



**NIBIO**

NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim

## Sluttrapport 2015 til 2020

NIBIO RAPPORT | VOL. 7 | 19 | 2021



Ove Bergersen

Divisjon for miljø og naturressurser

**TITTEL/TITLE**

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim.

Sluttrapport 2015 til 2020

**FORFATTER(E)/AUTHOR(S)**

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
05.02.2021	7/19/ 2021	Åpen	8681	17/01475
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER	ANTALL VEDLEGG:	
978-82-17-02755-3	2464-1162	29	4	

**OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:**Riksantikvaren, Distriktskontor Trondheim  
Norsk institutt for kulturminneforskning,  
Distriktskontor Trondheim**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**Sissel Ramstad Skoglund  
Anna H. Petersén**STIKKORD/KEYWORDS:**Redoksforhold, bevaring, kulturminner,  
Miljøovervåking, nedbrytning**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**Jordkvalitet Miljøovervåking  
Middelalderbyen Trondheim**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Fredete kulturlag på tomten i Søndre gate 7-11 (Petter Egges plass) i Trondheim er gravd frem av NIKU. Disse kulturlagene har blitt overvåket i 5 år fra 2015-2020. Dette er sluttrapport på overvåkingen. I kulturlagene er det tre profiler som er spesielt godt undersøkt med sensorer: Profil 6, 4 og 3 der Profil 6 ligger høyest. Forundersøkelsen viste at flere kulturlag hadde god bevaring i Profil 6 mens profil 3 & 4 hadde dårlige bevarte kulturlag før overvåkingen startet. Jordtemperaturen i Profil 6 var 5-7 °C i gjennomsnitt gjennom året i bunn, 7-10°C i øvre del. Fluktusjoner i jordfuktighet ble påvist flere ganger i bunnen av profil 6, mens den ble påvist stabil på 35% i øvre del og omkring 42 % i dypere kulturlag i hele perioden 2015 – 2020. Jordtemperaturen i Profil 4 og 3 er relativt lav i overvåkingsperioden 2015 – 2018, på 4 -7 °C, men steg fra 8-10°C i 2019 og 2020 når nytt bygg var ferdigstilt. Jordtemperaturen steg også i øvre del av Profil 6 omkring 8 moh. fra 2019-2020. Jordfuktighet i Profil 4 og 3 mangler etter 2017 etter graveuhell med utstyr. Måling av redoksforholdene med de nye sensorene har gitt resultater i hele perioden fra 2015 til ut 2020, med unntak av kort stopp i loggingen. Overvåking i profil 6 viser svakt oksiderende forhold fra 8.10 moh. – i øvre og midtre del av profilen ned til 7.35 moh. i den høye siden av profilen. Årsaken er at organiske kulturlag er omgitt av sandrike masser og påvirkes av nedbør. I snittverdier etter 5 år ligger redokspotensialet fra +280 til +440 mV som tilsier at oksygen er til stede i profilene selv om noen av de gamle redokssensorer i Profil 6 viste noe lavere verdier. Svakt oksiderende forhold ble også målt i Profil 4 og 3, men her har redokspotensialet sunket over tid og etter nytt bygg er satt opp fra +600 ned til +300 mV. Etter at huset på tomten er ferdigstilt ble det observert en gjennomsnittlig temperaturøkning fra 8-10°C de 2 siste årene av overvåkingen i profil 4 og 3. Disse profilene ligger nå under det nye bygget. Tross at det har vært enkelte avvik med uhell og skader på noen sensorer i disse driftsårene, mener NIBIO at overvåkingen viser at bevaringsforholdene ikke har forverret seg etter at nytt bygg er reist på tomten.

**LAND/COUNTRY:**

Norge

**FYLKE/COUNTY:**

Sør-Trøndelag

**KOMMUNE/MUNICIPALITY:**

Trondheim

**STED/LOKALITET:**

Søndre gate 7-11 / Petter Egges plass

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

**GODKJENT /APPROVED**



---

**TROND MÆHLUM, SENIORFORSKER**

**PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER**



---

**OVE BERGERSEN, SENIORFORSKER**



**NIBIO**  
NORSK INSTITUTT FOR  
BIOØKONOMI

# Forord

Denne sluttrapporten er skrevet på oppdrag fra NIKU. NIBIO har utført miljøovervåking fra viktige arkeologisk kulturlag på tomten av Søndre gate 7-11 (Petter Egges plass) i Trondheim. Det ble installert overvåkingsutstyr som skal overvåke hvordan kulturlag fra dette automatisk fredete området av middelalderbyen, bevares over tid In Situ. Overvåkingsdata fra 2015 til 2020 er fremstilt og vurdert i denne rapporten.

Fra NIBIO har følgende personer deltatt i prosjektet:

Måletekniske arbeider i felt: Thor Endre Nytrøen, Srikanthapalan Muthulingam og Ove Bergersen

Laboratorieundersøkelser: Hege Bergheim og Ove Bergersen

Rapportering: Ove Bergersen

Kvalitetssikring av rapporten: Trond Mæhlum

Ås, 01.02. 2021



Ove Bergersen

Prosjektleder

# Innhold

1	Introduksjon .....	6
1.1	Bakgrunn.....	6
1.2	Målet for prosjektet.....	6
1.3	Avvik .....	6
2	Metoder og utstyr .....	8
2.1	Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner .....	8
2.2	Feltarbeide og prøvetaking.....	8
2.3	Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag – analyser av jordprøver .....	8
	Grunnleggende analyseparameter S1 analyser .....	9
	Miljøparameter S2 analyser .....	9
2.4	Feltarbeid i forbindelse med den del av prosjektet som omfatter miljøovervåking .....	10
2.5	Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag .....	11
2.6	Installering av sensorer i kulturlag.....	12
2.7	Installering av datalogger .....	12
2.8	Stabilitet og nedbryting undersøkelse av jordprøver fra midten og bunnen av Profil 6 .....	15
3	Resultater og diskusjon .....	16
3.1	Forundersøkelse, vurdering av bevaringsforholdene fra Profil 3,4 og 6 .....	16
3.2	Overvåking av jordtemperatur målt i Profil 3, 4 og 6 .....	17
3.3	Overvåking av jordfuktighet målt i Profil 3, 4 og 6. ....	19
3.4	Overvåking av redoksførhold målt i Profil 3, 4 og 6.....	22
3.5	Nedbrytningsstudier av prøver fra profil 6 i Søndre gt 7-11.....	26
4	Konklusjoner.....	28
	Litteratur .....	29
	Vedlegg .....	30

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

NIKU fikk i oppdrag av Riksantikvaren, Distrikt Nord, å utforme en plan for et Miljøovervåkingsprosjekt i området Søndre gate 7–11 i Trondheim. Tiltaket er en del av Riksantikvarens satsing på miljøovervåking av ulike middelalderbyer.

Før oppstart var det tilgjengelige resultater fra en forundersøkelse i 2007 med kartlegging av tilstand og bevaringsforhold (Bioforsk rapport 103/2007). Disse viste at i denne delen av middelalderbyen ble det påvist tykke godt bevarte kulturlag. NIKU har brukt disse resultatene som en del av grunnlaget for vurdering av egnet sted for planlagt miljøovervåkingsprosjekt. Høsten 2015 ble det gravet ut flere profiler på tomten Søndre gate 7-11 (Petter Egges plass) i Trondheim (Figur 1). I 3 profiler ble det installert overvåkingsutstyr som skal overvåke hvordan kulturlag fra dette automatiske fredete området av middelalderbyen Trondheim bevares over tid in Situ. I tillegg er det analysert jordprøver fra de områder hvor sensorene ble plassert for å få kunnskap om hvordan bevaringsforholdene var i kulturlagene før overvåkingen startet.

Dette er sluttrapport fra overvåkingsperioden fra installasjonen høsten 2015 til og med 2020. Den bygger videre på Statusrapport I (Bergersen, 2017), Statusrapport II (Bergersen, 2018) og Statusrapport III (Bergersen, 2019). På tomten har det vært byggeaktivitet siden 2018 og i 2020 er nytt hus ferdigstilt over profil 3 og 4. Profil 6 er uforandret under bakkeplan og vil derfor påvirkes mer av utetemperaturen og nedbør enn profil 3 og 4.

## 1.2 Målet for prosjektet

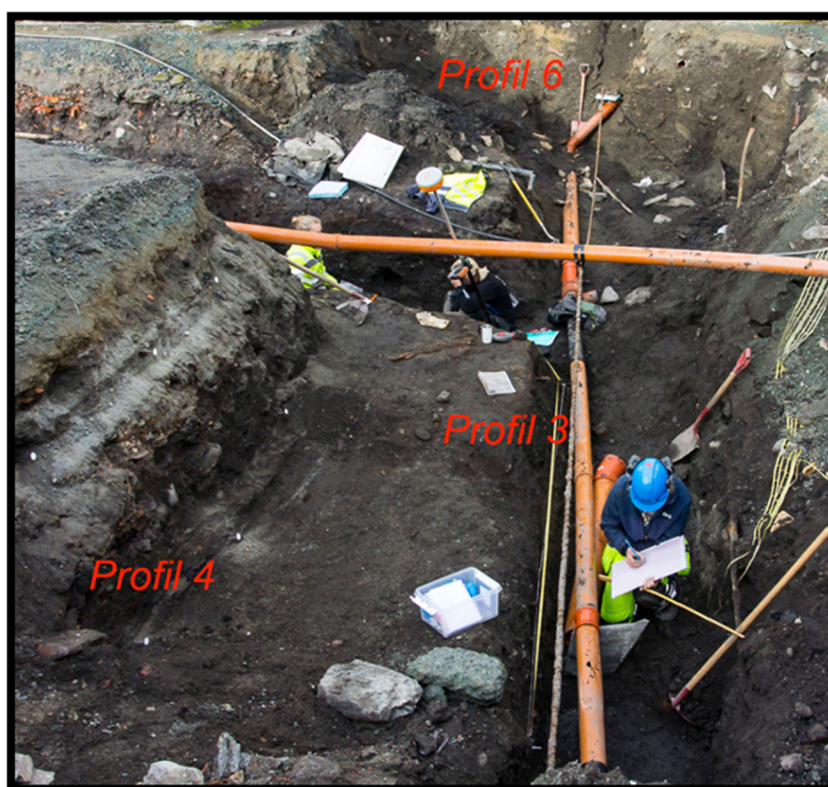
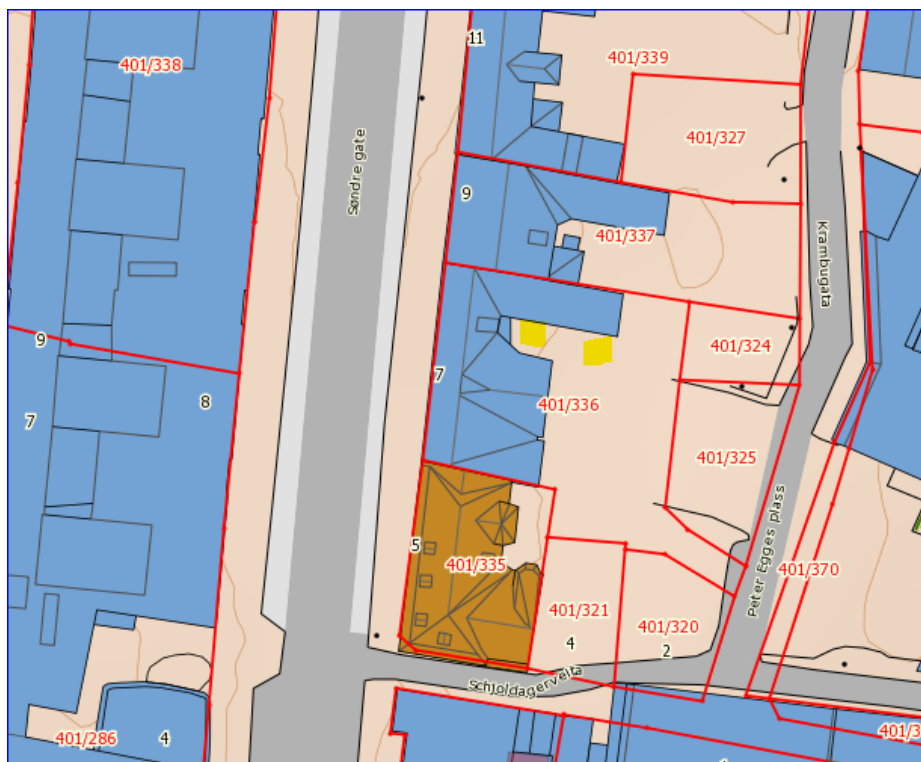
1. Forundersøkelse og vurdere bevaringsforholdene i jordprøver fra flere kulturlag som skal overvåkes.
2. Overvåke disse kulturlagene in Situ i 5 år fra 2015 - 2020.
3. Ekstra resultater fra langtids nedbrytingsstudie av prøver i profil 6.

