at vannet klarte å finne veien gjennom snøen, og ned mot fordrøyningsbassenget. Rennene så dermed ut til å fungere både ved stabile kalde temperaturer og snø, og ved rask smelting med høye temperaturer. Dette var ingen overaskelse ettersom rennen ikke hadde snø eller is innvendig på den forrige befaringen. Det ble ikke observert kritiske mengder vann på overflaten, men ved intens nedbør ville det sannsynligvis sett annerledes ut. Bilder fra befaringen er vist under, legg spesielt merke til det nederste bildet til venstre der slisserennen er helt dekket av is. Det øverste bildet til høyre viser at det åpne vannspeilet var dekket av snø/slaps/vann.



Befaring 16.02.2019:

Temperatur: 2,8 °C

Nedbør: 0,6 mm

Værsituasjon i perioden før: Mildvær med plussgrader og regn

Grunnet plussgrader og regn de to dagene etter forrige befaring, ble det gjennomført en ny befaring for å dokumentere hvor mye dette hadde påvirket tilstanden til slisserennene. Det var også fokus på om dette hadde ført til mye synlig overvann på overflaten. Det hadde overaskende nok smeltet lite siden sist befaring, men denne gangen var alle de tre slisserennene synlige, selv om kun deler av den ene rennen var synlig. Denne rennen er illustrert på det øverste bildet til venstre. Få innløp og utløp var synlige, om de var synlige var

de hvertfall delvis dekket av snø, illustrert på bildene til høyre. Det var lite synlig overvann, men det hadde stort sett bare hvert høye temperaturer og lite nedbør den siste tiden.



Befaring 26.02.2019:

Temperatur: 5,9 °C

Nedbør: 0,3 mm

Værsituasjon i perioden før: Mildvær med plussgrader og lite regn

Etter en lengre periode med mildvær og lite nedbør var det interessant å observere hvor mye som hadde smeltet. Det var nå mulig å se alle slisserennene, men rennen tilknyttet det åpne vannspeilet var dekket av is noen steder. Det hadde også samlet seg overaskende mye vann ved siden av denne slisserennen. Slukristen og grøftene rundt var fylt med vann, som vist i det nederste bildet til venstre. Ved de to andre slisserennene ble det ikke observert problemer med

vann på overflaten, illustrert i de to øverste bildene. Innløpene og utløpene var i ferd med å bli fri for snø, men det åpne vannspeilet hadde en stor samling av snø.



Befaring 07.03.2019:

Temperatur: -3,0 °C

Nedbør: 0 mm

Værsituasjon i perioden før: Minusgrader og snø

Det kom nysnø dagene før befaringsen og slisserennene var dekket med snø og is. To av de tre utløpene var nesten helt fri for snø og is, se vedlagte bilder. Ved utkanten av den ene rennen ble det observert noe løssnø og is, men ingenting inne i rennen. Situasjonen var dermed mye bedre enn tidligere i vinter da man måtte grave fram utløpene. Snøen og isen over

slisserennene vil skape problemer få, grunnet den antakligvis vil smelte raskt. Bilder fra befaringen er vist under:



Befaring 19.03.2019:

Temperatur: 3,1 °C

Nedbør: 1,7 mm

Værsituasjon i perioden før: Plussgrader om dagen og minusgrader om natten, lite nedbør

Etter en lang periode med smelting om dagen og frysing om natta var det på tide å gjennomføre en ny befaring. Årsaken til befaringen er at det var meldt en del nedbør de kommende dagene, og derfor viktig å få dokumentert tilstanden til systemet før dette oppstod.

Tilstanden ved rennene var litt overaskende, mindre hadde smeltet enn forventet. Interessante observasjoner var:

- utløpet til slisserennen i midten var dekket av snø
- nesten hele den øverste slisserennen var dekket med snø og is, mens de to andre var helt fri. Dette er illustrert i det øverste bildet til venstre.
- det dannes fortsatt dammer ved siden av den nederste slisserenne, se øverste bilde til høyre. Dette kan ha ein sammenheng med at innløpet var dekket av snø og is. I denne rennen ble det for første gang observert stillestående vann, vist i de nesterste bildene.
- mye snø og is i det åpne vannspeilet
- litt klomper med slaps i røret, men ikke skikkelig is.



Befaring 26.03.2019:

Temperatur: 1,3 °C

Nedbør: 3,8 mm

Værsituasjon i perioden før: To dager med mye snø og temperaturer rundt 0 °C

Nedbøren av regn som var forventet slo ikke til, derfor ble det ikke gjennomført en befaring rett etter den forrige befaringen. Det var noen dager med høye temperaturer og litt regn (ca. 5 mm per dag). Deretter kom det plutselig 33 mm snø den 24. og 25. mars. Dette gjorde at det var nødvendig med en ny befaring for å dokumentere tilstanden før en eventuell ny periode med høye temperaturer.

