



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

NIBIO RAPPORT

VOL.: 2, NR.: 17

Miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim

Statusrapport per september 2016

OVE BERGERSEN

NIBIO miljø og naturressurser

TITTEL/TITLE

Jordkjemisk forundersøkelse og miljøovervåking av arkeologiske kulturminner fra middelalderen på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. Statusrapport per september 2016

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Ove Bergersen

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:	
14.12.2016	2(17) 2016	Åpen	8929	Arkivnr. 2016/168	
ISBN-NR./ISBN-NO:		ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-17-01577-2			2464-1162	29	3

OPPDRAGSGIVER/EMPLOYER:

Riksantikvaren, Distriktskontor Trondheim
NIKU, Distriktskontor Trondheim

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Sissel Ramstad Skoglund
Anna H. Petersén

STIKKORD/KEYWORDS:

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

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Jordkvalitet Miljøovervåking
Middelalderbyen Trondheim

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Forundersøkelsen med jordkjemisk analyse viste at de fleste kulturlag hadde gode bevaringsforhold på tomten i Munkehaugsveita i Trondheim. Kulturlagene overvåkes i 5 år fra 2015-2020. Ett år etter installert overvåkingsutstyr, viser at overvåkingen har fungert bra uten avvik i oppstartsperioden frem til sept. 2016. Begge profiler med måleteknisk utstyr ble beskyttet med bentonittmembraner før hullene ble fylt igjen. Måleutstyret installert viser at det er reduserende forhold i de fleste kulturlagene med unntak av den høyest plasserte sensoren i Hull 4 hvor det er noe tørrere og oksiderende forhold. Nedbrytingsforsøk på jordprøver fra to av kulturlagene i Hull 4 (9.1 og 7.9 moh) viser begge stabile forhold og nedbrytingsraten er nesten ikke målbar ved 10 °C under oksygenfrie forhold. Dette viser at det er mulig å bevare organisk materiale over tid hvis kulturlagene holdes frie for oksygen og nåværende lave temperaturer målt første år fortsetter.

FYLKE/COUNTY:

Sør Trøndelag

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

Trondheim

STED/LOKALITET:

Munkehaugsveita

GODKJENT /APPROVED

TROND MÆHLUM SENIORFORSKER

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

OVE BERGERSEN SENIORFORSKER



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

FORORD

Rapporten er skrevet på oppdrag fra Riksantikvaren og NIKU. NIBIO har i oppdrag å utføre miljøovervåking av arkeologisk kulturlag i 5 år på tomten Munkehaugsveita i Trondheim. I september 2015 ble det installert overvåkings utstyr som skal overvåke hvordan kulturlagene fra middelalderen bevares over tid in situ. Rapporten her er første statusrapport.

Fra NIBIO har følgende personer deltatt i prosjektet:

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

Laboratorieundersøkelser: Hege Bergheim og Ove Bergersen

Rapportering: Ove Bergersen

Kvalitetssikring av rapporten: Trond Mæhlum

Ås, 14.12. 2016



Ove Bergersen

Prosjektleder



Miljøovervåking i på tomten i Munkehaugsveita i Trondheim. Foto: NIBIO Ove Bergersen

INNHold

1	INNLEDNING.....	5
1.1	Bakgrunn	5
1.2	Målet for prosjektet.....	5
2	MATERIALE OG METODER	7
2.1	Arkeologi- og naturvitenskapelige definisjoner	7
2.2	Feltarbeide.....	8
2.3	Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag.....	8
2.4	Feltarbeid i forbindelse med miljøovervåking.....	9
2.5	Miljøovervåking av arkeologiske kulturlag.....	9
2.6	Installering av sensorer i kulturlag	9
2.7	Installering av datalogger.....	10
2.8	Nedbrytingsforsøk på jordprøver fra midten og bunnen av Profil 1 Hull 4	13
3	RESULTATER.....	14
3.1	Bevaringsforholdene i begge profiler	14
3.2	Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull4	15
3.3	Jordfuktigheten og redoksforhold målt i kulturlag i Profil 1 i Hull 1 og Hull 4	15
3.4	Nedbryting av organisk materiale fra Profil 1 Hull 4.....	20
3.5	Avvik første driftsår.....	20
4	KONKLUSJONER	21
	VEDLEGG.....	23