Boligbygging nær kulturminner i jord kan påvirke jordtemperatur, hydrologi og oksygentilgang. Undersøkelsene i pkt 1 – 3 skal fremskaffe data som kan gi et grunnlag for å vurdere stabilitet i bevaringsforhold over tid og spesielt som følge av utbygging av deler av tomten i den aktuelle måleperioden.

## 1.3 Avvik

Målesensorene har gitt fornuftige resultater i måleperiodens første år fra september 2015 til oktober 2016. Etter den tid har vi observert feil ved verdier som gav avvik i målingene. Sensor 6, temperatur og fuktighet (7.50 moh.) i profil 3 sluttet å gi pålitelige verdier fra 5. oktober 2016 og har høyst sannsynlig gått i stykker.

Temp/fukt Sensor 4 (7.90 moh.) og sensor 5 (7.75 moh.) i profil 4 stoppet å virke 30. januar 2017. Skade på fuktighetsensorene har skjedd som følge av videre utgravinger i området (personlig info fra prosjektleder Anna H. Petersén i NIKU). All overvåking i hele området ble stoppet 2. oktober 2017. Overvåkingen har startet opp igjen i mars 2018. Etter den tid mangler vi data på jordfuktighet i profil 3 og 4 siden alle tre sensorer er skadet og gir feil signaler. Jordtemperaturen måles fortsatt i sensor 4 og 5 fra profil 4 og sensor 1, 2 og 3 i Profil 6 til høsten 2020. Sensor 1 fukt og jordtemperatur ga feil signaler fra november 2020. De gamle redokssensorer satt in i Profil 6 ga unormale verdier i midten av overvåkingsperioden slik at kun de første og siste års data er tatt med i rapporten. I tillegg er redokspotensialet målt med nye sensorer 1, 2 og 3 Profil 6 og sensor 4 i Profil 4 og sensor 5 i Profil 3.



Figur 1. Oversiktskart over tomten Søndre gate 7-11 / Petter Egges plass (Kilde: Norges kart). Utgravede område (markert gult over) og ulike profiler hvor data er hentet fra (under). Foto NIBIO Ove Bergersen.

## 2 Metoder og utstyr

### 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.

**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.

**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 Feltarbeide og prøvetaking

Arkeologisk vurdering er foretatt av NIKU ved prosjektleder Anna H. Petersén. Jordprøver er tatt av NIBIO for videre kjemisk og fysisk analyse ved Ove Bergersen og Hege Bergheim.

### 2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag – analyser av jordprøver

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 redoks-reduksjon av andre forbindelser. Mikroorganismer får energi fra slike reaksjoner og bruker denne energien til blant annet oppbygging av biomasse. Mest energi får mikroorganismer hvis de kan bruke oksygen til å oksidere organisk materiale. Noe mindre energi genereres hvis nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) brukes og enda mindre ved forbruk av treverdige jern, Fe(III), fireverdige mangan (Mn (IV)), sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) eller oksidert organisk materiale (se figur i vedlegg 3). 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 langsomste nedbrytningen av organisk materiale, og minst oksidering 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 kjennemerket bra til utmerket bevaringsforhold. Imidlertid må stedsspesifikke forhold tas i betraktning. I vedlegg 3 er det illustrert en enkel oversikt som viser generelt hvordan kulturlagene vurderes på bevaringsforhold. I flere tilfeller vil man få grenseoverganger. I det oransje markerte område vises nivåer av målte kjemiske parameter for typisk oksiderende forhold, men reduserende forhold er vist med blått.

Redoksforhold i grunnen kan karakteriseres ved å måle redoks-sensitive elementer 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 mikro-organismene 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 jern-reduserende, 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 heller ikke ventet høye sulfidkonsentrasjoner. Ved sulfatreduserende forhold vil jern alltid være i redusert form.

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.

## Grunnleggende analyseparameter S1 analyser

Ledningsevne og pH verdi: 25 ml oksygenfritt vann ble tilsatt til 10 g jordprøve. Prøven ble ristet i 1 time uten tilgang av oksygen. Etter at partikkelfasen hadde sedimentert, ble elektrisk ledningsevne målt i vannfasen.

Ledningsevnen ble multiplisert med en faktor 3,6 i henhold til Shirokova, et al. (2000) for å estimere ledningsevnen i jordmettet ekstrakt. Deretter ble pH-verdien målt i samme prøve.

Tørrestoffinnhold: En våt jordprøve med kjent vekt ble tørket ved 105 °C i 24 timer. Vekttapet etter tørkingen tilsvarer vannmengden i prøven. Tørrestoffbestemmelsen ble foretatt med tre replikater per prøve.

Glødetap: Tørket jordprøve ble forbrent ved 550 °C i seks timer. Vekttapet, også kalt glødetap er et mål for andel organisk materiale.

## Miljøparameter S2 analyser.

Analyser i henhold til analysepakke S2 inkluderer S1 analyser i tillegg til følgende uorganiske parameter:

Bestemmelse av to- og treverdig jern (Fe II, Fe III): Jern (II) og jern (III) bestemmes i henhold til en metode utviklet av (Stokey, 1970) som bruker ferrozine til bestemmelse av jern (II). Jordprøven ekstraheres med 0,5 molar saltsyre i anaerobt miljø. Jern(II) som lager en fargekompleks med ferrozine bestemmes fotometrisk. Jern (III) som befinner seg i ekstraktet blir deretter redusert til jern

(II) ved hjelp av hydroxylamin og total mengde jern bestemt på samme måte som nevnt ovenfor. Jern (III) bestemmes som differanse av total jern og jern (II) i ekstraktet.

#### Sulfid

Sulfid ble bestemt i henhold til EPA-standardmetode 9030 og 9034. Jord ble inkubert med 6 molar saltsyre i 60 min i nitrogenatmosfære. Sulfid ble frigjort som hydrogensulfid som transporteres med nitrogen gjennom to sulfidfeller fylt med sinkacetat.

Sulfid ble deretter bestemt titrimetrisk ved å oksidere sulfid til svovel ved hjelp av jod og tilbake titrere med natriumtiosulfat.

Ekstraksjon av sulfid med 6 molar saltsyre (uten koking) vil kvantifisere den andelen av sulfid som relativt raskt oksideres til sulfat i nærvær av oksygen (Rickard og Morse, 2005). I tillegg til amorfe sulfider vil dette være mackinawit og greignit. Kun en liten del av pyritt (4-10 %) løses med denne prosedyren.

Pyritt er kjent å være relativt stabil også i nærvær av oksygen og vil bare langsomt reagere til sulfat/svovelsyre. Hvis en vil karakterisere de aktuelle redoksforholdene i grunnen, er det ønskelig å løse så lite pyritt som mulig ut av prøven.

Sulfat: Jordprøven ble ekstrahert med vann og ekstrahert sulfat analysert ved hjelp av ionekromatografi. Analysen ble gjennomført ved Eurofins AS.

Nitrat og ammonium: Prøven ekstraheres med 2 mol/l KCl og analyseres ved hjelp av en TRAACS-800 auto analysator som bruker en fargereaksjon til bestemmelse av nitrat- og ammoniumkonsentrasjon. Analysen ble gjennomført ved Eurofins AS.

## 2.4 Feltarbeid i forbindelse med den del av prosjektet som omfatter miljøovervåking

Feltarbeidet ble utført i september 2015 av Ove Bergersen, Thor Endre Nytrøen og Srikanthapalan Muthulingam. Profilen var ferdig gravet ut av Anna H. Petersén ved NIKU før prøver ble tatt og utstyr for overvåking satt inn og montert sammen til måleskap. Utstyret og datalogging fra de ulike sensorene ble kontrollert før profilen ble fylt igjen med bentonittduk inntil profilveggene for å beskytte kulturlag og utstyr. En samlet oversikt over plassering av de ulike sensorene koblet til de ulike skapene er vist i tabell 1A og 1B.

**Tabell 1A. Oversikt over plassering av sensorene for jordtemperatur, -fuktighet og Hanna redokssensorer til høyre skap. Målinger ved installasjon og etter 1 uke er lagt inn.**

Høyre skap sensor nr	Sensor type nr	Plassering/ hull/ Prøve Nr	Plassering (moh)	Merknader ved prøvetaking	Sensor verdier 20- 30 cm inn	Sensor verdier 1 uke	Felt målinger nær kanten
<b>Profil 6</b>							
Kobling 1	Redox 1 Hanna	1 øvre høyre	8.07	oksidierende	450 mV	340 mV	
Kobling 2	Redox 2 Hanna	2 hjørne venstre	8.00	oksidierende	320 mV	380 mV	
Kobling 3	Redox 3 Hanna	3 midten bunn	7.45	reduserende	-137 mV	-275 mV	
Kobling 4	Fuktighet 1	1 øvre høyre	8.10		40.0%	36.5%	56.0%
Kobling 5	Temperatur 1	1 øvre høyre	8.10		11.3 °C	8.3 °C	
Kobling 6	Fuktighet 2	2 hjørne venstre	7.95		41.1%	41.3%	51.1%
Kobling 7	Temperatur 2	2 hjørne venstre	7.95		10.8 °C	9.8 °C	
Kobling 8	Fuktighet 3	3 midten bunn	7.45		35.5%	35.5%	42.1%
Kobling 9	Temperatur 3	3 midten bunn	7.45		11.1 °C	10.5 °C	
<b>Profil 4</b>							
Kobling 10	Fuktighet 4	Øvre venstre	7.90		18.5%	24.3%	21%
Kobling 11	Temperatur 4	Øvre venstre	7.90		11 °C	10.4 °C	
Kobling 12	Fuktighet 5	Nedre høyre	7.75		24.3%	26.5%	24%
Kobling 13	Temperatur 5	Nedre høyre	7.75		11 °C	11.1 °C	
<b>Profil 3</b>							
Kobling 14	Fuktighet 6	Nedre høyre	7.50		19.5%	21.8%	25%
Kobling 15	Temperatur 6	Nedre høyre	7.50		10.5 °C	11.1 °C	

**Tabell 1B. Oversikt over plassering av de nye redokssensorer fra EKT 950 koblet til venstre skap. Målinger ved installasjon. Disse verdier må omregnes i forhold til temperaturen i profilen og er høyere.**

Venstre Skap sensor nr	Sensor ny type nr	Plassering/ hull/ Prøve nr	Plassering (moh)	Merknader ved prøvetaking	Sensor verdier 20- 30 cm inn	Sensor verdier 1 uke
Kobling 1	Redox ny 1	Profil 6 øvre høyre	8.10	oksidierende	552 mV	572 mV
Kobling 2	Redox ny 2	Profil 6 hjørne venstre	7.95	oks. mot red.	350 mV	120 mV
Kobling 3	Redox ny 3	Profil 6 midten bunn	7.35	reduserende	-242 mV	50 mV
Kobling 4	Redox ny 4	Profil 4 midten	7.75	oks. mot red.	410 mV	225 mV
Kobling 5	Redox ny 5	Profil 3 nede	7.35	oks. mot red.	239 mV	180 mV
Ref elektrode	Redox	Profil 6 Venstre 2	8.00			

## 2.5 Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag

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). Varmekapasiteten (evnen til å lede varme) vil derfor være 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. Temperatursvingningene i tette jordarter (silt- og leirholdige) vil derfor være mindre enn for eksempel i sandjord og organisk jord.

I det aktuelle område ønsker NIKU og Riksantikvaren i Trøndelag overvåking av temperatur, jordfuktighet og redoksforhold i 5 år for å se om de påviste arkeologiske kulturlag er utsatt for svingninger og forandringer Før og etter nytt bygg er satt opp. Økt temperatur og svingninger i tørt og vått klima kan virke inn på nedbrytingen av de arkeologiske kulturlag. I de siste årene

av overvåkingen har det også foregått større utgravinger grunnet funn av hellige Olavs første gravplass.

## 2.6 Installering av sensorer i kulturlag

Sensorer for måling av temperatur og fuktighet som ble installert var av typen TRIME-PICO 32 fra IMKO Modultechnik GmbH. Sensorene kan installeres horisontalt eller vertikalt i jord. Mer informasjon om sensorene kan finnes på [www.imko.de](http://www.imko.de).