Gangveien som slisserennene krysser var brøytet, men det lå såpass mye snø og slaps over rennene at det var vanskelig å se dem. Ingen av utløpene eller ristene var veldig synlige, men som skissert på de øverste bildene var både utløpet til den øverste og nederste slisserennen mulig å se. Selv om rennene var dekket av snø var de i en helt annen forfatning enn tidligere i vinter til å ta imot regn, grunnet snøen ikke var like kompakt. Inne i rennene var systemet fortsatt isfritt, men noe snø/slaps ble observert nære utløpet til den ene rennen, illustrert i det øverste bildet til høyre. Dette oppstod sannsynligvis på grunn av at brøytet snø hadde falt ned i slukristen. Systemet var i stand til å håndtere relativt store regnfall ved dagens tilstand. Bilder fra befaringen er vist under:





Befaring 28.03.2019:

Temperatur: 9 °C

Nedbør: 1,4 mm

Værsituasjon i perioden før: Høye temperaturer og lite nedbør

Det hadde vært ekstremt høye temperaturer, og derfor var det interessant å se hvor mye det hadde smeltet. Det viste seg at det hadde smeltet overaskende raskt. Alle slisserennene, slukrister, innløp og utløp var helt fri for snø og is. Ved de to øverste slisserennene hadde lite vann samlet seg opp, i motsetning til ved den nederste rennen der innløpet var fylt med vann helt opp til toppen av slukristen. I tillegg var grøftene bort til innløpet, og det åpne vannspeilet fylt med vann. Likevel så alt ut til å fungere utmerket, det var ikke noen synlige problemer med overvannshåndteringen. Den raske smeltingen samsvarer med hypotesen fra sist befaring, om at det bare var våt snø og slaps som hadde kommet. Det gjorde at snøen smeltet veldig raskt. I hovedsak var det de høye temperaturene som førte til smeltingen, lite nedbør oppstod. Systemet hadde fått utfordret seg mer om det kom store regnfall i kombinasjon med smeltingen. Dette var den siste befaringen grunnet det i perioden etter kun var høye temperaturer. Bilder fra befaringen er vist under:



Vedlegg 7: Intervjuguide for slisserennene på Gardermoen

Invitasjon til intervju supplert med intervjuguide

Hei,

Jeg viser til telefonsamtalen med Per Espen i går. Jeg er student ved Bygg og miljøteknikk ved NTNU, med spesialisering innenfor Vann og miljø. Denne våren skriver jeg masteroppgaven min, som handler om hvordan frosten påvirker grunne overvannsystemer. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Storm Aqua og forskningsprosjektet KLIMA2050. Beskrivelsen av oppgaveteksten min er som følge:

Klimaendringer og større andel tette flater fører til at større mengder overvann skal håndteres. Tradisjonelt har dette foregått ved å legge overvannsledninger på frostfritt dyp og forbinde dem med rister på overflaten. Det er imidlertid kostbart og tidkrevende å legge dype ledninger. Løsninger er derfor utviklet for å håndtere overvann på grunt nivå. Et eksempel er slisserenner som blant annet benyttes på flyplasser. På Gardermoen har slike slisserenner vært brukt i mange år. Et annet eksempel er Qmax Storm (ovalt rør) som legges grunt under overflaten for å håndtere veivann og takvann. Det er imidlertid en del spørsmål rundt funksjon i frostvær og i perioder med frysing/tining.

I oppgaven skal jeg mellom annet:

- følge opp et testprosjekt bestående av et Qmax Storm system som Storm Aqua etablerer på Trandum
- sette opp et forsøk i klimalaboratoriet til SINTEF
- innhente erfaringer om bruk av slisserenner om vinteren
- observere slisserenner som nylig er etablert ved Åsveien skole i Trondheim

Her er noen av spørsmålene jeg ønsker å få svar på når vi møtes:

- 1) Når startet dere å ta i bruk slisserennene?
- 2) Hva var årsaken til at dere valgte å legge slisserenner?

