



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT

VOL.: 2, NR.: 18

Miljøovervåking av kulturminner under
fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune
Sluttrapport for perioden 2011 - 2015

OVE BERGERSEN

NIBIO miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Miljøovervåking av kulturminner under fjernvarmerør i Storgata, Tønsberg kommune.
Sluttrapport for perioden 2011-2015

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
25.03. 2016	2(18) 2016	Åpen	2110811	Arkivnr 2016/167
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01578-9		2464-1162	22	

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren, Distriktskontor Tønsberg
Norsk institutt for kulturminneforskning,
Distriktskontor Tønsberg

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Jens rytter
Hanne Jordal Ekstrøm

STIKKORD/KEYWORDS:

Redoksforhold, bevaring, kulturminner,
Miljøovervåking, nedbrytning
Redox conditions, preservation, remains,
degradation

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet Miljøovervåking
Middelalderbyen Tønsberg

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Fjernvarmenettet som graves ned i Tønsberg sentrum kommer flere steder i direkte kontakt med kulturlag. Kunnskapen om hvordan nedgravingen av rørene påvirker temperatur og fuktighetsforholdene i kulturlagene nærmest rørene er lite kjent. Påvirkningen kan komme fra vannrørene som graves ned, masser som tilføres under (leire) og over (pukk) rørene. Alle disse faktorene kan endre temperatur- og fuktighetsforholdene i masser over kulturlagene. For å vurdere om temperatur- og fuktighetsforholdene endrer seg i underliggende kulturlag i Tønsberg, ble temperatur- og fuktighetssensorer installert i økende dybde under fjernvarmerørene og i egen referansegrøft 2,5 m ved siden av. I denne sluttrapporten presenteres resultatene fra hele overvåkingsperioden 2011 til 2015. Data viser ingen store forskjeller fra år til år eller mellom årstidene sommer og vinter. Forskjellene i jordtemperatur gjennom 5 år er 3-4 grader både sommer og vinter. Overvåkingen gir grunn til å anta at fjernvarmerørene ikke har påvirket miljøet rundt kulturlagene i Storgaten ved at fuktigheten er redusert, eller med betydelig høyere temperatur er blitt påvist. Overvåkingen viser også at det er vanskelig å sammenligne en grøft under fortau nær bebyggelse med en referansegrøft i gateplan som høyst sannsynlig mottar veiavrenning eller mulig lekkasjer fra vann og avløp.



LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Vestfold
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Tønsberg
STED/LOKALITET: Storgaten 19

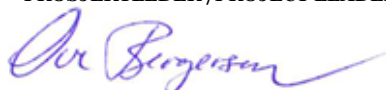
GODKJENT /APPROVED



Trond Mæhlum

SENIORFORSKER

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER



Ove Bergersen

SENIORFORSKER



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

FORORD

Denne rapporten er skrevet på oppdrag fra NIKU og Riksantikvaren. NIBIO (tidligere Bioforsk) har i oppdrag over 5 år overvåket to grøfter i Storgata 19 hvor fjernvarmerør er lagt. Data fra denne sluttrapporten er basert på statusrapporter fra 2011,2012,2014 og 2015. Hensikten med overvåkingen er å se om fjernvarmerør kan påvirke bevaring av kulturlag fra middelalder s over tid In Situ.

Måletekniske arbeider i felt ble utført i januar 2011 av seniorforsker Carl Einar Amundsen og teknikker Oddvar Vigdal. Begge personer jobber ikke lenger i NIBIO.

Prosjektledelse: Carl Einar Amundsen 2011-2013, Ove Bergersen 2012 – 2016.

Sluttrapportering Ove Bergersen

Kvalitetssikring av rapporten: Trond Mæhlum

Ove Bergersen



Ås, 25.03 2016

INNHold

1	INNLEDNING	6
1.1	Bakgrunn	6
1.2	Målet for prosjektet	6
1.3	Varmetap fra fjernvarmenettet	6
1.4	Transport av varme i jord	7
1.5	Bakgrunn for prosjekt	7
1.6	Avvik i måleperioden	9
2	MATERIALE OG METODER	10
2.1	Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner	10
2.1.1	Arkeologifaglige definisjoner	10
2.1.2	Jordfaglige definisjoner	10
2.2	Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag	10
2.3	Oppbygning av fjernvarmegrøft	12
2.4	Installering av sensorer	12
2.5	Installering av datalogger	13
3	RESULTATER	15
3.2	Miljøovervåking jordtemperaturen i kulturlag fra fjernvarme og referanse grøft	15
3.3	Miljøovervåking jordfuktigheten i kulturlag fra fjernvarme og referansegrøft	18
4	KONKLUSJONER	22

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Fjernvarmenettet som graves ned i Tønsberg sentrum kommer flere steder i direkte kontakt med kulturlag. Kunnskapen om hvordan nedgravningen av rørene påvirker temperatur og fuktighetsforholdene i kulturlagene nærmest rørene er lite kjent. Påvirkningen kan komme fra vannrørene som graves ned, masser som tilføres under (leire) og over (pukk) rørene. Alle disse faktorene vil endre temperatur- og fuktighetsforholdene i masser over kulturlagene. For å se om temperatur- og fuktighetsforholdene endrer seg i underliggende kulturlag i Tønsberg, ble temperatur- og fuktighetsensorer installert i økende dybde under fjernvarmerørene og i egen referanse grøft 2,5 m ved siden av fjernvarmerørene. Plassering og beskrivelse av utstyr er beskrevet i mer detalj i Bioforsk rapporter (Amundsen og Vigdal 2011, Amundsen og Bergersen 2012). I denne sluttrapporten er data og resultater presentert fra overvåkingsperioden 2011 og ut 2015.

1.2 Målet for prosjektet

1. Undersøke i hvilken grad etablering av fjernvarmerør endrer temperatur- og fuktighetsforholdene i underliggende kulturlag i Storgaten.
2. Overvåke kulturlag In Situ.

1.3 Varmetap fra fjernvarmenettet

Etablering av fjernvarmenett i Tønsberg sentrum kan påvirke bevaringsforhold i kulturlagene når fjernvarmerør legges i kulturlagene eller på toppen av kulturlagene. En temperaturøkning i kulturlag som følge av varmetap fra fjernvarmerør kan føre til økt nedbrytning av organiske kulturlag fordi aktiviteten av mikroorganismer som bryter ned organisk materiale øker med økende temperatur. En økning i temperaturen i kulturlagene kan også resultere i en uttørring av massene noe som kan føre til økt transport av oksygen gjennom luftfylte porer i jord til kulturlagene. Økt transport av luft vil kunne øke nedbrytningshastigheten av organisk materiale i kulturlagene.

Varmetap fra hus er i henhold til nasjonale retningslinjer ca. 1.8 W/m² hvis en forutsetter en innetemperatur på 14 °C i kjelleretasje og 4 °C i grunnen. For fjernvarmeanlegget er det angitt et varmetap på 30 W per meter grøft. Ytre diameter på rørene er 0,4m og med to rør i grøften gir dette 2,5 m² rør per meter grøft. Varmetapet per m² fjernvarmerør blir da 12 W/m² dvs. 6-7 ganger høyere enn varmetapet fra hus (se over).

Per i dag er temperaturøkning i grunnen som følge av varmetapet fra bygninger og andre menneskelige installasjoner lite kjent. Studier av kulturlag i Bergen tyder på at varmetapet fra SAS-hotellet på Bryggen i Bergen er ansvarlig for en betydelig økning i grunnvannstemperaturen (opp til 6 °C) i nærliggende kulturlag.