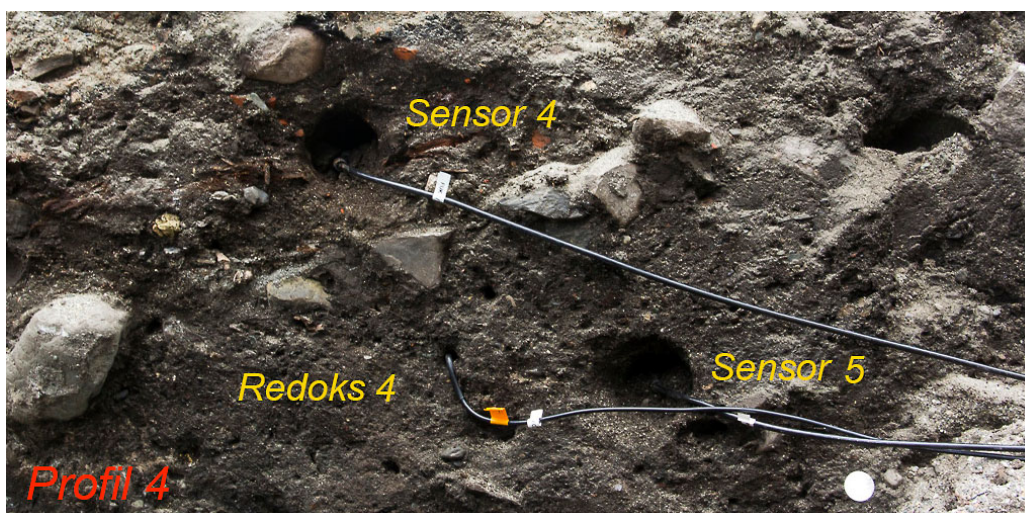
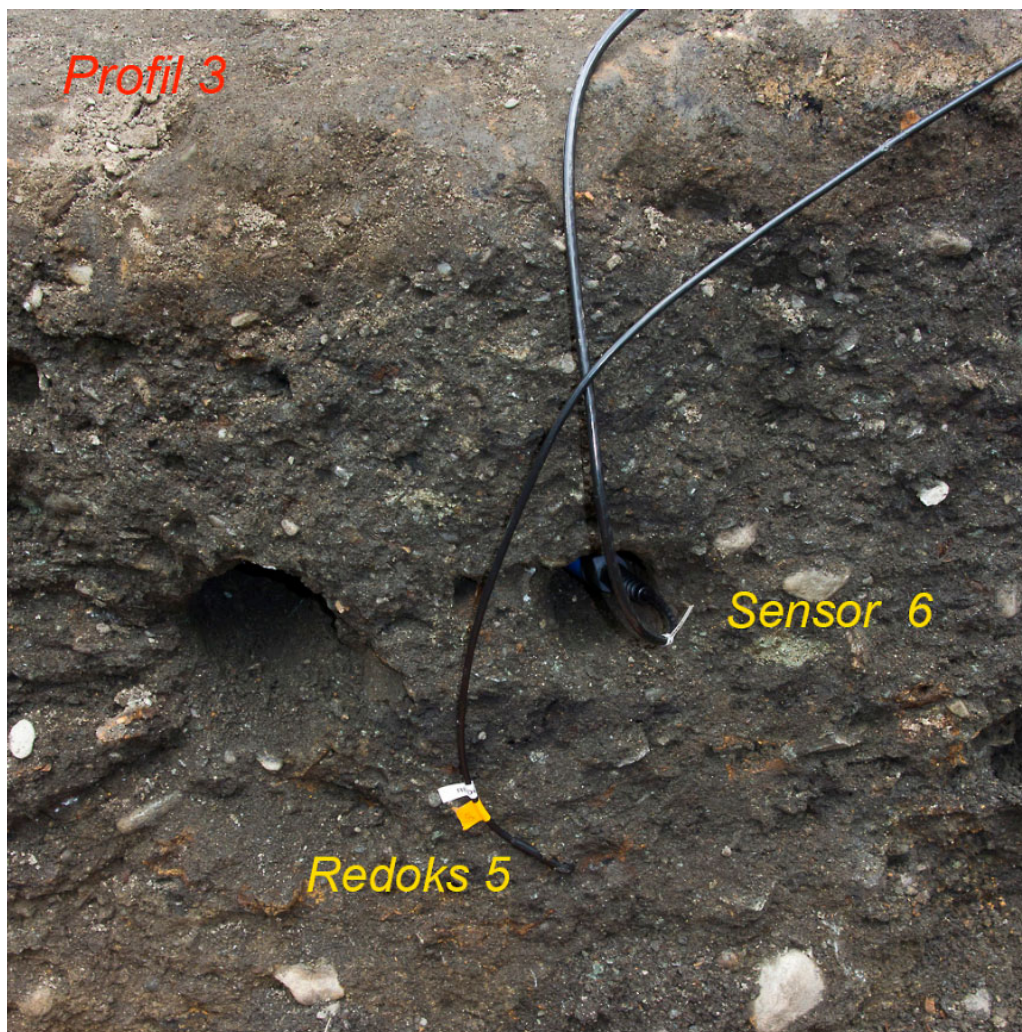
Sensorene ble installert i ulike høyder av kulturlag i utgravde profiler 3., 4. og 6. september 2015 (Figur 2 og 3). Plasseringen til sensorene var de steder hvor de arkeologiske konteksters prøver er tatt ut for videre kjemisk-fysisk analyse. Ved siden av jordfuktighet/temperatur-sensor, ble også redokssensorer av to ulike typer satt inn. En tidligere brukt redokssensor som har både ref. elektrode og platina elektrode i samme glass sensor, Hanna instrument nr. HI2930B/5, ble satt inn. Verdiene og egen spenning ble justert med +171mV. I tillegg ble nye redoks sensorer fra EKT 950 satt inn fra Ecotech. Disse er levert av fra IMKO Modultechnik GmbH. Platina elektroder (EKT 9500201020) ble satt inn på ulike steder i profilen. I tillegg ble en felles 3M Ag/AgCl Ref. elektrode (EKT 9500201022) satt inn i representative masser som vil kommunisere og redoks verdier fra platina elektrodene. Ref. elektroden ble plassert i et beskyttende rør med gel av 3M Ag/AgCl som skal gi god kontakt med jord og beskytte elektroden. Alle redoks verdiene (Eh.) ble omregnet med 210mV vurdert ut fra målt middeltemperatur i kulturlagene. Hanna instrument nr. HI2930B/5 er ikke beregnet for jord i utgangspunktet, men har vist seg å fungere i kulturlag som har høyere fuktighet.

Måling av redokspotensialet gir informasjon om hvor gode bevaringsforholdene er der det blir overvåket. Jordfuktighet og temperatur vil vise oss eventuelle fluktuasjoner når større mengder nedbør og frost påvirker profilen. Ut fra disse målingene vil det være mulig å se hvor stabile forholdene er i kulturlagene. Veksling mellom tørre og våtere perioder vil medføre at porene i profilen tilføres oksygen. Redoksmålinger vil si mer om hvordan bevaringsforholdene er i kulturlagene. Oksiderende forhold med mye oksygen vil medføre nedbryting av organisk materiale.

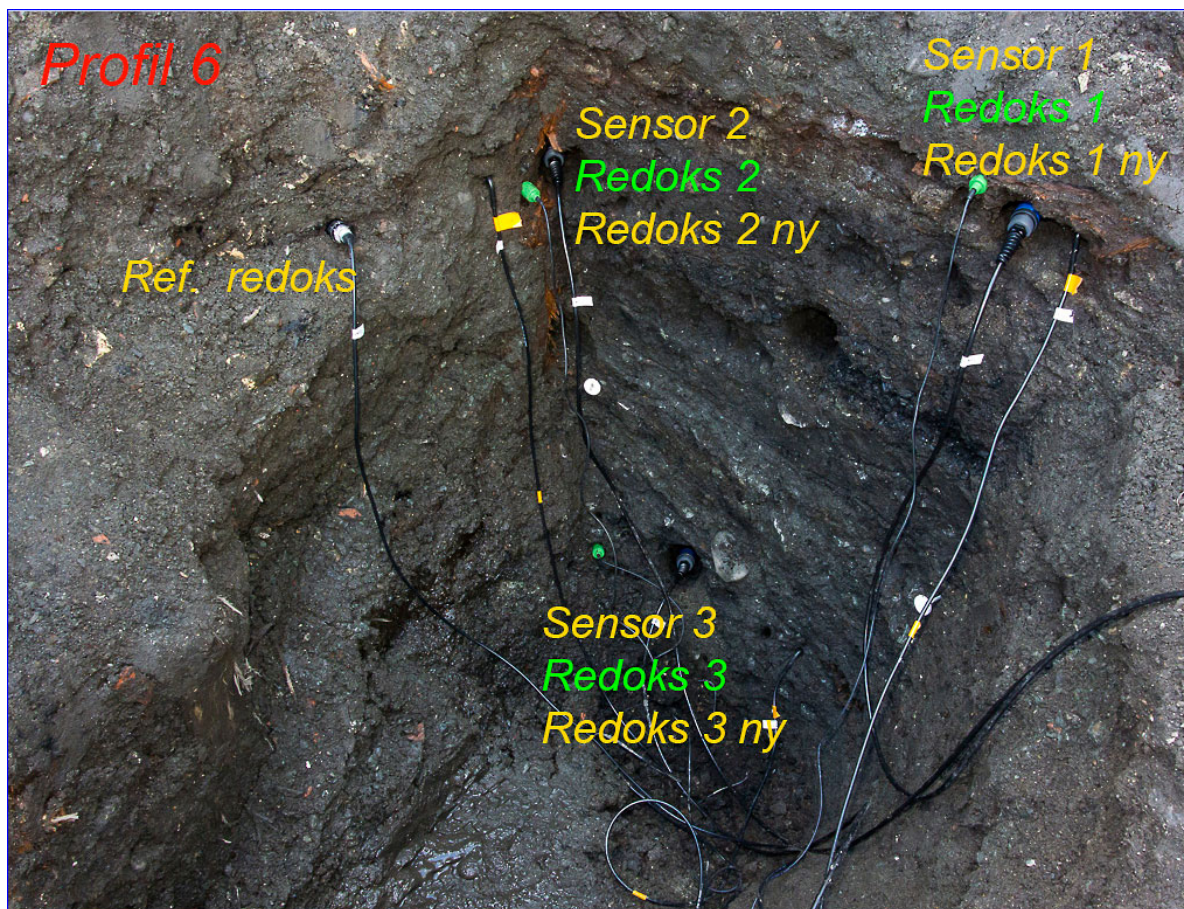
Sensorene ble installert i ulike lagene der jordprøver ble tatt ved først å bore opp et hull med jordbor med diameter som sensoren i ønsket dybde. Deretter ble sensoren trykket forsiktig på plass i bunn av hullet slik at metallstengene (lengde 11 cm, diameter 0,35 cm) hadde god kontakt med jorda. Sensorer ble stabilisert med masse slik at spenn og press på sensorhodene skulle unngås. Etter at datalogging var startet ble alle sensorer kontrollert med feltmåleutstyr slik at de viste samme jord temperatur og fuktighet. Hele profilveggen ble dekket til med bentonitt duk før den ble gjenfylt.

## 2.7 Installering av datalogger

Ledningene fra sensorene ble ført til to beskyttende skap (Vedlegg 1) og koblet sammen til datalogger. Dataloggeren var en UniL og Com fra SEBA Hydrometrie (<http://www.seba-hydrometrie.de/en/applications.html>). Data overføres fra logger via GPRS (datatrafikk over mobil nettet) til internett. På denne måten kan utviklingen i redoks, temperatur- og fuktighetsforhold følges kontinuerlig fra en web side. For at god overføring av signaler skal kunne skje er en spesiell antenne koblet til. Loggeren tilføres strøm via et 12V batteri med lang levetid.



Figur 2. Foto illustrasjon på innstallering av sensorer i profil 3 og 4.



**Figur 3.** Foto illustrasjon på installering av sensorer i profil 6. Sensor 1, 2 & 3 registrerer jordfuktighet og temperatur. Redoks 1, 2 & 3 er gamle redoks sensorer fra Hanna instrument. Redoks 1, 2 & 3 ny er nye redoks sensorer fra EKT (se kap. 2.7). Ref. elektroden er plassert rett til venstre for sensorene 2. Redoks 3 ny er plassert dypere i profil 6 (høyre hjørne). Sistnevnte er ikke direkte sammenlignbar med Redoks 3.

De første uker med målinger hvor nye og gamle redokssensorer ble sammenlignet viste godt samsvar med hverandre, både når de viste reduserende, eller oksiderende forhold. I midtre del av overvåkings-perioden 2017 viste redokspotensialet målt ved Hanna elektrodene unormale verdier og er ikke med. Kun de første og siste dataserier er med i sluttrapporten.

Ofte kan dataserier fluktuere mye og derfor beregner vi også medianen\* på dataseriene. I overvåkings-perioden er det ikke observert store svingninger eller fluktuasjoner i måleseriene. Kun små svingninger i jordfuktighet med økt nedbør i profil 6.