- 3) Hvor mange kilometer med slisserenner har dere på Gardermoen?
- 4) Hvor ledes vannet fra slisserennene til?
- 5) Hvilke dimensjoner har slisserennene?
- 6) Hvilken konfigurasjon har slisserennene?
- 7) Er slisserennene lagt med eller uten fall?
- 8) Var dere bekymret for frostproblematikken med slisserenner da dere tok dem i bruk?
- 9) Synes dere slisserennene fungerer like bra om vinteren som om sommeren?
 - a) Iverksetter dere spesielle tiltak om vinteren for å sikre at slisserennene fungerer som de skal?
- 10) Går slissene ofte tett om vinteren på grunn av is, snø eller slaps?
 - a) Utfører dere spesielle tiltak for å unngå dette?
- 11) Er det ofte stillestående vann i rennene som fryser til, slik at det dannes mye is i rennene?
- 12) Er det noen spesielle værforhold som er ekstra krevende å håndtere for slisserennene?
 - a) Klarer rennene for eksempel å ta unna alt vannet ved kraftig nedbør på frossen grunn?
- 13) Har dere opplevd frostsprengning av slisserennene?
 - a) Om det har skjedd, har dere konkludert med årsaken til dette og iverksatt tiltak?
- 14) Opplever dere noen problemer med skader på slisserennene i forbindelse med vintervedlikeholdet av flyplassen?
- 15) Påvirker vintervedlikeholdet funksjonen til slisserennene?
- 16) Hvor ofte pleier dere å skifte ut rennene?
- 17) Har dere noe statistikk over vedlikehold/reparasjon/utskiftning på slisserennene?
- 18) Er det noen vintersesonger som har utmerket seg med tanke på problemer med slisserennene?

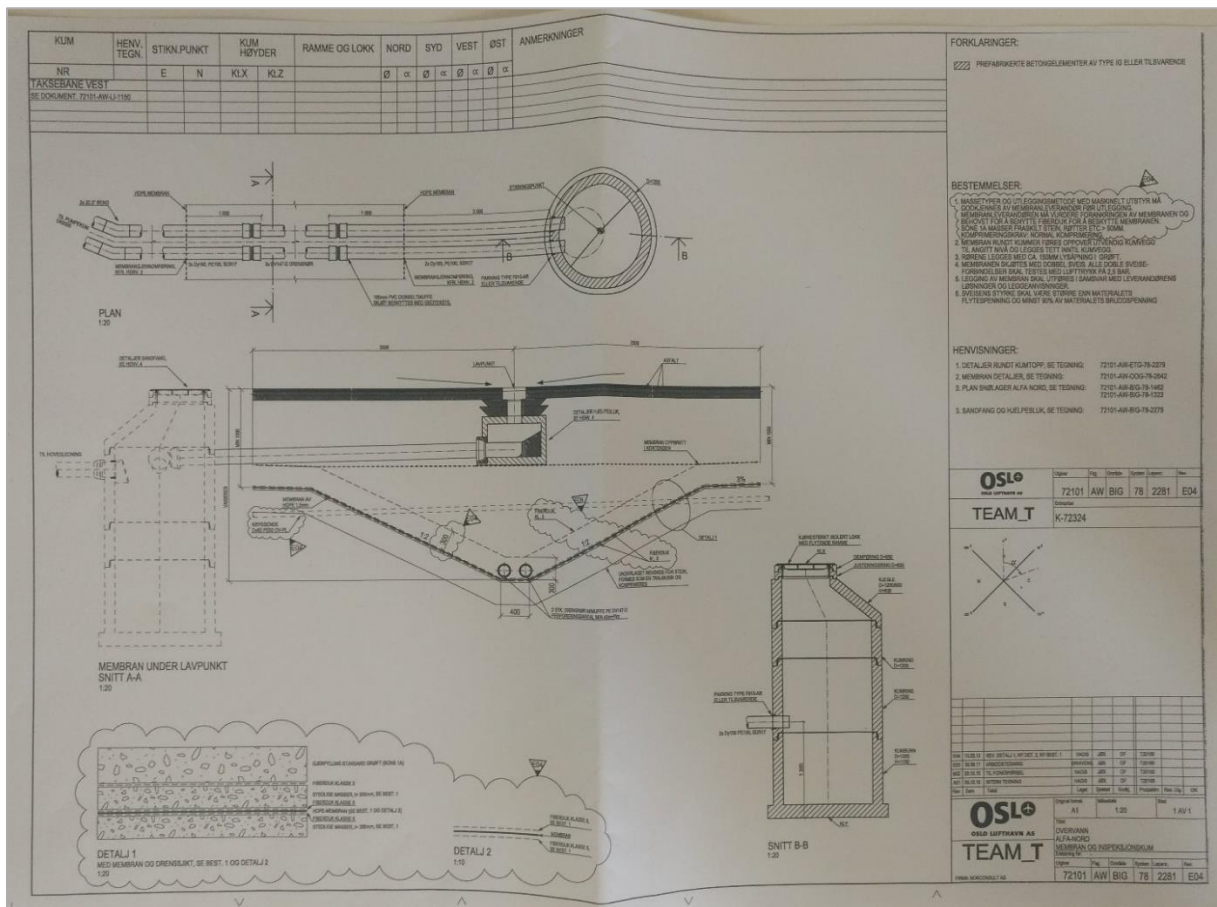
Vi ble enige om møtes den kommende uken, i tidsrommet 6–8 februar. Har dere blitt enige om et tidspunkt som passer bra? Jeg bestiller meg flybilletter når jeg får klarert et tidspunkt.