1 INNLEDNING

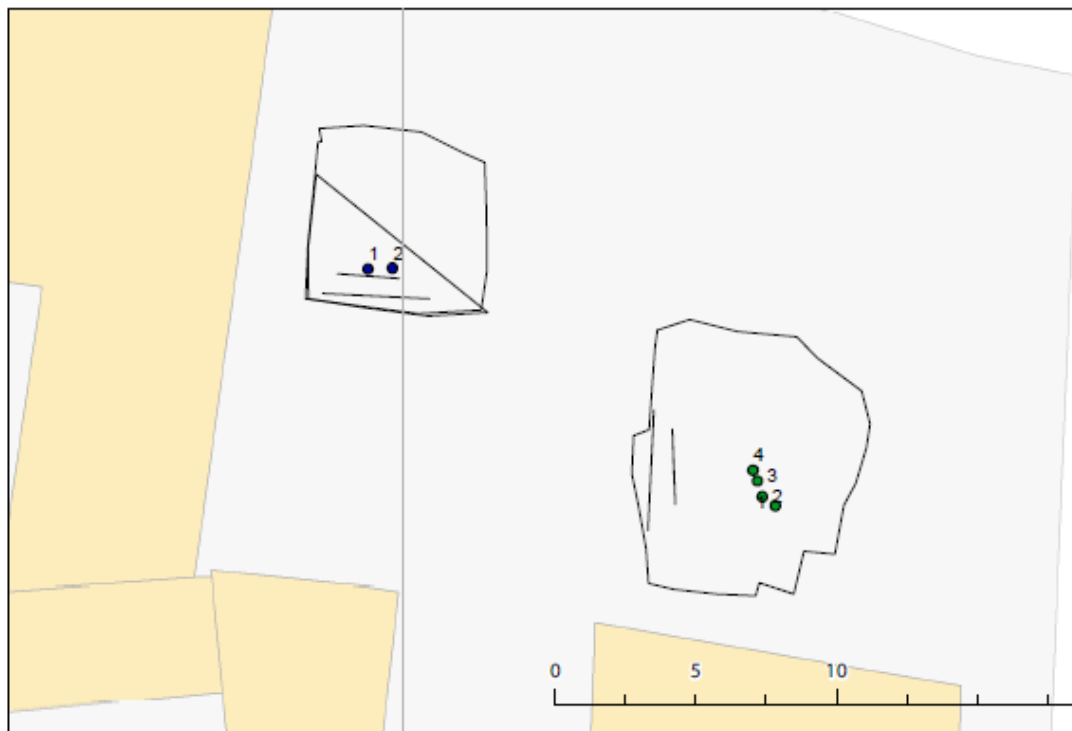
1.1 Bakgrunn

Det henvises til oppdragsbestilling fra Norsk Institutt for Kulturminneforskning (NIKU) som i brev datert 20.03. 2015 ba Bioforsk (nå NIBIO) om å påta seg ansvaret for miljøovervåking av kulturlag i Munkehaugsveita 5-7 som inngår i middelalderbyen Trondheim. Prosjektet utføres i samarbeid med lokalkontoret til NIKU i Trondheim ved Anna Petersén (prosjekt nr 1020444). Prosjektet med feltarbeid ble igangsatt i september 2015. Området som skal overvåkes er tomten Munkehaugsveita 5-7 hvor det i de senere år har vært en bensinstasjon. Tidligere undersøkelser har vist godt bevarte kulturlag flere steder på denne tomten (Bergersen og Petersén 2009). Det er på sikt planlagt et nytt bygg på tomten.