Medianverdier gir mer riktig verdi hvis dataene fluktuerer mer.

*\* 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 gjennomsnittsverdi, er at median er stabil overfor ekstreme observasjoner (som blant annet kan fremkomme ved målefeil).*

## 2.8 Stabilitet og nedbryting undersøkelse av jordprøver fra midten og bunnen av Profil 6

Tre flasker med volum (120mL) ble tilført 5 gram jord fra hvert av kulturlagene med god bevaring SOPS verdi A4 fra (7.95 moh) og (7.45 moh).

Anaerob veske (2 ml) ble tilsatt til hver flaske med jordprøve og alle flasker ble opparbeidet i anaerob atmosfære. Flaskene ble satt ved 10°C i vannbad. Innholdet av produsert CO<sub>2</sub> inne i hver flaske ble målt ca hver måned på GC-gassanalysator *Agilent micro gas chromatograph* (Agilent Technologies 3000A). Hensikten med disse forsøk er å se hvor stabil det organiske materialet er eller om det brytes ned med luft (aerobt) og når luft ikke er tilstede (anaerobt) ved lav temperaturen.

Etter gassmålingene inne i flasken ble det beregnet akkumulert CO<sub>2</sub> i hver av flaskene. Ut fra disse målinger ble decay raten (nedbrytingsraten) beregnet over tid i mg karbon (CO<sub>2</sub>) per g organisk material (OM) per dag. Forsøket er en langtidsstudie på 530 dager utført parallelt med overvåkingen på tomten.







## 3 Resultater og diskusjon

### 3.1 Forundersøkelse, vurdering av bevaringsforholdene fra Profil 3, 4 og 6

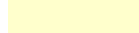

Analysen av ulike jordprøver fra de ulike profiler viste ulikt resultat. Tabell 2 viser at både Profil 3 og 4 hadde oksiderende forhold og dårlig bevaringsforhold av organisk materiale. Grunnlaget for informasjonen i tabell 2 er vedlagt i Vedlegg 2. Det ble her funnet lavt innhold av organisk materiale. I Profil 6 ble det påvist bra og middels bevaringsforhold i dypere lag. Bevaring av uorganisk materiale var middels til bra i alle profiler med unntak av det dypeste kulturlag i Profil 3.

**Tabell 2. Kjemiske og fysiske forhold i prøver hentet fra de steder hvor sensorene i Profil 3, 4 og 6 var satt inn, utført etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale**

Søndre gt 7-11	Dyp	Tørrestoff	Organisk innhold	Vann innhold	pH	Lednings- evne	Beverings forhold		
							Organisk material	Uorganisk material	Redoks forhold *
Prøvested	(moh)	(%)	(%)	(%)		uScm <sup>-1</sup>			
<b>Profil 6 toppkt.</b>									
	8.90								
Sensor 1 Temp/fukt	8.10	66	9	34	7.1	387	Dårlig	Middels	A2
Sensor 2 Temp/fukt	7.95	57	15	43	7.1	345	Bra	Middels	A4
Sensor 3 Temp/fukt	7.45	66	13	34	7.2	367	Bra	Middels	A4
Ref elektrode	8.00	51	17	49	7.6	426	Middels	Bra	A3
Prøve 2B midten	7.80	64	12	36	7.0	525	Bra	Middels	A4
<b>Profil 4</b>									
Sensor 4 Temp/fukt	7.90	77	7	23	7.7	1386	Dårlig	Bra	A2
Sensor 5 Temp/fukt	7.75	82	5	18	7.3	731	Dårlig	Middels	A2
<b>Profil 3</b>									
Sensor 6 Temp/fukt	7.50	84	3	16	6.8	384	Dårlig	Middels	A2
Prøve B3 venstre	7.50	79	4	21	6.5	513	Dårlig	Dårligere	A2- A3

	Lavt organisk materiale 10%
	Middels organisk materiale 10-25%
	Høyt organisk materiale 30-40%
	Lavt vanninnhold 10-20%
	Middels vanninnhold 30-40%
	Høyt vanninnhold 50-60%

	Elendig til dårlig
	Middels
	Bra til utmerket

	Oksiderende forhold
	Reduserende forhold
*	SOPS : NS 9451:2009

Overvåkingen av disse kulturlagene er vist i Kap. 3.1 til 3.4 fra september 2015 til ut året 2020. In Situ bevaringsforhold ser ikke ut til å ha forverret seg over tid siden lav temperatur er målt i alle tre profiler. Lav temperatur med gjennomsnitt og median temperatur på 5-7 grader de første årene med en gradvis økning fra 7-10 grader etter nybygg er på plass gir lavt forvitring av organisk materiale hvis ikke temperaturen stiger ytterligere.



## 3.2 Overvåking av jordtemperatur målt i Profil 3, 4 og 6

Jordtemperaturen målt i alle ulike kulturlag viste normalt forløp med synkende verdier utover høsten og vinteren, som igjen normalt steg utover vår og sommeren (Figur 4). Tabell 3 viser beregnet minimum, maksimum, median og gjennomsnittsverdier fra måleperioden sept. 2015 og 2016, 2017 og 2018. Disse beregninger viser at max temperatur i Profil 6 og 4 er målt lavere de to siste år 2017 og 2018 til 11 i nedre del og 13 °C i øvre kulturlag. Målinger i de dypere lag omkring (7.45 moh.) fra Profil 6, viste noe høyere temperaturer sammenlignet med de øvre lag i starten, men har jevnet seg ut over tid. Nå er det blitt beregnet gjennomsnittverdi på 6.6 °C i hele profilen. Kun noen få sommerdager viser makstemperaturer på over 10°C. (Figur 4, Tabell 3). I Profil 4 har gjennomsnittstemperaturer sunket i 2017, men steget noe i 2018 etter at nytt hus er satt opp. De naturlige svingningene som tidligere viste sommer og vinter er blitt betydelig mindre etter nytt bygg er kommet på plass (Figur 4).

**Tabell 3. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Profil 3, 4 og 6 i måleperioden 2015 og 2016 (over), i perioden 2017 (midten) og i perioden 2018 (under).**

Temperatur °C	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5	Temp. 6
<b>2015-2016</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	<b>3,5</b>	<b>0,7</b>	<b>-0,1</b>	<b>2,2</b>
<b>Maks</b>	<b>14,2</b>	<b>12,5</b>	<b>11,4</b>	<b>15,7</b>	<b>16,8</b>	<b>13,8</b>
<b>Median</b>	<b>5,6</b>	<b>6,1</b>	<b>6,9</b>	<b>5,4</b>	<b>4,8</b>	<b>7,1</b>
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>6,5</b>	<b>6,5</b>	<b>7,2</b>	<b>6,7</b>	<b>6,3</b>	<b>7,4</b>
	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
<b>2017</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>2,2</b>	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>0,4</b>	<b>-2,1</b>	
<b>Maks</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>11,8</b>	<b>13,4</b>	<b>13,4</b>	
<b>Median</b>	<b>6,1</b>	<b>6,1</b>	<b>5,3</b>	<b>4,2</b>	<b>4,2</b>	
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>7,3</b>	<b>7,4</b>	<b>6,9</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	
	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
<b>2018</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,6</b>	
<b>Maks</b>	<b>13,2</b>	<b>13,2</b>	<b>11,5</b>	<b>11,1</b>	<b>11,6</b>	
<b>Median</b>	<b>6,9</b>	<b>6,9</b>	<b>6,8</b>	<b>8,0</b>	<b>7,6</b>	
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>6,6</b>	<b>6,6</b>	<b>6,3</b>	<b>6,7</b>	<b>6,4</b>	

Sistnevnte svingninger har vedvart i profil 6. Gjennomsnittverdien de siste årene 2019 og 2020 i profil 4 viser en økning på 2-3 grader mellom 8 og 10°C. I profil 6 har den steget fra 8 til 10°C i øvre sjikt mellom 2019 og 2020 (Tabell 4). Sistnevnte profil ligger ikke under nytt bygg. Derfor kan det se ut som om nytt bygg ikke direkte skyldes høyere gjennomsnitt i jordtemperatur med mindre svingninger. Beregningene viste også liten forskjell mellom Profil 6 og 4 som ligger et stykke fra hverandre, selv med nytt bygg satt opp over Profil 4. Lav jordtemperatur er gunstig for å bevare organisk og uorganisk materiale, siden alle biologisk og kjemiske prosesser går sakte under 10 grader.

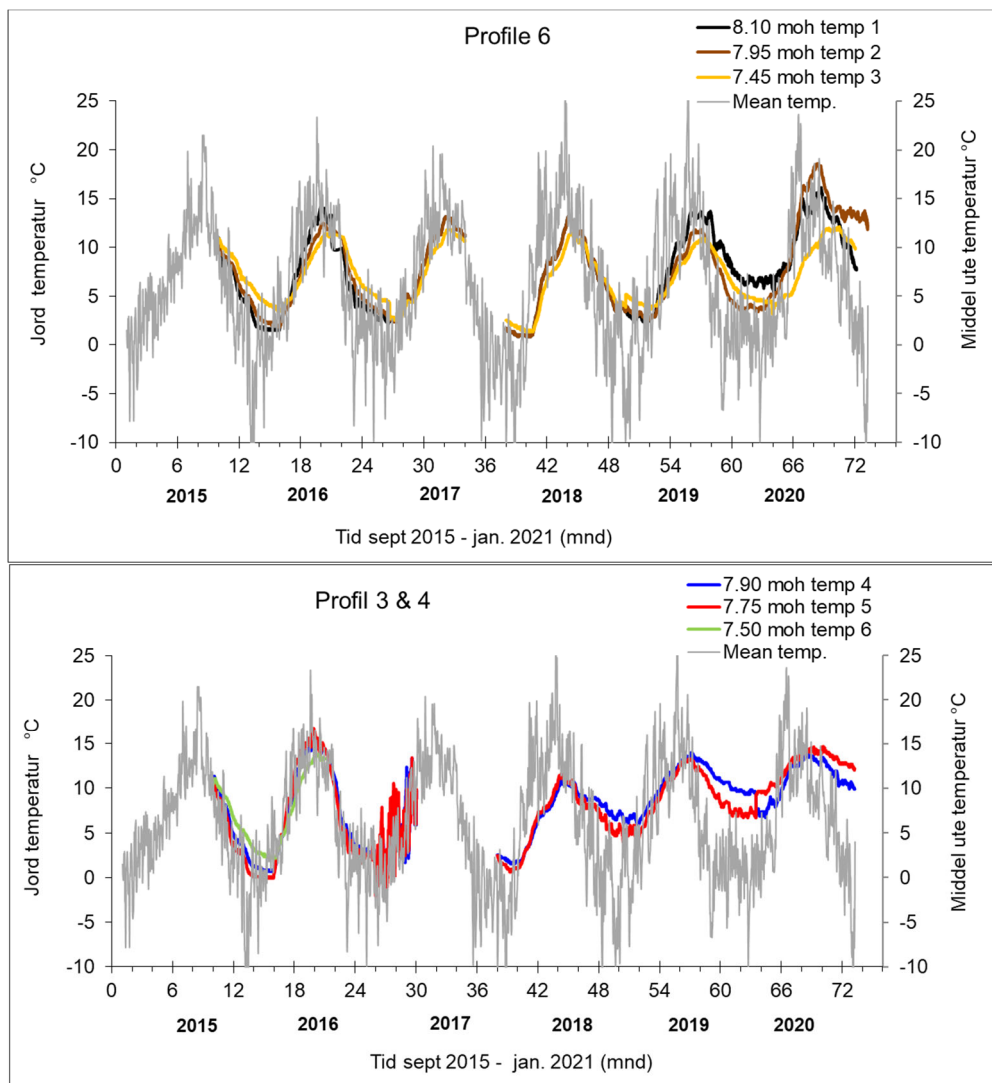
All mikrobiologisk forskning på naturlig nedbryting av organisk materiale viser at temperatur påvirker hastigheten i større grad fra 15 °C og oppover. Ved 10 °C skjer dette svært langsomt med eller uten oksygen tilstede. Studier på nedbryting av organisk materialet ved NIBIO (Petersén & Bergersen, 2016) og undersøkelser utført ved Nasjonalmuseet i Danmark (Hollesen & Matthiesen, 2011) viser at ved omkring 10 °C skjer det svært lite, men en temperaturøkning fra 10 og 15 °C akselerer nedbrytning hastigheten vesentlig, spesielt med oksygen tilgjengelig. Uten oksygen til stede vil tungt nedbrytbart materiale, som for eksempel trevirke, være beskyttet over tid. Ett langtidsforsøk på godt bevarte jordprøver fra Profil 6 i lukkede flasker, først uten luft etterfulgt med luft, er undersøkt ved 10 grader. Resultatet er beskrevet i kap. 3.5.