Jeg ser fram til møtet!

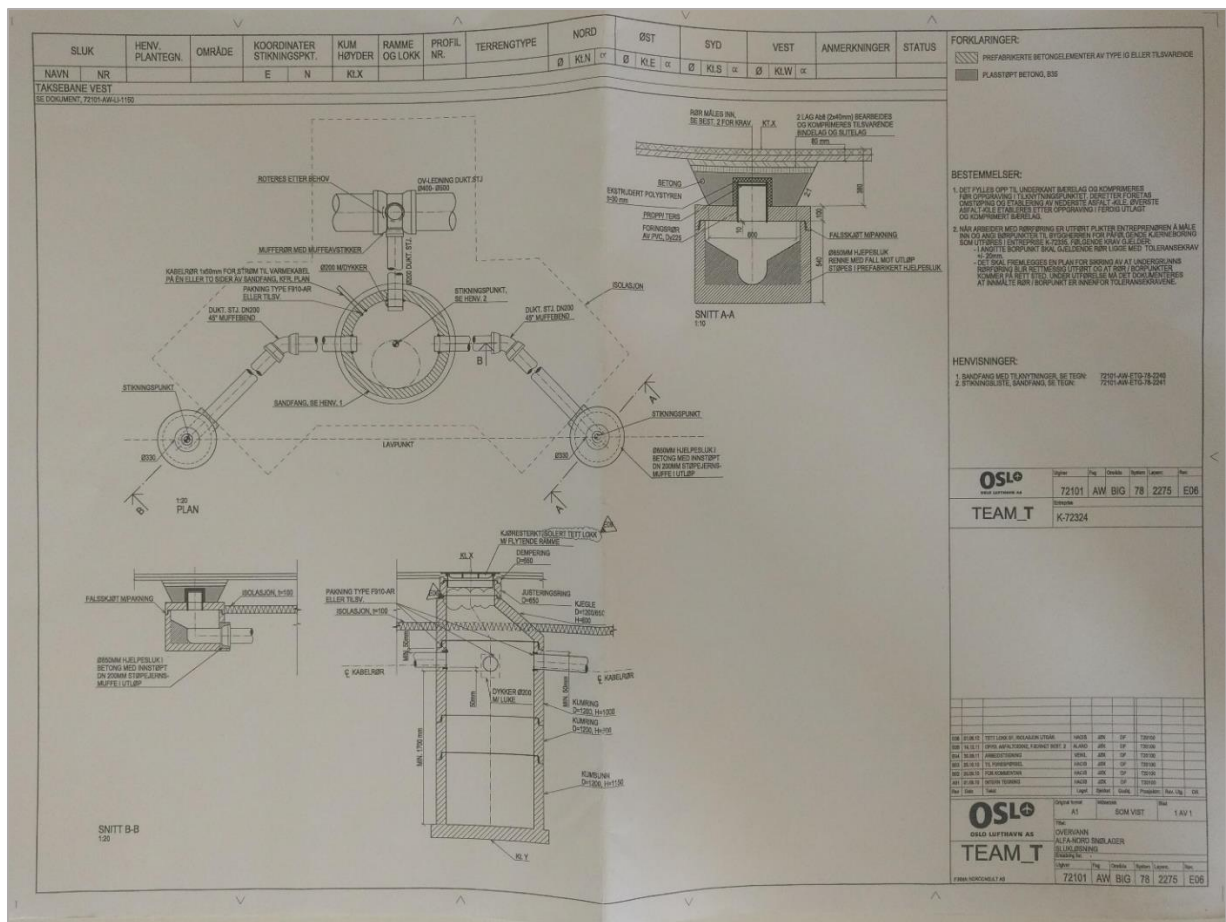
Med vennlig hilsen

Asbjørn Rafdal

Vedlegg 8: Tegninger av overvannsystemer på Gardermoen



Figur 8.1. Illustrasjon av membranløsningen under slisserennene ved avisningsplattformen.