1.4 Transport av varme i jord

Jordart og fuktighetsforholdene i jord bestemmer i stor grad hvordan varmen fra fjernvarmenettet spres i jord. Vanninnholdet i jorda er den viktigste av disse.

Jordas varmekapasitet defineres som den varmemengden som skal til for å øke temperaturen i ett kilo jord med en grad. Vann har svært høy varmekapasitet (4,19 KJ/kg). Varmekonduktiviteten (evnen til å lede varme) er også svært avhengig av vanninnholdet i jorda. En vannmettet jord med høy vannkapasitet (dvs. stor evne til å holde på vann, for eksempel leirjord) vil ha mye større evne til å lede varme enn en tørr jord.

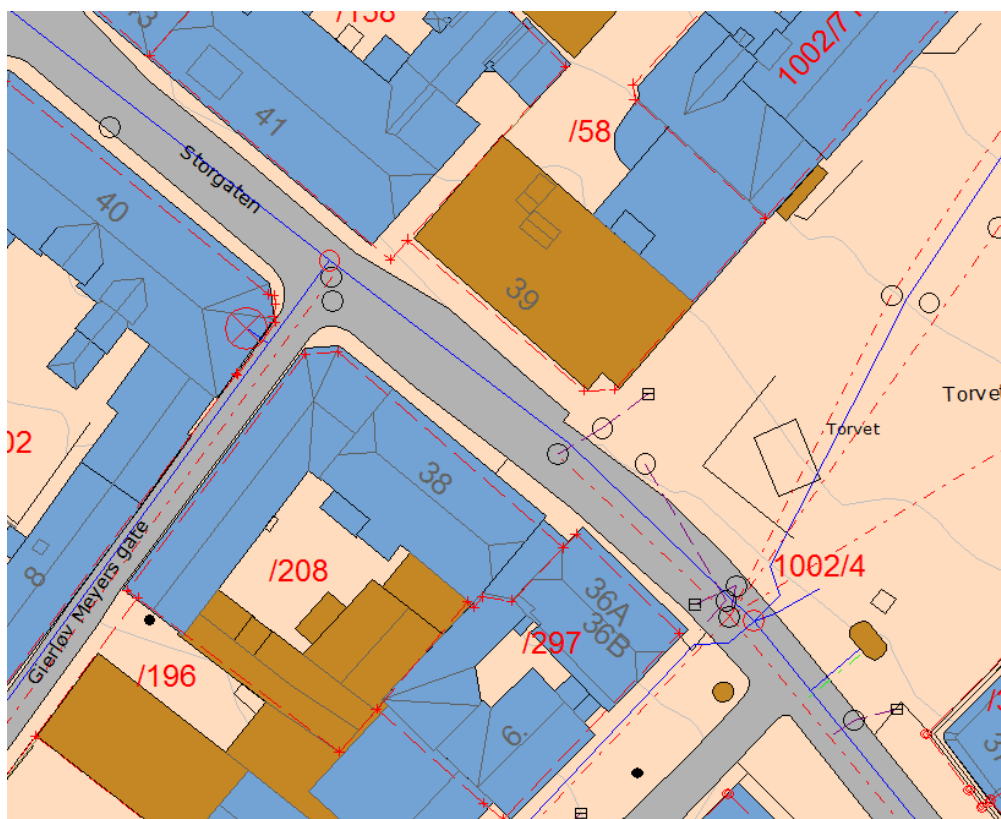
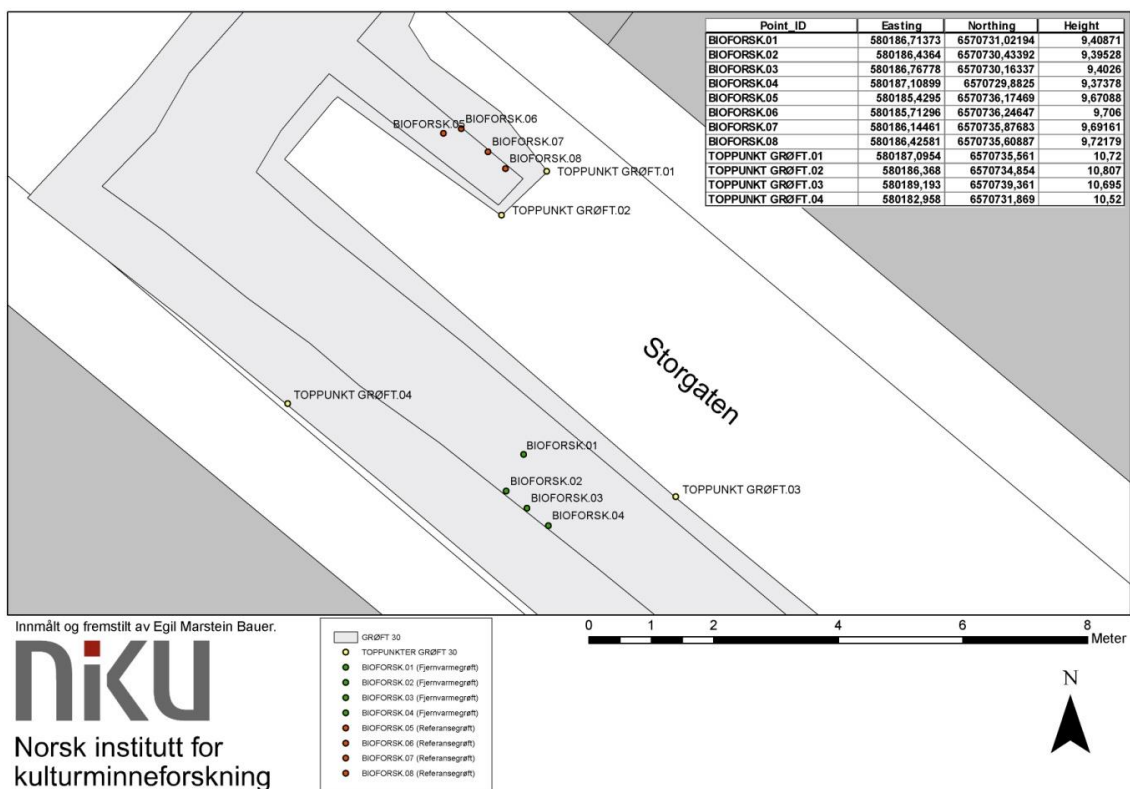
Ved tilførsel av varme (for eksempel fra fjernvarmerør) skal det mer energi til å varme opp jordarter som har et høyt vanninnhold enn jordarter med et lavt vanninnhold. Varmen vil imidlertid trenge relativt fort ned i fuktige jordarter på grunn av høy varmekonduktivitet. Høy varmekapasitet i fuktig jord gjør samtidig at det tar lenger tid å avkjøle jorda.

Temperatursvingningene i tette jordarter (silt- og leirholdige) vil være mindre enn for eksempel i sandjord og organisk jord.

1.5 Bakgrunn for prosjekt

Fjernvarmenettet som graves ned i Tønsberg sentrum kommer flere steder i direkte kontakt med kulturlag. Kunnskapen om hvordan nedgravningen av rørene påvirker temperatur og fuktighetsforholdene i kulturlagene nærmest rørene er lite kjent. Påvirkningen kan komme fra vannrørene som graves ned, masser som tilføres under (leire) og over (pukk) rørene. Alle disse faktorene vil endre temperatur og fuktighetsforholdene i masser over kulturlagene.