**Tabell 4. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Profil 3, 4 og 6 i måleperioden 2019 og 2020.**

Temperatur °C	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5	Temp. 6
<b>2019</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	<b>Høyre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>
<b>Min</b>	<b>2,2</b>	<b>2,5</b>	<b>3,7</b>	<b>6,0</b>	<b>4,0</b>	
<b>Maks</b>	<b>13,7</b>	<b>11,8</b>	<b>10,9</b>	<b>14,0</b>	<b>13,3</b>	
<b>Median</b>	<b>7,8</b>	<b>5,3</b>	<b>6,4</b>	<b>10,7</b>	<b>8,7</b>	
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>7,7</b>	<b>6,4</b>	<b>6,8</b>	<b>10,0</b>	<b>8,8</b>	

Temperatur °C	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Temp. 1	Temp. 2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5	Temp. 6
<b>2020</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	<b>Høyre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>
<b>Min</b>	<b>5,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,2</b>	<b>6,7</b>	<b>6,7</b>	
<b>Maks</b>	<b>18,6</b>	<b>18,6</b>	<b>14,7</b>	<b>14,7</b>	<b>14,7</b>	
<b>Median</b>	<b>10,0</b>	<b>12,9</b>	<b>8,9</b>	<b>10,6</b>	<b>12,5</b>	
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>10,1</b>	<b>10,7</b>	<b>7,9</b>	<b>10,7</b>	<b>11,4</b>	



**Figur 4.** Jordtemperatur målt i ulike kulturlag fra Profil 3, 4 og 6 i tidsrommet sept. 2015 og ut 2020 sammenstilt med middeltemperatur per dag i Trondheim sentrum (data fra [www.yr.no](http://www.yr.no)). Data mangler fra Profil 3 og 4, sensor 6 stoppet høsten 2016 og flere sensorer i store deler av 2017 etter et graveuhell på tomten.

### 3.3 Overvåking av jordfuktighet målt i Profil 3, 4 og 6.

De viktigste observasjoner i startfasen av miljøovervåkingen viste at jordfuktighetens gjennomsnitt verdi i profil 3 og 4 ble målt til 20-25 % i 2015 til 2016, og fra Profil 6 ble jordfuktigheten målt til 33-42%. Sensor 3 i kulturlaget på 7.45 moh. i bunnen av Profil 6 fluktuerte mest i dager med mye nedbør i denne måleperioden (Tabell 5, Figur 5 over).

Dessverre mangler vi data på jordfuktighet i profil 3 og 4 de siste 4 år 2017 til 2020 siden utstyr sluttet å virke etter arbeids uhell og skade på sensorer våren 2017 (Figur 5 under). I de siste årene ble det derfor kun målt jordfuktighet i Profil 6. Profil 3 og 4 var kompakte og tørre kulturlag med lav jordfuktighet som nå ligger under nytt bygg de siste årene.

I 2017 ble jordfuktigheten målt til 35-43%, og gjennom 2018 ligger jordfuktigheten i Profil 6 på 36 til 42% (Tabell 5). Forskjellen ble beregnet i gjennomsnitt på 36 % ved 8.10 moh, 42 % i midten og 38 % i bunnen av Profil 6 ved (7.95 ned til 7.45 moh.). Mot slutten av året lå alle tre sensorer i gjennomsnitt nærmere 40% i hele profilen i nedbørsrik periode uten fluktuering i 2018 (Figur 5 over). I løpet av 2019 og 2020 ligger jordfuktigheten på 36- 38% i øvre del av profilen, mens nedre del ligger på 44 og 39 % (Tabell 6).

Tabell 5. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Profil 3, 4 og 6 i måleperioden 2015 og 2016 (over), i perioden 2017 (midten) og i perioden 2018 (under)

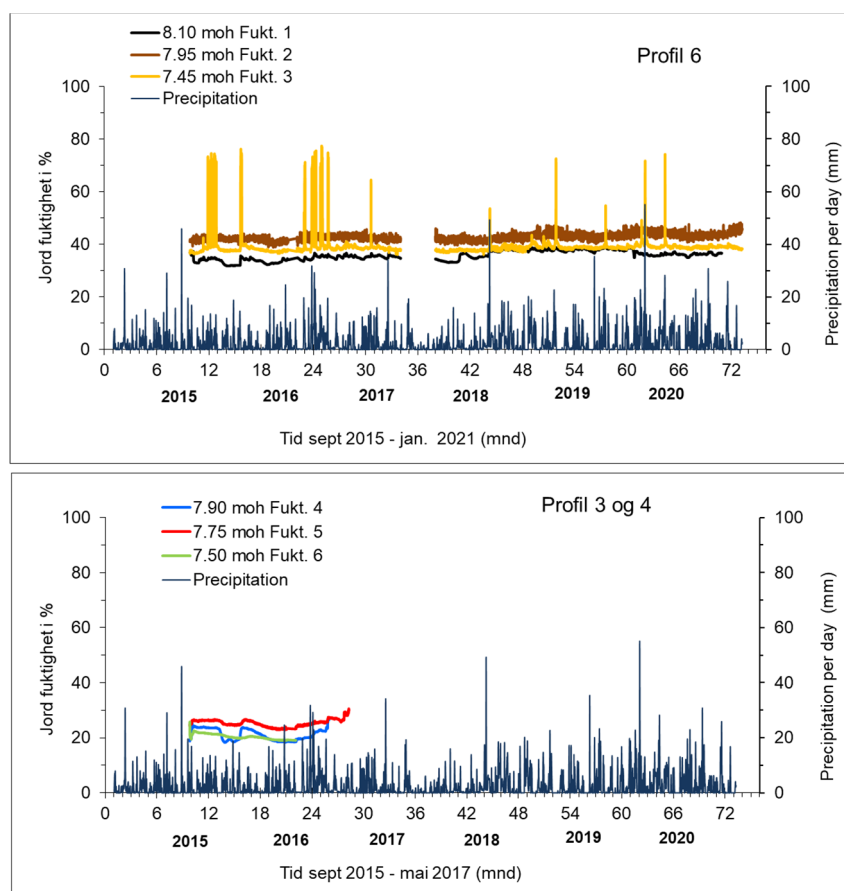
	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
Fuktighet %	Fukt. 1	Fukt. 2	Fukt. 3	Fukt. 4	Fukt. 5	Fukt. 6
<b>2015-2016</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>31.8</b>	<b>38.8</b>	<b>36.4</b>	<b>18.3</b>	<b>22.9</b>	<b>19.1</b>
<b>Maks</b>	<b>37.3</b>	<b>45.1</b>	<b>76.9</b>	<b>25.2</b>	<b>26.7</b>	<b>25.8</b>
<b>Median</b>	<b>34.0</b>	<b>42.0</b>	<b>37.9</b>	<b>20.8</b>	<b>25.0</b>	<b>20.3</b>
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>33.8</b>	<b>42.0</b>	<b>40.5</b>	<b>21.2</b>	<b>25.1</b>	<b>20.5</b>
	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
Fuktighet %	Fukt. 1	Fukt. 2	Fukt. 3	Fukt. 4	Fukt. 5	Fukt. 6
<b>2017</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>34.3</b>	<b>40.2</b>	<b>36.1</b>			
<b>Maks</b>	<b>36.7</b>	<b>45.7</b>	<b>76.9</b>			
<b>Median</b>	<b>35.3</b>	<b>42.6</b>	<b>38.7</b>			
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>35.3</b>	<b>42.7</b>	<b>39.3</b>			
	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
Fuktighet %	Fukt. 1	Fukt. 2	Fukt. 3	Fukt. 4	Fukt. 5	Fukt. 6
<b>2018</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	Høyre side	Venstre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
<b>Min</b>	<b>33.0</b>	<b>39.6</b>	<b>36.1</b>			
<b>Maks</b>	<b>38.6</b>	<b>46.0</b>	<b>53.5</b>			
<b>Median</b>	<b>36.1</b>	<b>42.0</b>	<b>37.9</b>			
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>35.9</b>	<b>42.0</b>	<b>38.2</b>			

Tabell 6. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktighet målt fra Profil 3, 4 og 6 i måleperioden 2019 og ut 2020

Fuktighet %	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Fukt. 1	Fukt. 2	Fukt. 3	Fukt. 4	Fukt. 5	Fukt. 6
<b>2019</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	<b>Høyre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>
<b>Min</b>	<b>34.9</b>	<b>40.2</b>	<b>37.9</b>			
<b>Maks</b>	<b>39.2</b>	<b>48.3</b>	<b>72.5</b>			
<b>Median</b>	<b>38.0</b>	<b>43.3</b>	<b>38.8</b>			
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>38.0</b>	<b>43.3</b>	<b>39.1</b>			

Fuktighet %	Profil 6	Profil 6	Profil 6	Profil 4	Profil 4	Profil 3
	Fukt. 1	Fukt. 2	Fukt. 3	Fukt. 4	Fukt. 5	Fukt. 6
<b>2020</b>	<b>8.10 moh</b>	<b>7.95 moh</b>	<b>7.45 moh</b>	<b>7.90 moh</b>	<b>7.75 moh</b>	<b>7.50 moh</b>
	<b>Høyre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Venstre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>	<b>Høyre side</b>
<b>Min</b>	<b>34,9</b>	<b>40,8</b>	<b>37,8</b>			
<b>Maks</b>	<b>37,4</b>	<b>48,2</b>	<b>74,2</b>			
<b>Median</b>	<b>36,2</b>	<b>44,0</b>	<b>39,0</b>			
<b>Gjennomsnitt</b>	<b>36,2</b>	<b>44,1</b>	<b>39,2</b>			



Figur 5. Jordfuktighet målt i ulike kulturlag fra profil 3&4 (2015-2016) og profil 6 i tidsrommet sept. 2015 til ut 2020 sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra [www.yr.no](http://www.yr.no)). Data fra Profil 3 og 4 (under) stoppet i april 2017 grunnet skade på utstyr.

### 3.4 Overvåking av redoksforhold målt i Profil 3, 4 og 6.

Redoksforholdene i profilene gir oss en viktig indikasjon på bevaringen av organisk materiale. Fra starten av ble det benyttet to typer redoks sensorer; 3 gamle og 3 nye i Profil 6. I profil 3 og 4 ble det satt inn to av den nye typen. De gamle Hanna sensorene i Profil 6 viste ut stabile og mindre troverdige data i perioder fra 2016 og 2017. Disse er ikke med i figur 7. I Profil 6 viser beregnet redokspotensiale fra nye sensorer med positive verdier. Sensor 1 på 8.10 moh. viste omtrent samme gjennomsnittverdi på +400 mV i alle år fra 2015 til 2020. Sensor 2 og 3 ble beregnet til å ligge omkring +250 og økte til over +300 mV, men økte til +390 mV gjennom året 2020 (Tabell 7). Dette viser en svak øking i redokspotensialet i slutten av overvåkingsperioden. Figur 6 over viser målinger som fluktuerer observert i 2015 og 2016, men har stabilisert seg gjennom 2017 og 2018. I 2019 og 2020 er verdiene blitt mer like. Dette viser at Profil 6 som inneholdt kulturlag med noe mer organisk materiale, men omgitt av stein og en del grus ikke gir like gode bevaringsforhold siden det er målt delvis oksiderende forhold både oppe og nede i profilen. Denne profilen ligger uten for nytt bygg og vil være mer påvirket av nedbør.

I profil 3 og 4, som var mer tørre og kompakte, viste de nye redokssensorene gjennomsnittverdier på +280 til +430mV som tilsier svakt oksiderende forhold i 2018 til 2020, som var høyere i starten 2015-2016 (Tabell 7). Gjennomsnittet for sensor 4 på 7.75 moh. sank fra +600 mV i 2015, og videre ned til 290 mV i 2020 og ser ut til å stabilisere seg der (Tabell 7, Figur 6). Gjennomsnittet for sensor 5 på 7.35 moh. svingte mellom +360 til +450mV gjennom målepåperioden 2015-2020 (Tabell 7, Figur 6). Dette viser at det er lokale forskjeller i disse profiler, men at redoksforholdene har sunket noe i overvåkingsperioden. Det ble også observert fluktuasjoner i ny redokssensor 4 på 7.75 moh. i profil 4 2015 & 2016, men den stabiliserte seg med lavere verdi etter uhellet som inntraff i 2017 og gjennom 2018 (Figur 6 under).