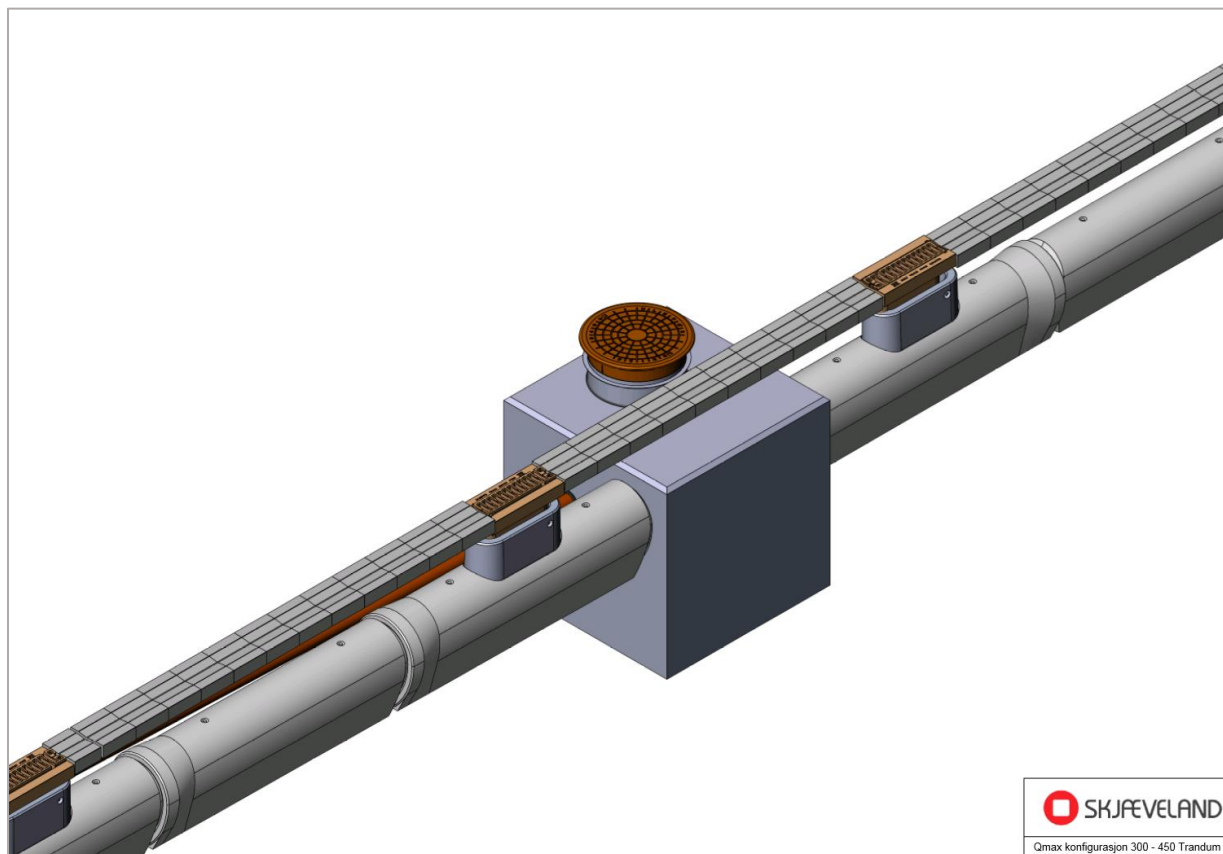
Figur 8.2. Illustrasjon av slukløsningen som erstattet slisserennene ved den ene avisningsplattformen.