Fjernvarmerørene ble lagt i nærheten av fortau, mens referansegrøften ligger i selve storgaten (Figur 1). På fortau kan varme fra kjellere påvirke målingene, mens referansegrøften kan bli mer påvirket av nedbør eller lekkasjer fra vann og avløp under gateplan.



Figur 1. Oversiktskart over Storgata, Tønsberg, hvor sensorer ble plassert i fjernvarmegrøft og i referansegrøft(over), oversiktskart over vannledningsnettet i Storgata markert med blå strek og kummer med sorte ringer.

1.6 Avvik i måleperioden

Avvik i måleseriene skjedde i fjernvarmegrøften i perioden desember 2011 til mai 2012. Årsak var tekniske problemer og manglende kommunikasjon mellom logger og server på NIBIO. I denne perioden mangler vi data fra alle de tre sensorene både med hensyn til temperatur og fuktighet.

Etter å ha studert jordfuktighetsdata fra både fjernvarmegrøften og referansegrøften ser vi i dag at sensorene plassert på 1.78m fra bakkenivå av hver grøft må ha vært byttet om i loggeren. Dette begrunner vi med at dataene fra referansegrøften fluktuerer mye mer enn dataene fra fjernvarmegrøften. I tillegg er jordfuktigheten betydelig høyere i referansegrøften sammenlignet med fjernvarmegrøften. At en mer fuktig profil er tørrere i bunn sammenlignet med en tørrere profil og fuktigere bunn har vært litt vanskelig å forklare tidligere. Med lengre måleserie er NIBIO ikke i tvil om at data fra disse sensorer må være ombyttet ved montering til loggeren. Tidligere er det i perioder observert upålitelige verdier fra den dypeste sensoren i referansegrøften. Hvorfor slikt skjer er vanskelig å forklare i etterkant. Vi kan dessverre ikke gjøre noe med det utstyret som ligger i bakken, men vi legger nå større vekt på kvalitetssikringsrutiner i montering av sensorer i nye tilsvarende prosjekter. Fra november 2014 ser det ut som om omtalt fuktsensor har begynt å gi normale verdier igjen, men sluttet å gi normale verdier i slutten av jan. 2015. Derfor har vi færre data fra sensoren i bunn av referansegrøften. I sluttrapporten har vi også beregnet max, min og gjennomsnittsverdier for hvert av de ulike år med overvåking slik at forandringer kan vurderes. Siden flere av dataseriene fluktuerer mye har vi også beregnet medianen* på dataseriene for alle tre sensorer fra hver grøft for å kunne vurdere eventuelle forskjeller mellom grøftene på en bedre måte vist i egen figur.

** Median verdi: I statistikk er median et sentralitetsmål som defineres som verdien til tallet som deler et utvalg i to deler slik at hver del har like mange elementer. Fordelen ved å bruke median i forhold til middel eller gjennomsnittverdi er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).*

2 MATERIALE OG METODER

2.1 Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner

I rapporten blir det brukt uttrykk som trenger en forklaring fordi de brukes forskjellig i ulike fagområder eller de er lite kjent.

2.1.1 Arkeologifaglige definisjoner

Kulturlag: Lag med materiale knyttet til menneskelig aktivitet. Kulturlag kan variere meget i form, utseende, sammensetting og innhold beroende på lokalitet, tidsalder, type aktivitet og jordsmonn.

Steril grunn: Naturlig undergrunn, upåvirket av menneskelig aktivitet

Bevaringstilstand: Kulturlagenes nåværende tilstand avhengig av pågående og historisk nedbrytning.

Bevaringsforhold: Fysiske, kjemiske og mikrobiologiske forhold som er avgjørende for nedbrytningshastighet i kulturlag.

2.1.2 Jordfaglige definisjoner

Redoksreaksjoner: Redoksreaksjoner består av to delreaksjoner, oksidasjon og reduksjon. Disse reaksjoner foregår vanligvis relativt langsomt men i naturlige systemer fungerer mikroorganismer som katalysatorer slik at reaksjonene foregår mye raskere.

Aerobe forhold: Forhold der luft (oksygen) er til stede. Ved aerobe forhold blir organisk materiale og reduserte uorganiske forbindelser oksidert av mikroorganismer som omsetter oksygen (sammenlignbar med menneskelig respirasjon). Ved aerobe forhold kan man forvente en høyere mikrobiell aktivitet enn ved anaerobe forhold.

Anaerobe forhold: forhold der luft (oksygen) er fraværende. Ved anaerobe forhold blir organisk materiale oksidert av mikroorganismer som omsetter nitrat, oksidert jern og mangan, sulfat eller oksidert organisk materiale i stedet for oksygen. I naturlige miljøer er anaerobe forhold ensbetydende med reduserende (reduktive) forhold, men i hvilken grad forholdene er reduserende, varierer.

Reduserende (reduktive) forhold: Avhengig av forbindelsen som blir redusert, snakker man om nitratreduserende, jern- og manganreduserende, sulfatreduserende og metanogene forhold. Jo mer redusert redoksforholdene er, jo lavere er den mikrobielle aktiviteten.

2.2 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag

Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemisk fysiske forhold, og at mikrobiologisk og kjemisk aktivitet er relativt lav. Stabile kjemisk fysiske forhold fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrauliske gradienter eller konsentrasjonsgradienter), som ofte holder naturlige kjemiske prosesser i gang, avtar. Dette medfører langsommere nedbrytning av kulturlag.

I naturen foregår nedbrytning av organisk materiale eller korrosjon av metaller parallelt med reduksjon av andre forbindelser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner og bruker denne

energien til bl.a. oppbygging av biomasse. Mest energi får mikroorganismer hvis de kan bruke oksygen til å oksidere organisk materiale.

Noe mindre energi genereres hvis det brukes nitrat (NO_3^-) og enda mindre ved å bruke treverdige jern, Fe(III), fireverdige mangan (Mn (IV)), sulfat (SO_4^{2-}) eller oksidert organisk materiale, se også figur 2.

I naturen kan vi derfor observere at aerobe forhold med oksygen til stede, går over til nitratreduserende forhold når all oksygen er brukt opp. Deretter følger mangan-, jern- og sulfatreduserende forhold, før en får metanogene forhold.

Under metanogene forhold observerer man den langsamste nedbrytningen av organisk materiale, og minst oksidasjon av metallgjenstander. Raskest foregår nedbrytning av organiske gjenstander under aerobe forhold. Nedbrytningshastigheten vil som oftest avta i rekkefølge nitrat-, mangan-, jern-, sulfatreduserende til metanogene forhold. Oksidative og nitratreduserende forhold kan som regel karakteriseres som dårlige bevaringsforhold, mens sulfatreduserende og metanogene forhold kjennemerkes bra til utmerkede bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. I tabell 3 er det illustrert en enkel oversikt som viser generelt hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det orange markerte område vises nivåer av målte kjemiske parametre for typisk oksiderende forhold, men reduserende forhold er vist med blått.

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redoks sensitive komponenter i jord og porevann (oksygen, nitrat, ammonium, mangan (II), mangan (IV), jern (III), jern (II), sulfat, sulfid, metan): Høye oksygenkonsentrasjoner indikerer for eksempel at forholdene er oksidative og at mikroorganismene bruker oksygen til å bryte ned organisk materiale. Ved slike forhold kan vi forvente at nitrogen foreligger i stor grad som nitrat og ikke som ammonium, jern foreligger som oksidert jern (III) og konsentrasjon av sulfid vil som regel være svært lavt. Hvis forholdene derimot er jernreduserende, vil all oksygen og nitrat allerede vært brukt opp av mikroorganismer og nitrogen vil foreligge som ammonium. Det vil kunne måles høyere konsentrasjoner av jern (II) i porevann og jord, men det er ikke ventet høye sulfidkonsentrasjoner.