Målinger i umettede jordprofiler trenger ofte tid på å stabilisere seg. Redokssensorene 4 og 5 på (7,75 og ned til 7,35 moh.) kan også forklare hvorfor det ble funnet lite organisk materiale i begge disse profilene. Profiler med lite organisk materiale og høyere tørrstoffinnhold fremtrer ofte oksiderende med positivt redokspotensialet, siden porene i jorda inneholder mer oksygen (Figur 6 under). Mye tyder på at organisk materialet fra disse profiler er brutt ned grunnet ustabile bevaringsforhold med oksygen tilstede tidligere i mange år. Profilen var hard og tettpakket i utgangspunktet slik at når profilen ble lukket og fikk stabilisert seg noe (mindre påvirkning av nedbør med oksygen) synker redokspotensialet i profilen. Ferdigstillelse av nytt hus ser ut til å ha påvirket lite på redokspotensialet i Profil 3 og 4.

NIBIO stoler mer på de nye redokssensorene enn de gamle satt inn ekstra i profil 6. Det man ser er at redokspotensialet har stabilisert seg de siste årene og at den ligger omkring +200 mV.

Tabell 7. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforhold målt med nye sensorer fra Profil 6, 4 og 3 i måleperioden 2015 og 2020

Redox forhold	Profil 6 Redox 1 Ny	Profil 6 Redox 2 Ny	Profil 6 Redox 3 Ny	Profil 4 Redox 4 Ny	Profil 3 Redox 5 Ny
2015-2016	8.10 moh	7.95 moh	7.35 moh	7.75 moh	7.35 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
Min	239	-75	-458	424	147
Maks	531	405	446	863	688
Median	391	329	295	588	434
Gjennomsnitt	390	322	251	600	448

Redox forhold	Profil 6 Redox 1 Ny	Profil 6 Redox 2 Ny	Profil 6 Redox 3 Ny	Profil 4 Redox 4 Ny	Profil 3 Redox 5 Ny
2017	8.10 moh	7.95 moh	7.35 moh	7.75 moh	7.35 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
Min	338	246	-26	436	209
Maks	434	297	251	743	307
Median	405	275	235	577	260
Gjennomsnitt	408	303	276	342	373

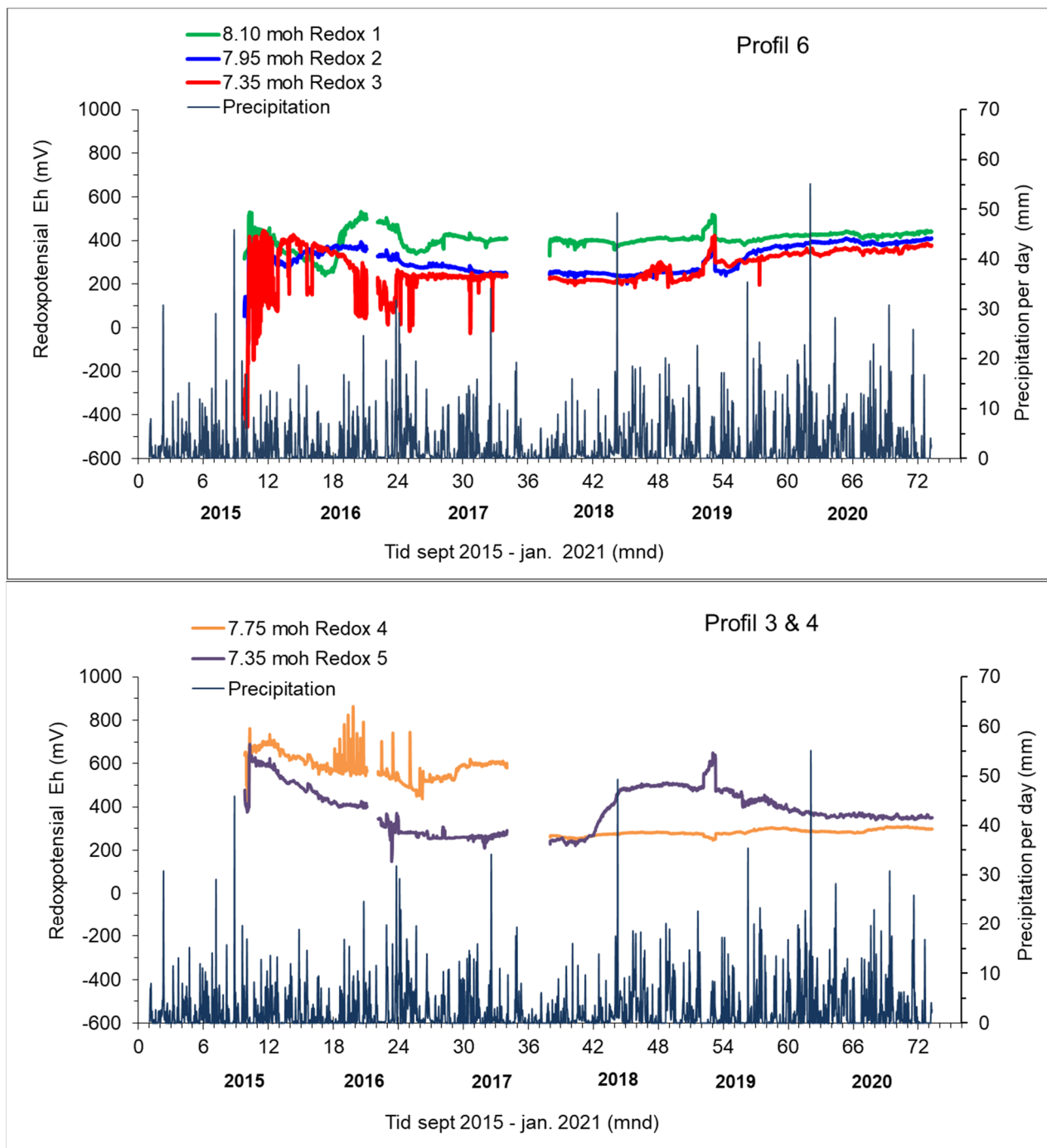
Redox forhold	Profil 6 Redox 1 Ny	Profil 6 Redox 2 Ny	Profil 6 Redox 3 Ny	Profil 4 Redox 4 Ny	Profil 3 Redox 5 Ny
2018	8.10 moh	7.95 moh	7.35 moh	7.75 moh	7.35 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
Min	358	202	184	236	220
Maks	416	261	302	285	511
Median	399	249	218	274	398
Gjennomsnitt	397	247	227	271	378

Redox forhold	Profil 6 Redox 1 Ny	Profil 6 Redox 2 Ny	Profil 6 Redox 3 Ny	Profil 4 Redox 4 Ny	Profil 3 Redox 5 Ny
2019	8.10 moh	7.95 moh	7.35 moh	7.75 moh	7.35 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
Min	379	239	198	246	348
Maks	519	397	423	304	649
Median	412	344	311	285	435
Gjennomsnitt	416	325	304	284	443

Redox forhold	Profil 6 Redox 1 Ny	Profil 6 Redox 2 Ny	Profil 6 Redox 3 Ny	Profil 4 Redox 4 Ny	Profil 3 Redox 5 Ny
2020	8.10 moh	7.95 moh	7.35 moh	7.75 moh	7.35 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Høyre side	Høyre side	Høyre side
Min	404	375	328	279	340
Maks	445	411	387	311	383
Median	427	392	355	291	356
Gjennomsnitt	428	393	356	293	357



**Figur 6.** Redoksf forholdene målt med nye redokssensorer i ulike kulturlag fra Profiler 3, 4 og 6 fra sept. 2015 til ut 2020 er sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra [www.yr.no](http://www.yr.no)).

I profil 6 med gamle Hanna redokssensorer i kulturlag på 8.07, 7.95 og 7.75 moh., ble det observert høyere redokspotensialet i starten av måleperioden 2015-2016 før sensorene ikke ga troverdige verdier i 2017 (Figur 7). I siste del stabiliserte de seg lavere. Tabell 8 viste igjennomsnitt og median på +500mV i de første år av overvåkingen, men viste lavere redoksverdier i siste del av perioden 2018-2020 fra +200 mV til -20 mV. Dette viser igjen at redokspotensialet er forskjellig i denne profil som påvirkes mer av nedbør selv om jordfuktigheten er stabil. Sensorene lå på omtrent sammen dybde, men på venstre og høyre side i profilen.

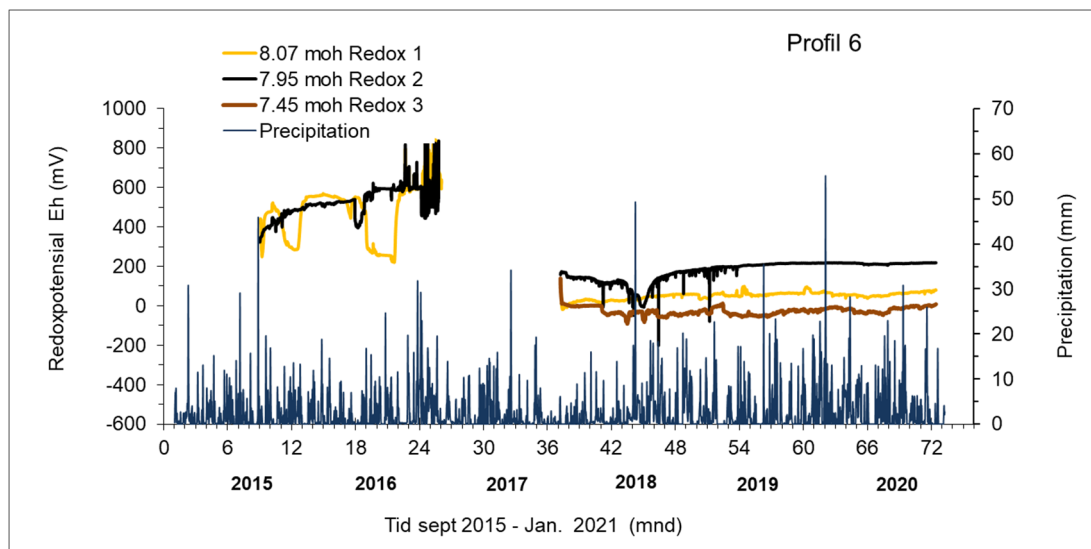


Tabell 8. Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforhold målt med gamle Hanna sensorer fra Profil 6 i måleperioden 2015 og 2016 (over), i perioden 2018-2019 (midten) og 2020 (under).

Redox forhold	Profil 6 Redox 1	Profil 6 Redox 2	Profil 6 Redox 3
2015-2016	8.07 moh	7.95 moh	7.45 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Venstre side
Min	220	323	
Maks	860	865	
Median	539	519	
Gjennomsnitt	493	517	

Redox forhold	Profil 6 Redox 1	Profil 6 Redox 2	Profil 6 Redox 3	Redox forhold	Profil 6 Redox 1	Profil 6 Redox 2	Profil 6 Redox 3
2018	8.07 moh	7.95 moh	7.45 moh	2019	8.07 moh	7.95 moh	7.45 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Venstre side	mV	Høyre side	Venstre side	Venstre side
Min	-19	-201	-91	Min	33	-79	-57
Maks	137	174	139	Maks	99	218	12
Median	30	130	-31	Median	59	202	-38
Gjennomsnitt	32	118	-26	Gjennomsnitt	58	199	-35

Redox forhold	Profil 6 Redox 1	Profil 6 Redox 2	Profil 6 Redox 3
2020	8.07 moh	7.95 moh	7.45 moh
mV	Høyre side	Venstre side	Venstre side
Min	38	205	-47
Maks	96	219	8
Median	63	217	-16
Gjennomsnitt	62	215	-18

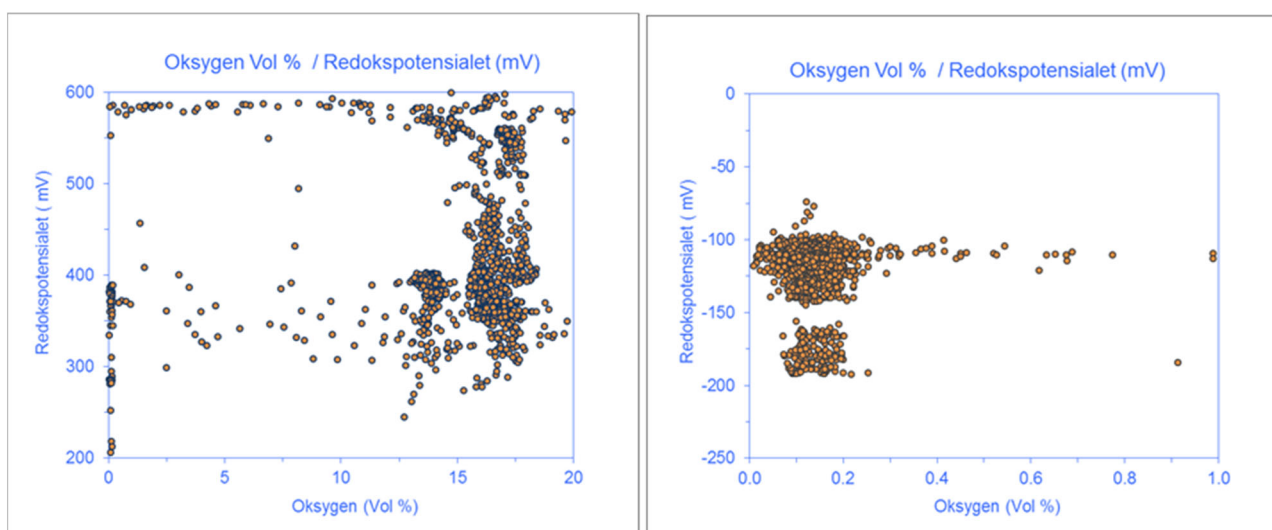


Figur 7. Redoksforholdene målt med gamle Hanna redokssensorer i ulike kulturlag fra Profiler 6 fra sept. 2015 til ut 2020 er sammenstilt med mm nedbør per dag i Trondheim sentrum (data fra [www.yr.no](http://www.yr.no)). Disse sensorer var ustabile i 2017 (data ikke vist).