Vedlegg 9: Intervjuguide for Qmax Storm systemet på Trandum

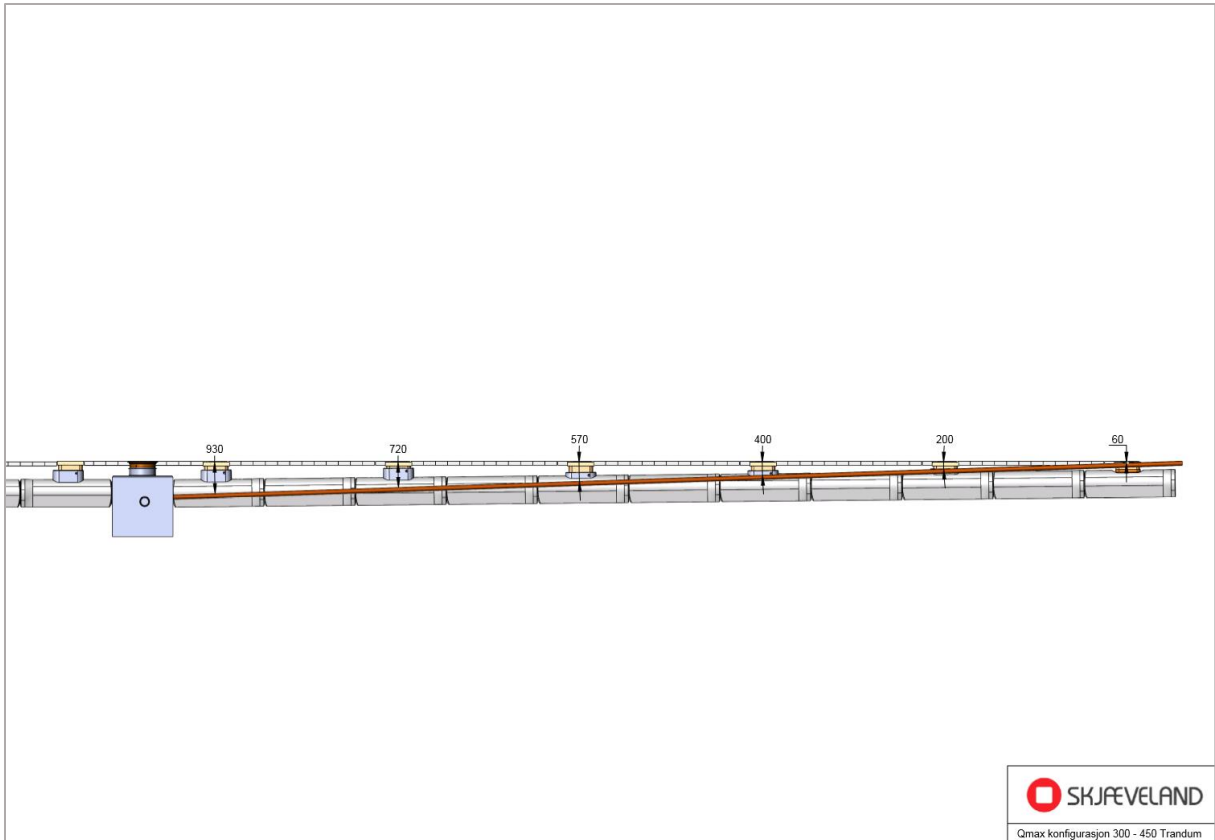
Spørsmål:

- 1) Hvordan har vinteren i området vært?
- 2) Hvordan synes du Qmax Storm systemet har fungert denne vinteren?
 - a) Hva har fungert bra med dette systemet i forhold til andre overvannsystemer du har kunnskap/erfaringer om?
 - b) Hva har ikke fungert så bra med systemet?
- 3) Har du observert noen problemer på overflaten under befaringene?
 - a) Har for eksempel dammer blitt dannet på overflaten?
 - b) Har slukristene vært tettet av snø og is etter at de frigjort på befaringen 08.02.2019?
- 4) Har du observert isdannelse nedi røret?
 - a) Har røret blitt tett i løpet av vinteren?
- 5) Hvordan tror du systemet hadde taklet store nedbørsmengder av regn før slukristene ble frigjort for det 7–8 cm tykke islaget den 08.02.2019?
- 6) Har du mottatt noen klager på opptreden til systemet fra de som daglig parkerer der?
- 7) Er det fortsatt snø og tele i området, eller har det meste forsvunnet? (pr. 02.04.2019)
- 8) Vil du innføre noen spesielle tiltak neste vinter for å bedre opptreden til systemet?
- 9) Vil du anbefale å øke bruken av slike systemer i Oslo-området basert på erfaringene denne vinteren?