Andre miljøforhold som vil påvirke bevaring av kulturlag er massenes permeabilitet og vannmetning. Dette vil styre gjennomstrømming av (oksygenrikt) vann gjennom massene og diffusjon av oksygen i porene. Dessuten vil tilstedeværelse av giftige forbindelser kunne hemme nedbrytningen av organisk materiale.

Syre og løselige salter medfører korrosjon av metalloverflater. Økende surhet og saltkonsentrasjon vil framskynde korrosjon av metallgjenstander og forvitring av bein.

2.3 Oppbygning av fjernvarmegrøft

Fjernvarmegrøfta i Storgaten, Tønsberg, er 1,2 - 1,3 m dyp. Før installeringen av fjernvarmerørene ble det lagt et 0,1 m lag av leire de stedene hvor det var kontakt med kulturlag (det meste av strekningen). Over leirlaget ble det lagt fiberduk og deretter 0,1 m med singel (fraksjon 4 – 8 mm). Rørene har en utvendig diameter på 0,4 m, noe som innebærer at minste overdekning av rørene er 0,6 m til topp asphalt (Figur 1). Det ble påfylt singel rundt rørene. Referansegrøften ble fylt med samme masse i de samme dybdene som i resten av fjernvarmetraseen.

Måletekniske arbeider i felt ble utført av Bioforsk i januar 2011. Profilen var ferdig gravet før utstyr for overvåking ble satt inn og montert sammen til skap.

2.4 Installering av sensorer

Sensorene som ble installert var av typen TRIME-PICO 32 fra IMKO Modultechnik GmbH. Disse sensorene kan installeres i heterogen og til dels steinete jord og egner seg godt for den type masser som ofte finnes i kulturlag. Sensorene kan installeres horisontalt eller vertikalt i jord (Mer informasjon om sensorene kan finnes på www.imko.de).

Sensorene ble installert i bunnen av utgravd fjernvarmegrøft og referansegrøft 20. oktober 2010. Installeringen ble foretatt før fjernvarmerørene ble plassert i grøfta.

I fjernvarmegrøfta ble sensorene installert vertikalt i bunnen av grøfta, skrått i forhold til fjernvarmerørene. Overkant av de tre sensorene ble plassert henholdsvis 0 cm, 18 cm og 45 cm under bunnen av grøfta. Da temperaturføleren sitter 13 cm nede på sonden (som er 15,5 cm lang), blir avstanden fra bunn av grøfta til temperaturføleren henholdsvis 13, 31 og 58 cm. Avstanden til det nærmeste fjernvarmerøret er litt mer usikkert. Antas at rørene ble plassert midt i grøfta med avstand 10 cm mellom rørene, er avstanden fra temperaturfølerne til nærmeste rør henholdsvis 47 cm, 61 cm og 85 cm (Figur 3).

Sensorene ble installert i kulturlaget i bunnen av grøfta ved først å bore opp et hull (jordbor) med diameter som sonden (32mm) og i ønsket dybde. Deretter ble sonden trykket på plass i bunn av hullet slik at metallstengene (lengde 11 cm, diameter 0,35cm) hadde god kontakt med jorda. Ledningen fra sonden ble beskyttet med plastrør der hvor dette var nødvendig.

Sensorene i referansegrøfta ble installert på samme måte som i fjernvarmegrøfta. Bunnen av referansegrøfta var 0,26 m høyere (moh) enn fjernvarmegrøfta og sensorene i referansegrøfta ble derfor plassert 0,26 m dypere i forhold til bunnen av grøfta sammenlignet med fjernvarmegrøfta. På denne måten ble avstanden til bakkenivå den samme for sensorene i referansegrøft og fjernvarmegrøft (Tabell 1).

Sensorene i referansegrøfta ble plassert fra 2,5 - 2,6 m fra nærmeste fjernvarmerør og blir derfor ikke påvirket av dette.

Tabell 1: Avstandsmål og høyde over havet for sensorer plassert i Storgaten, Tønsberg, for overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag.

Grøft	Sensor	moh	Avstand til bunn grøft (m)	Avstand til bakkenivå (m)	Avstand til fjernvarmerør (m)
Fjernvarme	Bioforsk 2	9.39	0,13	1,30	0,47
Fjernvarme	Bioforsk 3	9.21	0,31	1,50	0,61
Fjernvarme	Bioforsk 4	8.98	0,58	1,78	0,85
Referanse	Bioforsk 6	9.37	0,39	1,30	2,52
Referanse	Bioforsk 7	9.22	0,57	1,50	2,55
Referanse	Bioforsk 8	8.96	0,84	1,78	2,62