Prosjektets varighet er satt til 5 års overvåking, med overvåking før og etter ferdigstilt hus. Siden området tidligere er undersøkt er det viktig å få ny kunnskap om hvordan bevaringsforholdene i området er 6-7 år etter forrige undersøkelse (Bergersen og Petersén 2009) og for å se om kulturlagene påvirkes ved at bevaringsforholdene endrer seg. På sikt vil denne kunnskapen kunne gi viktig informasjon om de vil endre seg i fremtiden når evt. det bygges nytt bygg på denne tomten.

1.2 Målet for prosjektet

Målet med prosjektet er å overvåke kulturlag in-situ ved å undersøke hva som skjer med bevaringen av umettede kulturlag før og etter etablering av nytt bygg over en periode på flere år.



Kartgrunnlag: Statens kartverk, Geovekst og kommuner

Figur 1. Oversiktskart over Trondheim og tomten i Munkehaugsveita. Hull 1 til venstre og Hull 4 til høyre (NIKU).

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.

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

Arkeologisk vurdering er utført av NIKU v/ Anna Petersén og jordprøver er tatt av NIBIO for videre kjemisk og fysisk analyse v/Ove Bergersen og Hege Bergheim. Måletekniske arbeider i felt er utført av NIBIO ved Thor Endre Nytrø, Srikanthapalan Muthulingam og Ove Bergersen.

2.3 Generelt om vurdering av bevaringsforhold i kulturlag

Gode bevaringsforhold for kulturlag karakteriseres av stabile kjemisk fysiske forhold, og at mikrobiologisk og kjemisk aktivitet er relativ lav. Stabile kjemisk fysiske forhold fører til at naturlige gradienter (f.eks. hydrauliske gradienter eller konsentrasjons-gradienter), 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 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 nitrat (NO_3^-) brukes og enda mindre ved å bruke treverdige jern, Fe(III), fireverdige mangan (Mn(IV)), sulfat (SO_4^{2-}) eller oksidert organisk materiale (se 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 langsamste 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 kjennemerker 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 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 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.

2.4 Feltarbeid i forbindelse med miljøovervåking

Feltarbeidet i forbindelse med miljøovervåking ble utført i september 2015 av NIBIO . Profilen var ferdig gravet før prøver ble tatt og utstyr for overvåking satt inn og montert sammen i et måleskap. En oversikt i tabell 4 viser plassering og feltmålinger for installasjonene. Utstyret og datalogging ble kontrollert før profil ble fylt igjen etter at bentonittduk ble lagt inntil profilveggene for å beskytte kulturlag og utstyr.

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).

Varmekonduktiviteten (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. Økt temperatur og svingninger i tørt og vått klima kan virke inn på nedbrytingen av de arkeologiske kulturlag.

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. Informasjon om sensorene på www.imko.de.

Sensorene ble installert i ulike høyder av kulturlag i utgravde profiler i september 2015 (Figur 2 og 3). Plasseringen av sensorene var steder hvor arkeologiske prøver ble tatt ut for videre fysisk-kjemisk analyse. Ved siden av jordfuktighet/temperatur sensor, ble også redokssensorer fra Ecotech (EKT 950) satt inn. 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 redoksverdiene (Eh) ble omregnet med +210mV ut fra målt middeltemperatur i kulturlagene.

Måling av redokspotensialet gir informasjon om hvor gode bevaringsforholdene er i området som blir overvåket. Jordfuktighet og temperatur vil vise 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.