Hva sier måling av redokspotensialet om hvor mye oksygen som er til stedet i en profil? Overvåking utført i miljøbrønner fra mettede kulturlag med og uten inntrenging av grunnvann, hvor oksygen og redokspotensialet er målt samtidig, viser at redokspotensialverdier lavere enn +200 mV ikke gir store målbare forskjellige. Forskjellen fra +200mV til -400mV viste løst oksygen 0,3 til 0,1 Vol %. Verdier over + 200 mV viste økt oksygeninnhold i vannet (Bergersen, 2014). Dette viser at et mulig

grenseskille ligger i området +200 mV i grunnvannsbrønner som indikerer hvor mye oksygen som er løst i vannet.

Målinger i umettet sone fra Oslo har vist at redokspotensialet fra +300 mV og oppover ga et innhold av oksygen fra 12 til 18 Vol % oksygen (Figur 8). Ved målte redoksverdier fra -75 mV og ned til -200 mV viste målinger med optiske sensorer, oksygeninnhold på 0,2 ned til 0,05 Vol % i umettet kulturlag. Som våre tidligere målinger i vann indikerte, viser også målinger i umettet sone at redokspotensialet ved +200 mV kan være en slags kritisk grenseverdi for hvor mye oksygen som er tilstede i kulturlagens porer, og som igjen kan påvirke nedbryting av organisk materiale i kulturlag. Stiger redokspotensialet fra + 300 til +600 mV øker målt Vol% oksygen raskt fra 12- 18 % (Figur 8).



**Figur 8.** Punktdiagram og korrelasjon mellom målt redokspotensialet og innhold av oksygen i umettet profil fra to ulike kulturlag. Hovedtyngden av verdiene fra +300mV og oppover viser høyere oksygenverdier på 12 til 18 Vol %, mens med negative redoksverdier fra -75 mV og ned til -200 mV viser hovedtyngde av oksygen målt, å ligge mellom 0,1 til 0,2 Vol %.

### 3.5 Nedbrytningsstudier av prøver fra profil 6 i Søndre gt 7-11.

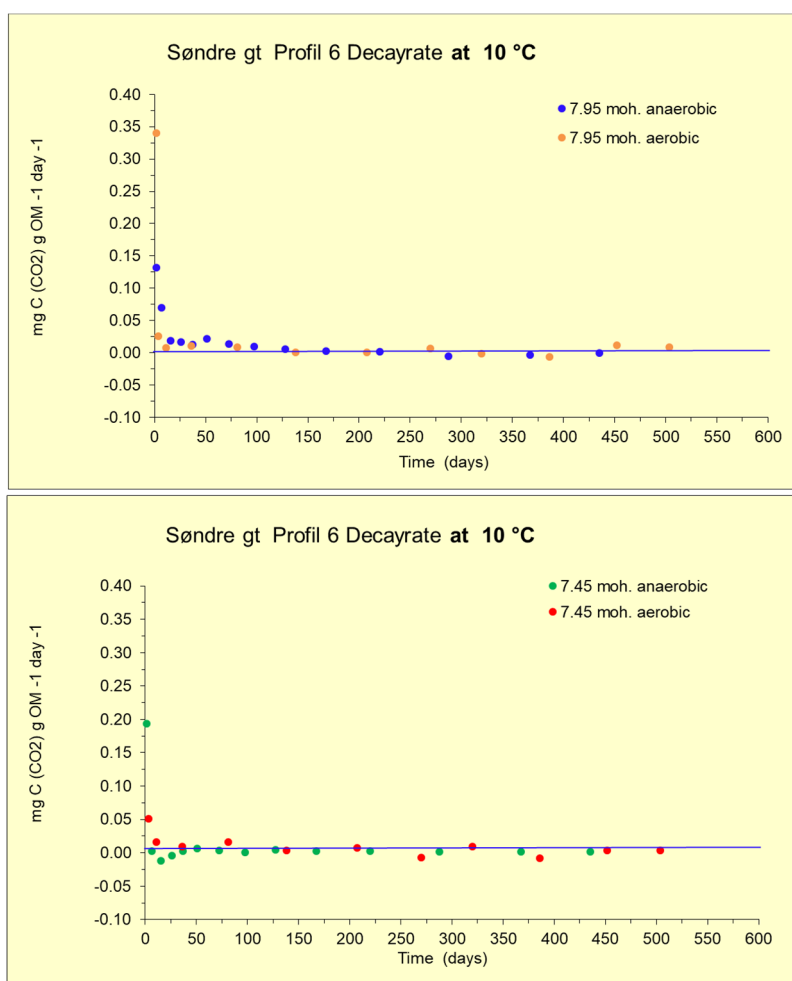
Tidligere nedbrytningsstudier utført på kulturminneprøver med ulik bevaringsgrad A1 og A5 fra Schultz gt. i Trondheim inkubert ved 20 °C uten luft, viste forskjeller i akkumulert nedbryting av organisk materiale og beregnet nedbrytingsrate. Nedbrytingsgraden av organisk materiale var 6 ganger høyere i den dårlig bevarte prøven sammenlignet med den godt bevarte ved 20°C. Dette viser at ved høyere temperatur, mangel av oksygen og ulik bevaringsgrad påvirker hvor raskt organisk materiale brytes ned over tid (Petersén & Bergersen 2016). Lignende studie er blitt utført av jordprøver fra kulturlag i Søndre gt. profil 6 med god bevaring fra (7.95 moh.) og (7.45 moh.). Begge disse prøvene ble valgt pga. 20 % organisk materiale og kjemisk gode bevaringsforhold, for å se hva som skjer med organisk materiale over tid ved 10°C med og uten oksygen til stede.

Nedbrytingsraten i begge prøvene med og uten oksygen viser verdier mindre og nær null (Figur 9). Disse data er beregnet ut fra dataene illustrert med standard avvik i vedlegg 4. Jordprøvene målt over tid, viste begge meget lave nedbrytingsrater.

Etter 500 dager kan en ikke se noen forskjell i økt nedbryting (målt som CO<sub>2</sub>) av organisk materiale med eller uten oksygen tilstede i noen av prøvene. Dette viser at organisk materiale i eldre kulturlag som holdes ved lav temperatur (<10°C), fuktig og med eller uten oksygen tilstede ser ut til å ligge stabilt uten stor grad av nedbryting. Dette gjelder spesielt kulturlag med godt bevart organiske materiale som er mulig å bevare fremover i tid. Prøver som er dårligere bevart kan inneholde høyere

andel mikroorganismer som vil kunne bli aktive og bryte ned organisk materiale hvis tilgang på oksygen eller økt temperaturen inntreffer i kulturlagene (Petersén & Bergersen 2016).

Mikrobiologisk forskning på naturlig nedbryting av organisk materiale viser at temperatur påvirker hastigheten, og spesielt fra 15 °C og oppover. Ved 10 °C skjer dette langsomt med oksygen til stede. Studier på nedbryting av organisk materialet utført ved Nasjonalmuseet i Danmark (Hollesen & Matthiesen 2011) viser at ved omkring 10 grader skjer det svært lite, men økning fra 10 og 15 grader øker nedbrytningshastigheten vesentlig, spesielt med oksygen tilgjengelig. Uten oksygen vil tungt nedbrytbart materiale, som for eksempel trevirke, være beskyttet over tid.



Figur 9. Nedbrytingsraten beregnet over tid mg karbon (CO<sub>2</sub>) per g organisk material per dag hvor kulturlagsprøve fra kulturlag (7.95 moh.) og (7.45 moh.) av profil 6 ble undersøkt ved 10 °C med og uten oksygen tilstede. Begge prøver var godt bevarte A4.

## 4 Konklusjoner

Fredete kulturlag på tomten i Søndre gt. 7-11 (Petter Egges plass) i Trondheim er gravd frem av NIKU og kulturlagene er analysert kjemisk og instrumentert av NIBIO for miljøovervåking i perioden 2015-2020. Måledata for alle driftsårene (september 2015 til ut 2020) gir grunnlag for følgende konklusjoner:

- Før overvåking viste Profil 6 å ha flere kulturlag med god bevaring, mens Profil 3 og 4 hadde dårlig bevarte kulturlag.
- Overvåking i profil 6 viser svakt oksiderende forhold fra 8.10 moh. – i øvre og midtre del av profilen ned til 7.35 moh. i den høyre siden av profilen. En årsak er at organiske kulturlag var omgitt av sandrike masser og påvirkes av nedbør. I snittverdier etter 5 år ligger redokspotensialet fra +280 og +440 mV, noe som tilsier at oksygen er tilstede i profilene selv om noen av de gamle redokssensorer i profil 6 viste noe lavere verdier. Svakt oksiderende forhold ble også målt i profil 4 og 3, men her har redokspotensialet sunket fra +600 til omkring +300mV over tid og etter nytt bygg er satt opp. Her var kulturlagene harde og tettpakket.
- Jordtemperaturen i profil 6 var 5-7 °C i gjennomsnitt gjennom året i bunn, 7-10°C i øvre del. Jordfuktigheten ble beregnet til 35 % i øvre del og omkring 42 % i dypere kulturlag i hele perioden 2015 – 2020.
- Jordtemperaturen i Profilene 4 og 3 er relativt lav i overvåkingsperioden 2015 - 2018 på 4 -7 °C, men steg fra 8-10°C i 2019 og 2020 når nytt bygg var ferdigstilt. Jordtemperaturen steg også i øvre del av profil 6 omkring 8 moh. fra 2019-2020.
- Maksimal temperatur ble målt 13- 18°C i øvre del av Profil 6 over korte perioder om sommeren. I profil 4 og 3 ble maksimal temperatur målt til 14-15°C. Lave temperaturer under 10°C er gunstig for bevaring av organisk materiale.
- Data på jordfuktigheten i Profil 4 og 3 mangler etter 2016 pga av graveuhellet i 2017. De to første år viste tørrere kulturlag på 20-25 %.
- Etter at hus på tomten er ferdigstilt ble det observert gjennomsnitt økning i temperatur de 2 siste årene av overvåkingen i profil 4 og 3 som nå ligger under nytt bygg fra 8-10 °C.
- I måleperioden har det vært enkelte uhell og skader på sensorer som har redusert omfanget av data. Til tross for dette mener NIBIO det er grunnlag nok til å trekke følgende konklusjon basert på våre undersøkelser i perioden 2015 - 2020: *Bevaringsforholdene for arkeologiske kulturminner på undersøkte lokaliteter fra eiedommen Søndre gate 7-11 har ikke forverret seg etter at et nytt bygg er reist på tomten.*