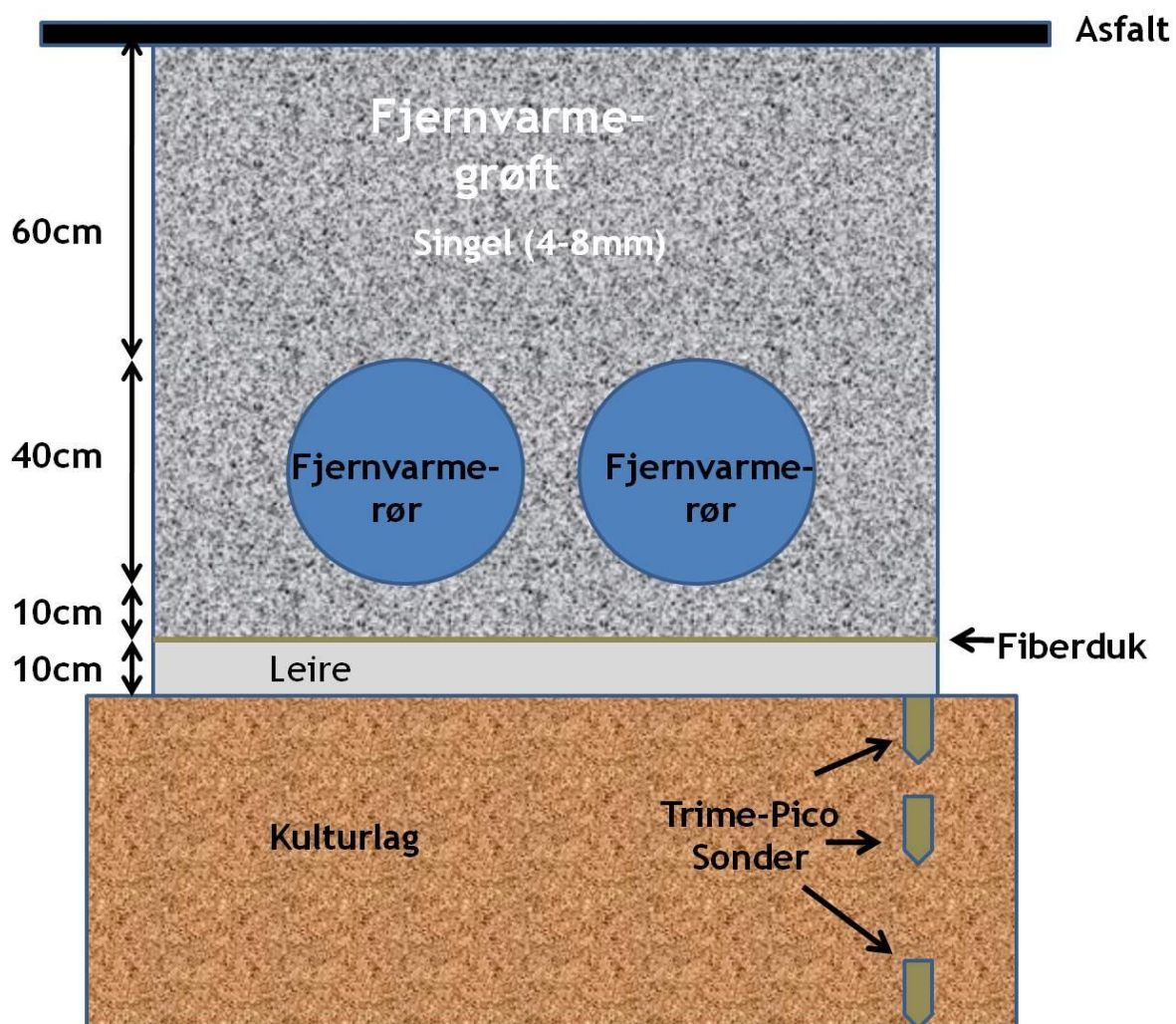
2.5 Installering av datalogger

Ledningene fra sensorene (10 - 20meter), ble koblet sammen og ført i et 50 mm plastrør gjennom fjernvarmegrøft og til kjeller hvor fjernvarmesentral var plassert (Storgata 39) (Figur 2).

Dataloggeren var en UniLog Standard fra SEBA (<http://www.seba-hydrometrie.de/en/applications.html>). Data overføres fra datalogger via GSM (telefon) til internett. På denne måten kan utviklingen i temperatur- og fuktighetsforhold følges kontinuerlig. Ledningene fra sensorene ble koblet til dataloggeren 17. januar 2011.



Figur 2. Ledninger fra sensorer føres inn i kjeller gjennom føringsrør og inn i skap hvor datalogger og batterilader er installert. Foto: Oddvar Vigdal.



Figur 3. Skisse over fjernvarmegrofta i Storgaten, Tønsberg.

3 RESULTATER

3.2 Miljøovervåking jordtemperaturen i kulturlag fra fjernvarme og referanse grøft

Varmetap fra hus er i henhold til nasjonale retningslinjer ca. 1.8 W/m² hvis en forutsetter en innetemperatur på 14°C i kjelleretasje og 4°C i grunnen. For fjernvarmeanlegget er det angitt et varmetap på 30 W per meter grøft. Ytre diameter på rørene er 0,4m og med to rør i grøften gir dette 2,5 m² rør per meter grøft. Varmetapet per m² fjernvarmerør blir da 12 W/m² dvs. 6-7 ganger høyere enn varmetapet fra hus.

Temperaturen beregnet ut fra medianverdien i kulturlagene under fjernvarme-rørene viste 3-4 °C høyere temperatur enn i referansegrøften i perioden 2011 ut 2015 (Figur 4 og 6). Temperaturen i lag nærmest overflaten (1,30 og 1,50m) påvirkes naturlig nok mer av lufttemperaturen enn i dypere lag. I øvre laget var temperatursvingene på hhv. 16.6 °C i referansegrøften og 15.0 °C i fjernvarme-grøften (Tabell 2). I det dypeste laget (1,78 m) ble svingningene beregnet til hhv. 13,4 °C i referansegrøften og 11,1 °C i fjernvarme-grøften gjennom hele måleperioden (Tabell 4). Detaljerte beregninger fra år til år og i hele perioden er vist i de forskjellige tabellene 2,3 og 4. De årlige svingningene i hele profilen gjennom sesongene 2011 til ut 2015 var på 13-16 °C i referansegrøften, og 11-15 °C i fjernvarme-grøften. Likevel var svingningene gjennom sesongene 2011 til ut 2015 langt større enn forskjellene mellom fjernvarme-grøft og referansegrøft. Sesongvariasjonene i utetemperatur var derfor viktigere for temperaturvariasjonene målt nede i kulturlagene enn effekten av fjernvarmerørene. Forskjeller mellom beregnet gjennomsnitt og medianen i begge grøfter var lav.

Tabell 2. Beregnede max, min og gjennomsnittsjordtemperatur fra øvre del av grøften de ulike år og i hele overvåkingsperioden. Fjernvarme-grøft gul over og referansegrøft rosa under.

Storgata Tønsberg 2011-2015	Fjernvarme-grøft 1.30 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Max	17.5	18.3	17.8	18.7	17.3	18.7
Min	5.2	8.2	6.3	3.7	7.7	3.7
Gjennomsnitt	11.8	14.1	11.5	12.6	12.2	12.3

Storgata Tønsberg 2011-2015	Referanse grøft 1.30 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C						
Max	14.8	14.1	15.0	16.6	14.3	16.6
Min	0.4	3.1	2.7	4.1	3.6	0.4
Gjennomsnitt	8.1	10.4	8.1	9.6	8.5	8.8

Tabell 3 Beregnede max, min og gjennomsnitt jordtemperatur fra midtre del av grøften de ulike år og hele overvåkingsperioden. Fjernvarmegrøft gul over og referanse grøft rosa under.

Storgata Tønsberg 2011- 2015	Fjernvarmegrøft 1.50 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C						
Max	17.7	18.5	17.9	18.9	17.7	18.9
Min	6.4	9.6	7.6	7.9	8.9	6.4
Gjennomsnitt	12.4	14.7	12.3	13.4	13.0	13.1

Storgata Tønsberg 2011- 2015	Referanse grøft 1.50 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C						
Max	13.6	13.2	13.9	15.4	13.4	15.4
Min	1.2	3.8	0.0	4.9	4.2	1.2
Gjennomsnitt	7.9	10.1	8.1	9.4	8.5	8.7