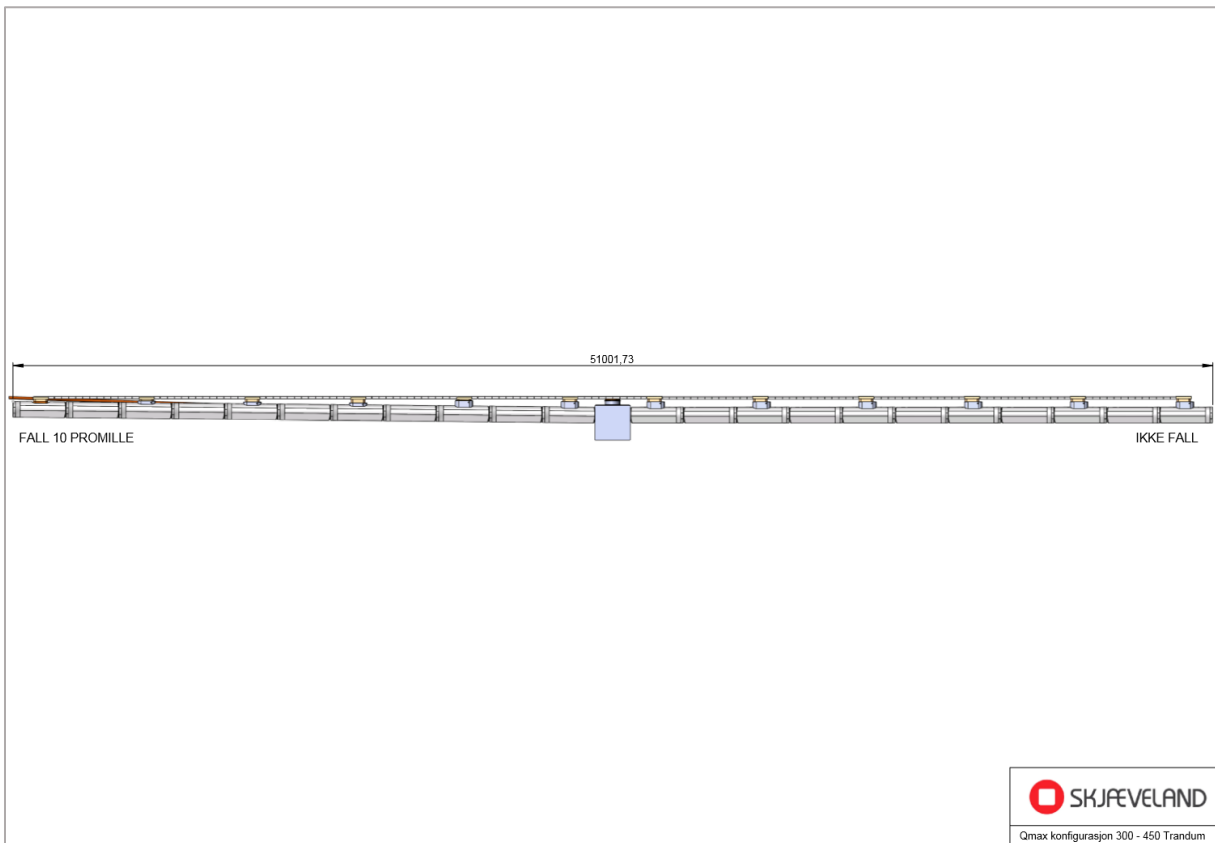
Vedlegg 10: Tegninger av Qmax Storm systemet på Trandum



Figur 10.1. Illustrasjon av Qmax Storm systemet på Trandum.



Figur 10.2. Illustrasjon av høydene til kabeltrekkerøret ved de ulike slukristene.

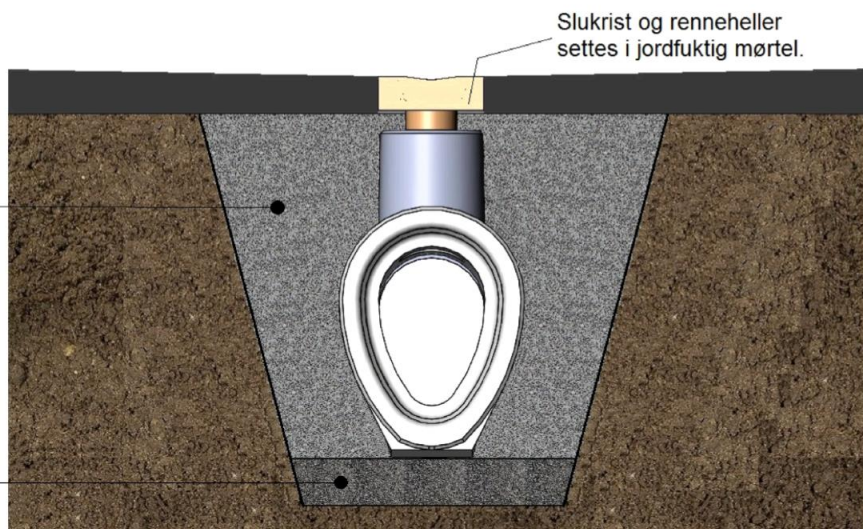


Figur 10.3. Illustrasjon av hele strekningen som er etablert på Trandum.

Qmax Storm Trandum, utforming grøft

Gjenfylling med stedlige masser 0-120mm eller bedre. Komprimeres til 95% Standard Proctor. Omfyllingsmassene må være drenerende, slik at det ikke står vann på utsiden av Qmax røret.