# Litteratur

- Bergersen, O. & Hartnik, T. 2007. Bevaringsforhold i kulturlag ved Petter Egges Plass TA 200710, Trondheim. Jordfaglig vurdering av miljøforhold på bakgrunn av laboratorieanalyser. Bioforsk rapport Vol.2 Nr.103.
- Bergersen, O. 2016. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport I (september 2015 – november 2016). NIBIO rapport Vol 3 nr 67.
- Bergersen, O. 2018. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport II (september 2015 – november 2017). NIBIO rapport 17/01475.
- Bergersen, O. 2019. Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra Søndre gate 7-11 i middelalderbyen Trondheim. Statusrapport III (september 2015 – mars 2018). NIBIO rapport 18/01475
- Brock, T.D. *Biology of microorganisms*. 11ed. Prentice Hall International editions, London, UK, 992 pp. 2006.
- Hollesen, J. & Matthiesen, H. 2011. The effect of temperature on the decomposition of urban layers at Bryggen in Bergen. Nationalmuseet in Denmark. Report no. 11031048. 2011.
- NS 9451.2012: Norwegian Standard: Cultural Property. Requirements on Environmental Monitoring and Investigation of Archaeological Deposits (2012). Krav til miljøovervåking og -undersøkelse av kulturlag. Norsk Standard 9451. 2012 tilgjengelig:  
<http://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/176273#.UzqbI571TyU.email>.
- Petersen, A. H. & Bergersen, O. 2016. In situ preservation in the unsaturated zone: Results from environmental investigations at the “Schultz gate” case study in the medieval town of Trondheim, Norway. Vol. 18 Nos 1–3, 2016, s 181-204.
- Petersén, A. H. & Bergersen O. 2016. Forundersøkelse av kulturminner Søndre gt. 7-11, Trondheim Arkeologisk og jordfaglig analyse NIBIO Notat rapport
- Rickard D, Morse JW. 2005. Acid volatile sulfide (AVS). *Marine Chemistry* 97:141-197.
- Shirokova Y, Forkutsa I, Sharafutdinova N. 2000. Use of electrical conductivity instead of soluble salts for soil salinity monitoring in Central Asia. *Irrigation and Drainage Systems* 14:199-205.
- Stookey L.L. 1970. Ferrozine - A New Spectrophotometric Reagent for Iron. *Analytical Chemistry* 42:779-781.
- Yr: [http://www.yr.no/sted/Norge/Sør-Trøndelag/Trondheim/Trondheim\\_sentrum/](http://www.yr.no/sted/Norge/Sør-Trøndelag/Trondheim/Trondheim_sentrum/)

# Vedlegg

Nr	Tema
1	Foto av overvåkingsted 2018
2	Kjemisk og fysisk analyse av jordprøver for vurdering av bevaringsforhold
3	Bevaringsskala av kulturlag og redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer
4	Nedbrytningsstudier av organisk materiale i godt bevarte prøver fra Søndre gate profil 6 fra ulike dyp i nesten 2 år ved 10 grader med og uten luft.

## Vedlegg 1

Foto illustrasjon av Peter Egges plass Søndre gate 7-11 i Trondheim i forbindelse bygging av hus på tomten fotografert av Lasse Weiseth, NIBIO Kvithamar i 2018. Profil 3 og 4 ligger under nytt bygg, mens profil 6 er inni hjørnet mellom gammel trehusbebyggelse og ser ut til å være mere påvirket av klima i Trondheim.



## Vedlegg 2

### Jordkjemiske analyser på bevaringsforhold i jordprøver hvor kulturminner overvåkes

Prøve sted	Dyp	Organisk innhold	Surhet og	Redoksforhold
Søndre gt 7-11	(moh)	og vanninnhold	salinitet	

#### Profil 6 toppkt.

Sensor 1 Temp/fukt	8.10	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende
Sensor 2 Temp/fukt	7.95	Middels org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
Sensor 3 Temp/fukt	7.45	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende
Ref elektrode	8.00	Middels org. - lavt vanninnhold	Svak basisk og lav	Svak reduserende
Prøve 2B midten	7.80	Lavt org. - middel vanninnhold	Nøytal og lav	Sulfatreduserende

#### Profil 4

Sensor 4 Temp/fukt	7.90	Lavt org. - og vanninnhold	Svak basisk og lav	Oksiderende
Sensor 5 Temp/fukt	7.75	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende

#### Profil 3

Sensor 6 Temp/fukt	7.50	Lavt org. - og vanninnhold	Nøytal og lav	Oksiderende
Prøve B3 venstre	7.50	Lavt org. - og vanninnhold	Svak surt og lav	Oksiderende

Prøve sted	Dyp	Nitrate - N	Ammonium-N	Sulphate	Sulphide	Iron (II)	Iron (III)	% of
Søndre gt 7-11	(moh)	(mg/kg DM)	(mg/kg DM)	(mg/kg DM)	(mg/kg DM)	(mg/kg DM)	(mg/kg DM)	Iron (II)

#### Profil 6 toppkt.

Sensor 1 Temp/fukt	8.10	0.7	1.1	34	n.d.	45	266	14%
Sensor 2 Temp/fukt	7.95	4.3	6.4	78	108	222	4	98%
Sensor 3 Temp/fukt	7.45	0.6	5.6	23	360	1103	35	97%
Ref elektrode	8.00	0.9	2.4	43	1.2	48	42	53%
Prøve 2B midten	7.80	0.9	24	239	193	764	31	96%

#### Profil 4

Sensor 4 Temp/fukt	7.90	0.6	2.1	70	n.d.	29	165	15%
Sensor 5 Temp/fukt	7.75	53	5.9	146	n.d.	39	186	17%

#### Profil 3

Sensor 6 Temp/fukt	7.50	11.6	0.2	66	n.d.	33	162	17%
Prøve B3 venstre	7.50	16.7	0.8	107	n.d.	44	144	24%

*n.d. not detected*



## Vedlegg 3

### Bevaringsskala (SOPS) av kulturlag og redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer

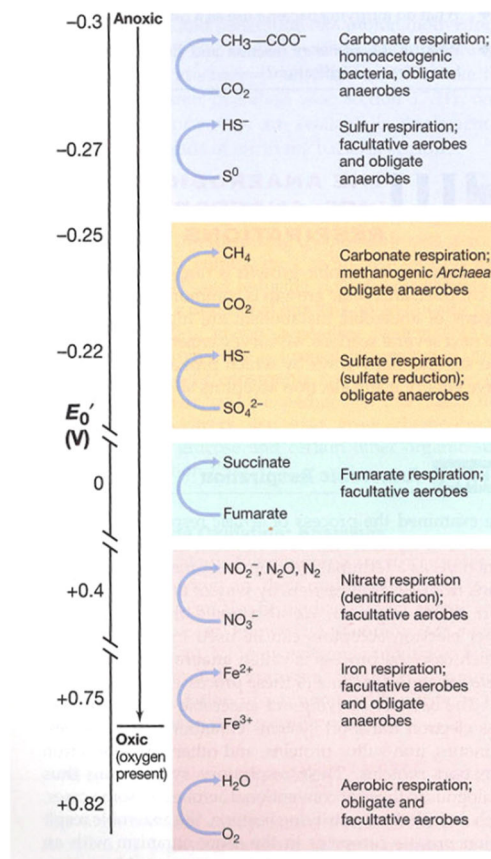
*State of the preservation scale (SOPS) after Norsk Standard (NS 9451:2012), under concentration levels for S2 parameters used to evaluate preservation conditions*

Position related to ground water	Preservation scale					
	0	1	2	3	4	5
		Loisy	Poor	Medium	Good	Excellent
Saturated	A0	A1	A2	A3	A4	A5
Fluctuation zone	B0	B1	B2	B3	B4	B5
Unsatutated	C0	C1	C2	C3	C4	C5
Material later than 1900	D0	D1	D2	D3	D4	D5

#### *Bevaringsskala av kulturlag målt kjemisk*

Nitrat	Ammonium	Sulfid	Jern (II)	Jern (III)	Redoksforhold	Bevaring
NO3	NH4	H2S	Fe2	Fe3		
Lav	Lav	Lav	Lav	Høy	Oksiderende	Elendig
Høy	Lav	Lav	Lav	Høy	Nitrat til oksiderende	Dårlig
Høy	Lav	Lav	Høy	Lav	Nitrat til jernred.	Middels
Lav	Lav	Lav	Høy	Lav	Jernreducerende	Middels
Høy	Høy	Høy	Høy	Lav	Nitrat til sulfatred.	Bra
Lav	Høy	Høy	Lav	Lav	Sulfatreducerende	Bra
Lav	Høy	Høy	Høy	Lav	Sulfatred. til metanogene	Utmerket

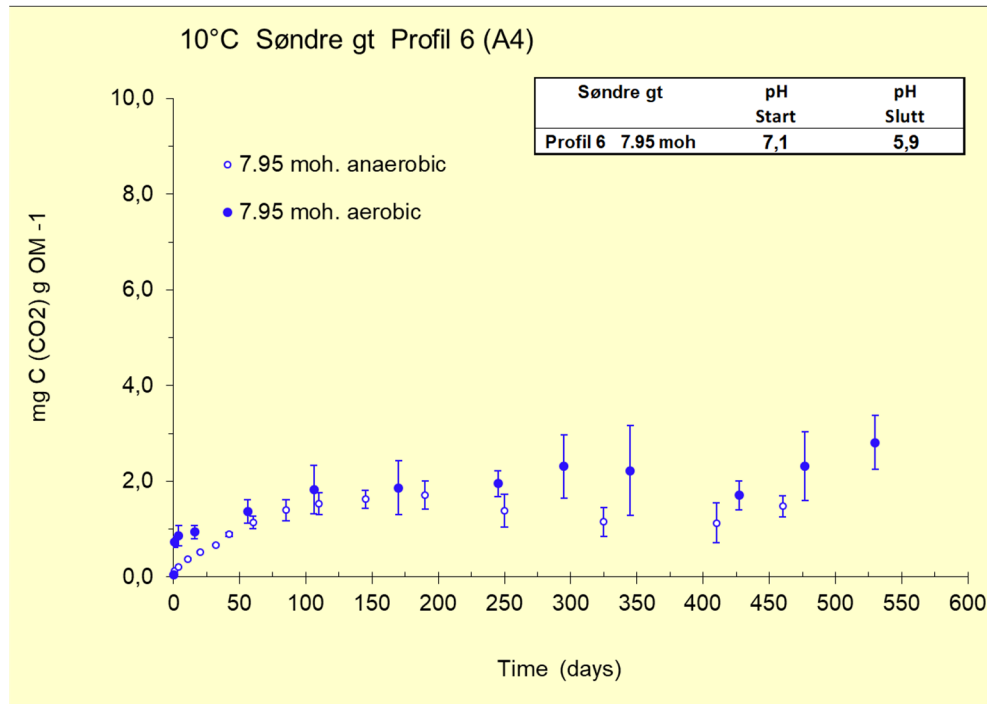
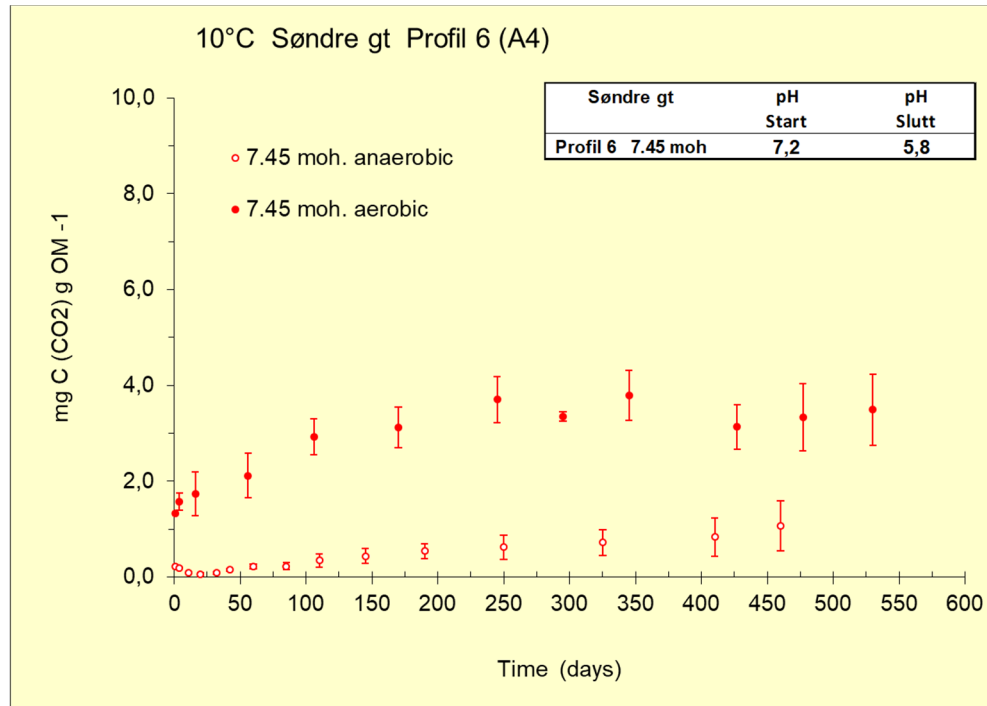
Reduserende forhold  
 Oksiderende forhold



Redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer (Brock, 1996).

## Vedlegg 4

Nedbrytningsstudier av organisk materiale i godt bevarte prøver fra Søndre gate profil 6 fra ulike dyp i 450-500 dager ved 10 grader med og uten luft. Senkning i pH tyder på dannelser av organiske syrer i prøver med luft tilstede. Målt CO<sub>2</sub> er noe høyere aerobt enn anaerobt, men har ikke økt over tid.



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.