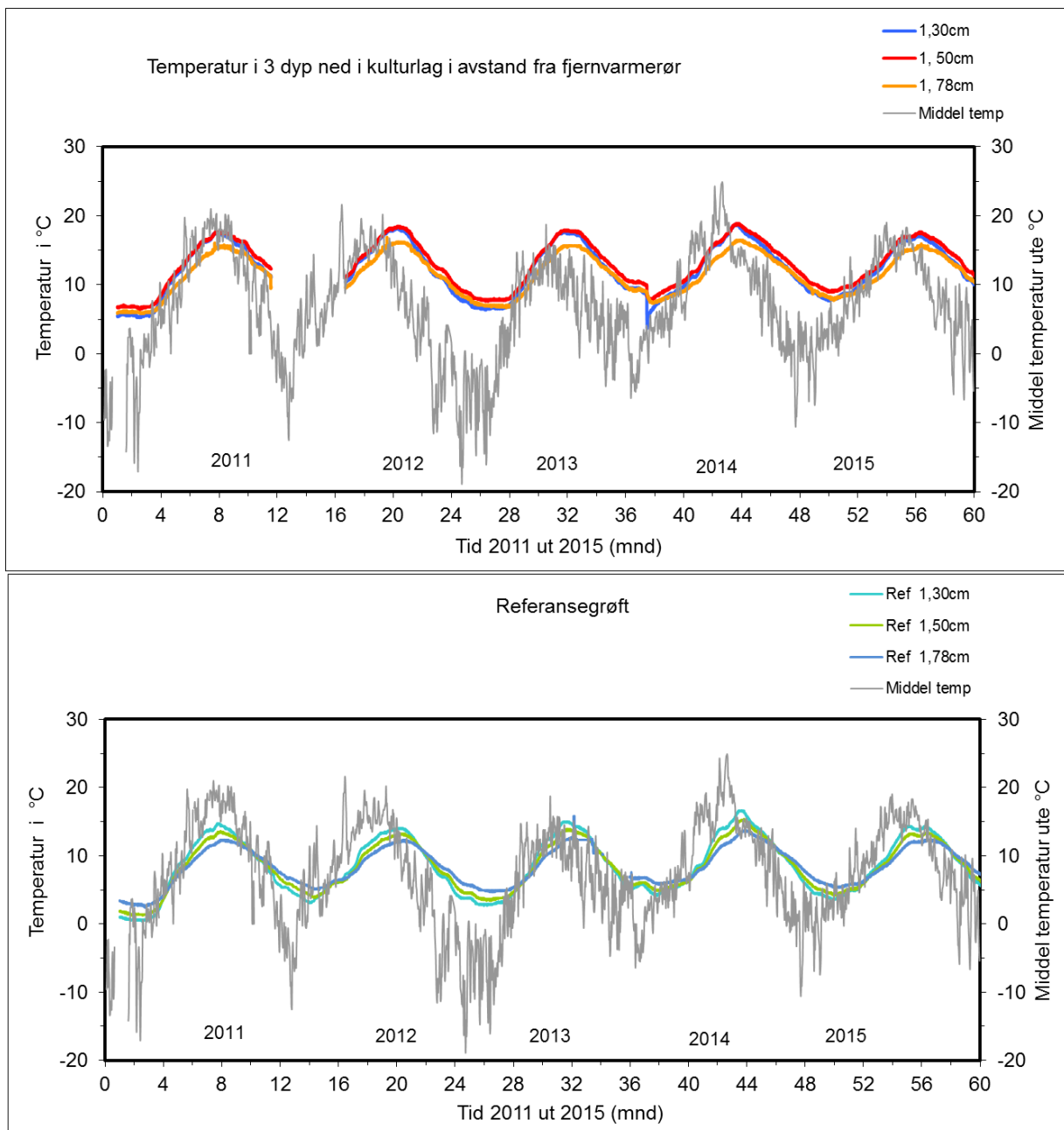
Tabell 4. Beregnede max, min og gjennomsnitt jordtemperatur fra nedre del av grøften de ulike år og hele overvåkingsperioden. Fjernvarmegrøft gul over og referanse grøft rosa under.

Storgata Tønsberg 2011- 2015	Fjernvarmegrøft 1.78cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C						
Max	16.0	16.9	15.7	16.5	15.9	16.9
Min	5.8	8.8	6.7	7.3	7.7	5.8
Gjennomsnitt	10.9	13.1	10.9	11.9	11.6	11.6

Storgata Tønsberg 2011- 2015	Referanse grøft 1.78 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Temperatur °C						
Max	12.3	12.3	15.8	13.8	12.4	15.8
Min	2.4	4.9	4.7	5.7	5.3	2.4
Gjennomsnitt	7.9	9.8	8.0	9.3	8.6	8.7

Da temperaturmønsteret i de ulike lagene i fjernvarmegrøften var likt mønsteret i referansegrøften (bortsett fra at temperaturen var 3-4 °C høyere enn i referansegrøften), viser dette at lufttemperaturen fortsatt er den viktigste faktoren for temperatursvingninger, også i fjernvarmegrøften.

Likevel kan det se ut som at temperaturstigningen i fjernvarmegrøften påvirkes av et svakt varmetap fra fjernvarmerørene selv om sensorene innbyrdes kan svinge opp til +/- 1 grad. Denne temperaturforskjellen kan også skyldes oppvarming fra nærliggende kjeller, eller av fortau over fjernvarmegrøft og evt. mer eksponering av solvarme. Figur 2 viser at temperaturen i de øverste sensorene er mer sammenfallende enn i referansegrøften spesielt i sommerhalvåret. Figur 4 viser at fjernvarmegrøftens beregnete mediantemperatur for alle de 3 sensorene ligger noe høyere enn målt utetemperatur sammenlignet med referansegrøften. Temperaturforskjellene mellom lagene var mindre sommer/høst enn om vinteren.



Figur 4. Over: Jordtemperatur målt i sensorer fra fjernvarmegrøft) og referansegrøft (Ref.) i ulike dybde fra overflaten (1,30m, 1,50m og 1,78m). Dybdene er avstand fra målepunkt for temperatur på sonden til bakkenivå. Lufttemperatur i Tønsberg sentrum for perioden er vist (data fra www.yr.no).

3.3 Miljøovervåking jordfuktigheten i kulturlag fra fjernvarme og referansegrøft

Fuktighetsforholdene i kulturlag under fjernvarmerørene og i referansegrøfta er i perioden 2011 og ut 2015 overvåket og resultatet er vist i figurene 5 og 6. Figurene viser tydelig at jordfuktigheten er forskjellig i de ulike grøftene og at tydelige fluktuasjoner i sammenheng med nedbør ble observert. Alle sensorene i referansegrøften viste tydelig stor variasjon, og fluktasjonsmønster som følger nedbørsvingningene fra Yr.no (Figur 5). Den høye fuktigheten i referansegrøften kan også skyldes lekkasjer fra vannforsyningen og avløpsnett som ligger på denne side (Figur 1).

Kulturlag i fjernvarmegrøften påvist ved alle dyp fra gatenivå ser ikke ut til å bli påvirket direkte av grunnvann eller av nedbør. Kulturlagene i Storgaten 2 m under overflate ligger i umettet sone. Sistnevnte viser mer stabil jordfuktighet over tid med unntak av noen høyere topper i nedbørsrike perioder (Figur 5 og 6).

Lite fluktuasjoner av jordfuktighet i fjernvarmegrøften skyldes høyst sannsynlig at bevegelsesmønsteret til vann i jorda under fjernvarmerørene har forandret seg sammenlignet med mønsteret i referansegrøftens jordprofil 2,5 m unna. Høyere stabil jordfuktighet vil virke stabiliserende på organiske kulturlag.

Fjernvarmegrøften ligger på fortausiden av Storgata, mens referansegrøften ligger midt i gaten. Begge grøfter har asfaltdekket over seg. Median jordfuktighet er nå beregnet på 5 år og viser opp mot 78 - 86 % i nedbørsrike perioder i øvre del av referansegrøften på (1,30 m til 1,50 m). I bunnen ble medianen beregnet til nærmere 60 %. Dette er opptil 20 % fuktigere sammenlignet med fjernvarmegrøftens som ble beregnet til ca. 42 % i bunnen på 1.78m. I kulturlaget på 1.50m hvor det ble observert høye fluktuasjonstopper i nedbørsrike perioder, er medianen av fuktighet beregnet til 38 % (Figur 6). I øvre kulturlag på 1.30m ble medianen beregnet til 44 %. Tabellene 5,6,7 viser max, min og gjennomsnittverdier for hvert år, og i hele måleperioden.

Tabell 5. Beregnede max, min og gjennomsnitt jordfuktighet fra øvre del av grøften de ulike år og hele overvåkingsperioden. Fjernvarmegrøft gul over og referansegrøft rosa under.

Storgata Tønsberg 2011-2015	Fjernvarmegrøft 1.30 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	46.0	45.0	48.3	56.5	51.5	56.5
Min	35.4	41.6	41.9	41.8	42.5	35.4
Gjennomsnitt	43.4	43.3	43.4	44.0	44.5	43.8

Storgata Tønsberg 2011-2015	Referanse grøft 1.30 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
Min	47.9	65.2	61.2	54.3	54.5	47.9
Gjennomsnitt	82.3	91.3	83.5	76.8	75.0	80.9

Tabell 6. Beregnede max, min og gjennomsnitt jordfuktighet fra midtre del av grøften de ulike år og hele overvåkingsperioden. Fjernvarmegrøft gul over og referanse grøft rosa under.