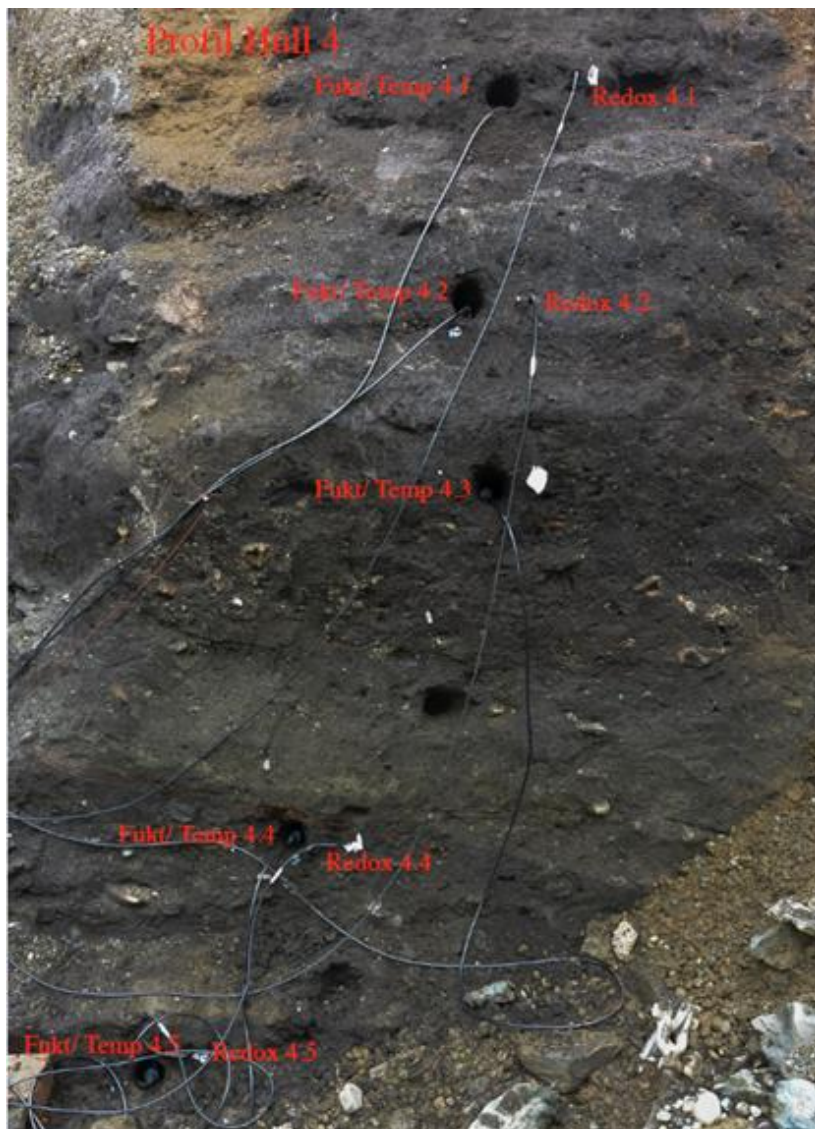
Sensorene ble installert i de ulike lagene ved først å bore opp et hull med jordbor med diameter som sensoren i ønsket dybde. Deretter ble sensoren trykket forsiktig på plass i bunn av hullet slik at metallstengene (lengde 11cm, diameter 0,35cm) hadde god kontakt med jorda. Sensorer ble stabilisert med 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 jordtemperatur og fuktighet (se tabell 1). Hele profilveggen ble dekket til med bentonittduk før den ble gjenfylt. Koordinatene hvor sensorene ble plassert er vist i vedlegg 2.

2.7 Installering av datalogger

Ledningene fra sensorene ble ført til et 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 webside. 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. Plassering av sensorer i profil 1 hull 1, Munkehaugsveita (Foto: NIBIO Ove Bergersen).



Figur 3. Innstilling av sensorer i Profil 1 Hull 4, Munkehaugsveita. Referanse-elektroden til redoks sensorene ble plassert til høyre for sensorene 4.2. (Foto: NIBIO, Ove Bergersen).