Nedre fundament bestående av knust stein 16-22mm, eller bedre. H=200



Figur 10.4. Grøfteutformingen til Qmax Storm systemet på Trandum.

Vedlegg 11: Intervjuguide for VA-personale i ulike kommuner

Invitasjon til intervju:

Hei,

Jeg er student ved Bygg og miljøteknikk på NTNU, med spesialisering innenfor Vann og miljø. Denne våren skriver jeg masteroppgaven min, som handler om hvordan frosten påvirker grunne overvannsystemer. Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Storm Aqua og forskningsprosjektet KLIMA2050. Beskrivelsen av oppgaveteksten til masteren min er som følge:

Klimaendringer og større andel tette flater fører til at større mengder overvann skal håndteres. Tradisjonelt har dette foregått ved å legge overvannsledninger på frostfritt dyp og forbinde dem med rister på overflaten. Det er imidlertid kostbart og tidkrevende å legge dype ledninger. Løsninger er derfor utviklet for å håndtere overvann på grunt nivå. Et eksempel er slisserenner som blant annet benyttes på flyplasser. På Gardermoen har slike slisserenner vært brukt i mange år. Et annet eksempel er Qmax Storm (ovalt rør) som legges grunt under overflaten for å håndtere veivann og takvann. Det er imidlertid en del spørsmål rundt funksjon i frostvær og i perioder med frysing/tining.

Det finnes lite dokumentert forskning på området. I den forbindelse ønsker jeg gjerne å få kontakt med driftspersonale innenfor VA fra ulike kommuner i landet, for å gjennomføre et lite intervju. Spørsmålene går primært på hvilke grunne overvannsystemer av rør/renne dere har i kommunen, og erfaringer relatert til opptreden til systemene om vinteren. Til mer erfaringer, til bedre er det. Jeg tenker å gjennomføre intervjuet per telefon, og antar at det vil ta 10–15 minutter. Svarene av betydning vil flettes inn i masteroppgaven min, men det er ingen problem for intervjuobjektet å være anonym dersom det er ønskelig.

Jeg håper at dere kan finne en relevant person som jeg kan få telefonnummeret til, så tar jeg videre kontakt med han/henne.

På forhånd takk for hjelpen!

Med vennlig hilsen

Asbjørn Rafdal

Intervjuguide

Generelle spørsmål:

- 1) Hvor lenge har du arbeidet med drift/ledelse av VA systemer?
- 2) Hva er dine primære arbeidsoppgaver nå?

Detaljerte spørsmål:

- 3) Hvilke grunne overvannssystemer av rør/renne benytter dere i kommunen? (Tenker da primært på slisserenner, Qmax Storm, rør lagt over frostfri dybde osv.)
 - a) hva var årsaken til at dere tok i bruk grunne overvannsløsninger?
 - b) hvilket årstall tok dere i bruk de første grunne løsningene?
 - c) hvilke dimensjoner og konfigurasjoner benyttes vanligvis?
 - d) var dere bekymret for frostproblematikken da dere tok i bruk de grunne løsningene?
 - e) er løsningene lagt med eller uten fall?
- 4) Hvordan fungerer de grunne overvannssystemene om vinteren vs. om sommeren?
- 5) Har dere observert stillestående vann i de grunne rørene/rennene som fryser til is?
 - a) eventuelt når?
 - b) ble tiltak gjort?
 - c) oppstår det i spesielle diametere og konfigurasjoner?
- 6) Hvordan fungerer systemene ved daglig frysing/tining?
 - a) klarer det å ta unna alt vannet?
- 7) Går sluk og rister på overflaten ofte tett om vinteren som følge av snø og is?
 - a) gjør dere noen tiltak i forbindelse med dette for å holde de åpne?
 - b) skaper dette problemer når det begynner å regne på frossen grunn?
- 8) Opplever dere at vintervedlikeholdet skader de grunne systemene?
- 9) Opplever dere frostsprengning av grunne rør/renner i løpet av eller etter en vintersesong?
 - a) er det noen vintersesonger som har utmerket?
- 10) Har dere statistikk på vedlikehold/repasasjon av de grunne systemene på grunn av skader i løpet av vinteren vs. skader om sommeren?
- 11) Hva opplever dere som det største problemet med grunne overvannsløsninger?
- 12) Er det noen værforhold som er ekstra krevende å håndtere for de grunne løsningene?
- 13) Har dere noe mer relevant informasjon å tilføye om frost og grunne overvannsløsninger?