Storgata Tønsberg 2011-2015	Fjernvarmegrøft 1.50 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	95.5	90.6	97.7	92.0	99.8	99.8
Min	33.5	33.4	33.0	33.9	34.6	33.0
Gjennomsnitt	40.8	36.1	35.8	38.8	40.7	38.6

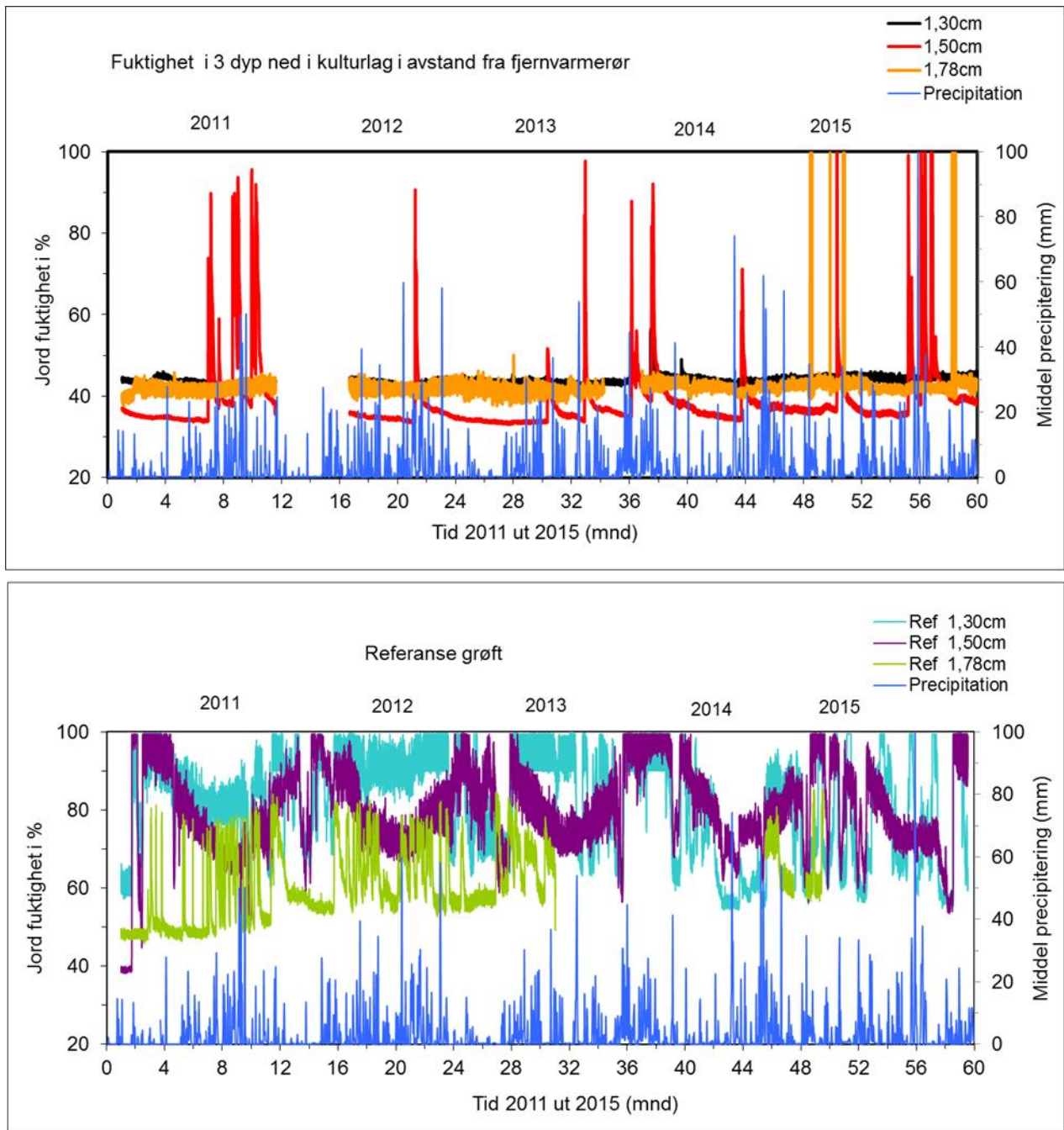
Storgata Tønsberg 2011-2015	Referanse grøft 1.50 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	99.4	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5
Min	38.1	59.2	46.9	56.4	53.5	38.1
Gjennomsnitt	75.5	77.5	80.4	83.4	80.6	79.7

Tabell 7. Beregnede max, min og gjennomsnitt jordfuktighet fra nedre del av grøften de ulike år og hele overvåkingsperioden. Fjernvarmegrøft gul over og referansegrøft rosa under.

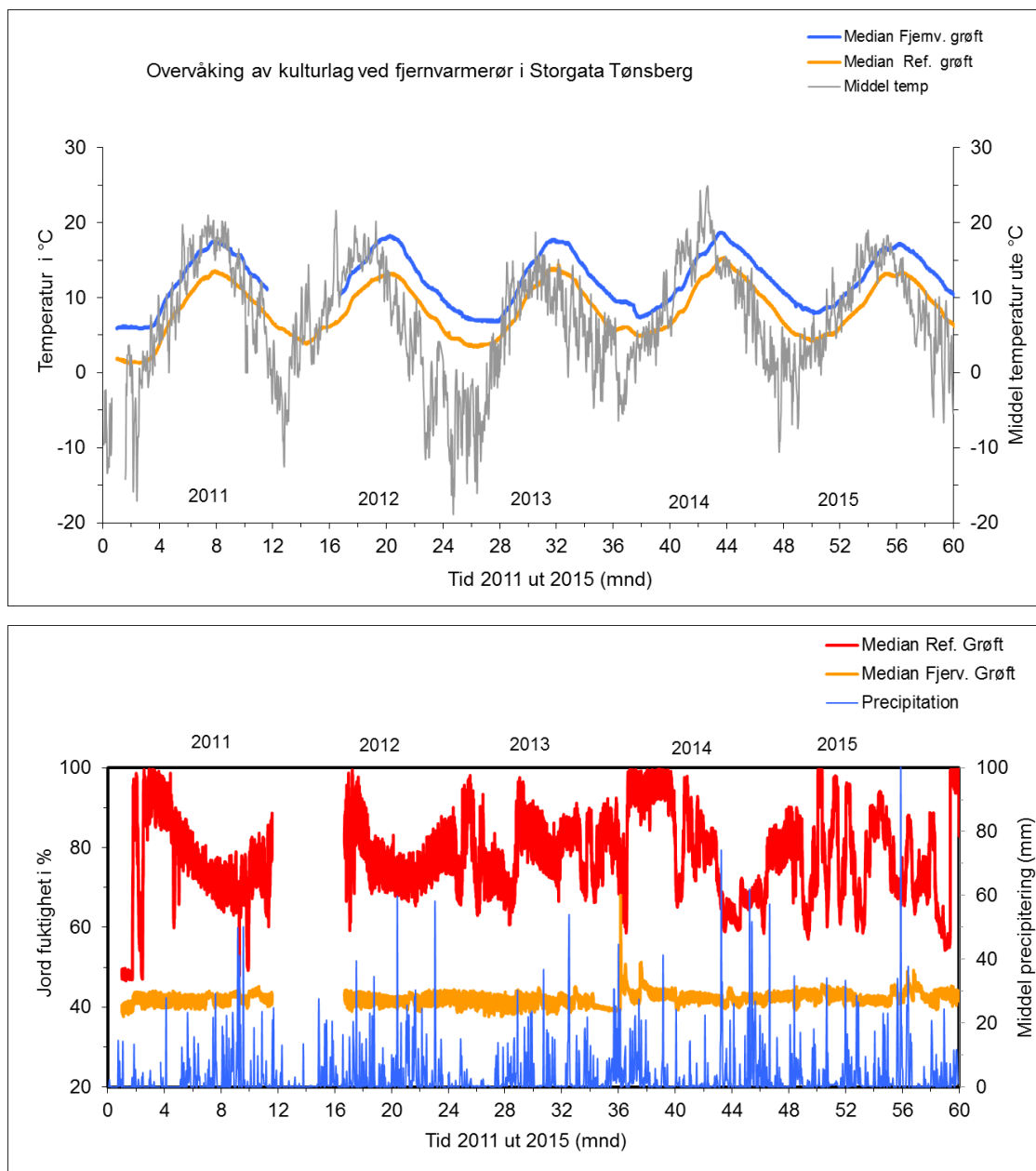
Storgata Tønsberg 2011-2015	Fjernvarmegrøft 1.78cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	47.0	45.4	50.0	46.1	99.7	99.7
Min	37.6	38.9	37.6	39.4	39.3	37.6
Gjennomsnitt	41.8	41.9	41.3	42.3	42.5	42.0