Tabell 1. Oversikt over plassering av sensorene i moh. og merknader, feltmålinger på jord temperatur og fuktighet i nærheten av der sensorene ble satt inn.

Skap sensor nr	Type	Plassering/ hull/ Prøve Nr	Z Koordinater (masl)	Lag nr	SOPS NIKU	Merknader ved prøvetaking	Sensor verdier 20- 30 cm inn	Felt målinger nær kanten
Kobling 1	Redox	4.1	10.10	4.1/2	A2/A3	oksiderende	599 mV	
Kobling 2	Redox	4.2	9.62	4.1/3	A2 ?	reduserende	-40 mV	
Kobling 3	Redox	4.4	8.34	4.1/6	A2	reduserende	-75 mV	
Kobling 4	Redox	4.5	7.88	4.1/7	A2	reduserende	-119 mV	
Kobling 5	Redox	1.1	9.26	1.1/1	A2	oksiderende	486 mV	
Kobling 6	Redox	1.3	8.59	1.1/5	A2	reduserende	-63 mV	
Kobling 7	Temperatur	4.1	10.10	4.1/2	A2/A3		12 °C	
Kobling 8	Fuktighet	4.1	10.10	4.1/2	A2/A3		35.5%	41%
Kobling 9	Temperatur	4.2	9.62	4.1/3	A2 ?		11.7 °C	
Kobling 10	Fuktighet	4.2	9.62	4.1/3	A2 ?		37.5%	36%
Kobling 11	Temperatur	4.3	9.10	4.1/4	A1-A2		12 °C	
Kobling 12	Fuktighet	4.3	9.10	4.1/4	A1-A2		40.0%	38%
Kobling 13	Temperatur	4.4	8.34	4.1/6	A2	Sterk sulfid lukt	10.9 °C	
Kobling 14	Fuktighet	4.4	8.34	4.1/6	A2	Sterk sulfid lukt	44.4%	53%
Kobling 15	Temperatur	4.5	7.88	4.1/7	A1	Sterk sulfid lukt	11.3 °C	
Kobling 16	Fuktighet	4.5	7.88	4.1/7	A1	Sterk sulfid lukt	45.8%	49%
Kobling 17	Temperatur	1.1	9.10	1.1/1	A2		13.2 °C	
Kobling 18	Fuktighet	1.1	9.10	1.1/1	A2		45.8%	41%
Kobling 19	Temperatur	1.2	8.75	1.1/3	A2	Soft Lys brun masse	13 °C	
Kobling 20	Fuktighet	1.2	8.75	1.1/3	A2	Latrine ??	48.3%	49%
Kobling 21	Temperatur	1.3	8.63	1.1/5	A2		12.3 °C	
Kobling 22	Fuktighet	1.3	8.63	1.1/5	A2	Oljeforurenset	72.0%	54%
Ref elektrode	Redox	Høyre 4.2	8.57					

Ofte kan dataserier fluktuerer mye og derfor beregner vi også medianen* på dataseriene sammen med gjennomsnitt verdier. Denne verdien gir en mer riktig verdi hvis datamaterialet svinger mye.

* 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).

2.8 Nedbrytingsforsøk på jordprøver fra midten og bunnen av Profil 1 Hull 4

Tre flasker med volum (120mL) ble tilført 5 gram jord fra hvert av kulturlagene 4.3 (9.10 moh) og 4.5 (7.88 moh). 2 ml anaerobt vann ble tilsatt og alle flasker ble opparbeidet i anaerob atmosfære. Flaskene ble satt ved 10°C i vannbad. Innholdet av produsert CO₂ inne i hver flaske ble målt ca hver måned på en 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 når luft ikke er til stedet og når temperaturen er lav. Etter gassmålingene inne i flasken ble det beregnet akkumulert CO₂ i hver av flaskene og illustrert som middelvei med standard avvik for hver av prøvene. Verdiene er presentert som mg karbon (CO₂) per g organisk material. I tillegg ble nedbrytingsraten beregnet over tid mg karbon (CO₂) per g organisk material per dag. Forsøket er en langtidsstudie utført parallelt med overvåkingen.