Storgata Tønsberg 2011-2015	Referanse grøft 1.78 cm under gateplan					
	2011	2012	2013	2014	2015	2011-2015
Fuktighet %						
Max	84.0	83.3	84.5	80.8	85.3	85.3
Min	45.8	52.7	49.4	57.4	56.7	45.8
Gjennomsnitt	54.8	64.5	63.2	67.0	64.2	60.8

Lavere fuktighet i fjernvarmegrøften kan medføre at kulturlagene påvirkes mer av luftfylte porer, eller av oksygenrikt overflatevann i nedbørsintensive perioder. Vi har ikke informasjon om porevolum og redoksforholdene i fjernvarmegrøften. Det vil derfor være vanskelig å si noe direkte om bevaringsforholdene i de mer stabile kulturlag med jordfuktighet omkring 40 %. Forskjeller mellom beregnet gjennomsnitt og medianen i begge grøfter var lav.



Figur 5. Over: Jordfuktighet (volum %) i ulike dybder (1,30 m, 1,50 m og 1,78 m) i fjernvarmegrøft og i referansegrøft (Ref.). Dybdene er avstand fra målepunkt på sonden til bakkenivå. Nedbør(mm) i Tønsberg sentrum for perioden er vist (data fra www.yr.no).



Figur 6. Sammenstilling av jordtemperatur median (over) og jordfuktighet median (under) beregnet fra alle 3 sensorer (1,30m, 1,50m og 1,78m) fra fjernvarmegrøft og referansegrøft. Ute temperatur og nedbør i Tønsberg sentrum for perioden er vist (data fra www.yr.no).

4 KONKLUSJONER

Data vist i denne sluttrapporten bekrefter at overvåkingen av kulturlag i fjernvarmegrøften sammenlignet med en referansegrøft i Storgata 19 i Tønsberg har vært vellykket.

Fuktighetsforholdene i kulturlag under fjernvarmerørene i Storgata 19 ble i perioden 2011 ut 2015 lite påvirket av fluktuasjoner i nedbørsrike perioder. I referansegrøften fluktuerte fuktigheten betydelig. Området i Storgata hvor referansegrøften ligger er betydelig fuktigere enn fjernvarmegrøften. Medianberegninger viser kulturlag med jordfuktighet på 60-80 % mot 36-44 % i fjernvarmegrøften.

Forskjellene mellom registrert jordfuktighet i fjernvarme- og referansegrøften viste at det over korte avstander kan være betydelige forskjeller i jordfuktighet og hvilke prosesser (nedbør, teleløsning, snøsmelting, grunnvannsfluktuasjoner) som styrer fuktigheten. Dessverre har vi ikke informasjon om redoksforholdene i fjernvarmegrøften.

Gjennomsnittlig jordtemperatur i kulturlagene under fjernvarmerørene var i perioden 2011 til 2015, 3 - 4 °C høyere enn i referansegrøften. Denne forskjell viser seg å gjelde i hele overvåkingsperioden. Da temperaturforskjellene stort sett var de samme både vinter og sommer, er det sannsynlig at forskjellene skyldes noe tilførsel av varme fra nærliggende hus, og ikke varmetap fra fjernvarmerørene alene. Hvor mye denne temperaturøkningen påvirker kulturlagene er usikkert siden det ikke er utført forundersøkelse på bevaringsforhold som informerer om fysiske, eller kjemiske forhold.

Sesongsvingningene i temperatur (maks og min temperatur) i alle sensorer fra fjernvarmegrøfta og referansegrøfta i måleperioden 2011 til 2015 var 10 – 15 °C, det vil si langt større enn temperaturforskjellene mellom fjernvarmegrøfta og referansegrøfta. Sesongvariasjonene i lufttemperatur er derfor fortsatt viktigere for temperaturvariasjonene i kulturlagene enn effekten av fjernvarmerørene.

Overvåkingen tyder på at fjernvarmerørene i Tønsberg ikke påvirker eller skader miljøet rundt kulturlagene. Gravingen i området ser ut til å ha påvirket mer hvordan vann oppfører seg i grøften sammenlignet med opprinnelige jordfuktighet i Storgata.

Både i fjernvarmegrøfta og referansegrøfta er sensorene dekket med leire (ca. 0,1m) og singel. I forhold til massene som tidligere dekket kulturlaget vil laget med singel føre til at regn- og smeltevann raskere trenger ned mot kulturlaget nå enn tidligere. På denne måten fungerer referansegrøfta dårlig som referanse for "opprinnelige" drenerings- og temperaturforhold i Storgata. Måten referansegrøfta er etablert på, dvs. mest mulig lik fjernvarmegrøfta, gjør den imidlertid til en god referanse for temperaturforholdene i fjernvarmegrøfta.

Alle kjemiske og biologiske nedbrytningsprosesser går raskere ved høyere temperaturer. Det er velkjent av tidligere forskning at organisk materiale brytes ned i høyere grad på 15 °C sammenlignet med 10 °C forutsatt at det er oksygen til stedet. Unormale temperatursvingninger påvirket av ytre krefter som varme fra kjellere har nok påvirket bevaring av kulturlagene før overvåkingen startet. Svingninger i jordfuktighet mellom fuktige og tørrere forhold vil være ugunstig for å beskytte organiske kulturlag i bunnen. NIBO skulle gjerne sett at kulturlagene i fjernvarmegrøften i det undersøkte området hadde høyere jordfuktighet.

LITTERATURREFERANSER

Amundsen, Carl Einar & Odvar Vigdal 2011. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg. Effekt av fjernvarmenett i Storgata 2011. Bioforsk rapport Vol 6 (52) 2011.

Amundsen, Carl Einar & Ove Bergersen. 2012. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg. Effekt av fjernvarmenett i Storgata 2011. Bioforsk rapport, Status rapport I Vol 7 (60) 2012.

Bergersen, Ove. 2014. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg. Effekt av fjernvarmenett i Storgata. Bioforsk rapport, Statusrapport II Vol 9 (79) 2014.

Bergersen, Ove. 2015. Overvåking av temperatur og fuktighet i kulturlag i Tønsberg. Effekt av fjernvarmenett i Storgata. Bioforsk rapport, Statusrapport III Vol 10 (37) 2015.



Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.