3 RESULTATER








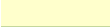



3.1 Bevaringsforholdene i begge profiler

En detaljert beskrivelse av bevaringsforhold og bevaringstilstand er beskrevet i NIKU/NIBIO rapport (Petersen og Bergersen 2017 in prep). I tabell 2 vises en oversikt over hvordan de kjemiske forhold og bevaringsforholdene var ved installasjon og oppstart av overvåkingen høsten 2015.

Jordprøvene viste gode bevaringsforhold fra 9.10 moh og ned i dypere lag selv om det organiske innholdet var lavt, men med middels vanninnhold som hindrer luft å trenge ned.

Tabell 2. Kjemiske og fysiske forhold i prøver hentet Profil 1 Hull 1 og 4 etter S2 analyse sammenstilt med bevaringsforhold for organisk og uorganisk materiale.

Prøver	Dyp	Lag	Tørrestoff	Organisk materiale	Vann innhold	pH	Lednings- evne	Bevarings forhold			
	(moh)		(%)	(%)	(%)		uScm ⁻¹	Organisk material	Inorganisk material	Redoks forhold *	Arkeologiske tilstand *
Profil1 Hull 4											
4.1	10.10	4.1/2	64	13	36	7.3	584	Dårlig	Middels	A2	A2 - A3
4.2	9.62	4.1/3	62	14	38	7.1	904	Middels	Middels	A2-A3	A2
4.3	9.10	4.1/4	65	19	35	7.0	670	Bra	Middels	A4	A1-A2
4.4	8.34	4.1/6	68	10	32	7.1	499	Bra	Middels	A4	A2
4.5	7.88	4.1/7	52	21	48	6.8	695	Bra	Middels	A4	A1-A2
4.6 Ref.	8.57	4.1/3	77	5	23	6.7	792	Dårlig	Middels	A2	A2
Profil1 Hull 1											
1.1	9.10	1.1/1	55	17	45	6.8	2606	Middels	Middels	A2-A3	A2
1.2	8.75	1.1/3	66	11	34	6.8	2059	Bra	Middels	A4	A2
1.3	8.63	1.1/5	61	14	39	7.0	767	Bra	Middels	A3-A4	A2
1.4 **	8.63	1.1/5	82	3	28	6.7	1271	Bra	Middels	A3-A4	A2

	Lavt organisk materiale 10%		Elendig til dårlig
	Middels organisk materiale 10-25%		Middels
	Høyt organisk materiale 30-40%		Bra til utmerket
	Lavt vanninnhold 10-20%		Oksiderende forhold
	Middels vanninnhold 30-40%		Reduserende forhold
	Høyt vanninnhold 50-60%		
		*	SOPS : NS 9451:2009
		**	Diesel forurenset

3.2 Jordtemperaturen målt i kulturlag i profil 1 Hull 1 og Hull4

Det er målt små endringer i jordtemperatur i Hull 1. Temperaturen målt første år er under 10 °C i Hull 1 og Hull 4 (Figur 4). I Hull 4 ble det målt noe større forskjell mellom øvre og nedre kulturlag siden denne profilen har 2 sensorer 1 m høyere opp sammenlignet med sensorene i Hull 1. Sensor 4.3 ligger på samme nivå og temperatur som i Hull 1. Sensorene høyere oppe er mer påvirket av middel utetemperatur. Her viste min og max temperaturen 11 °C forskjell, 9 i midten og 6 °C i de dypeste lag. Likevel er beregnet gjennomsnittstemperatur første år ganske lik mellom øvre og nedre kulturlag på 7-8 grader (Figur 4). Lav temperatur er gunstig for bevaring av organisk materiale. Temperaturmålingene følger middel utetemperatur

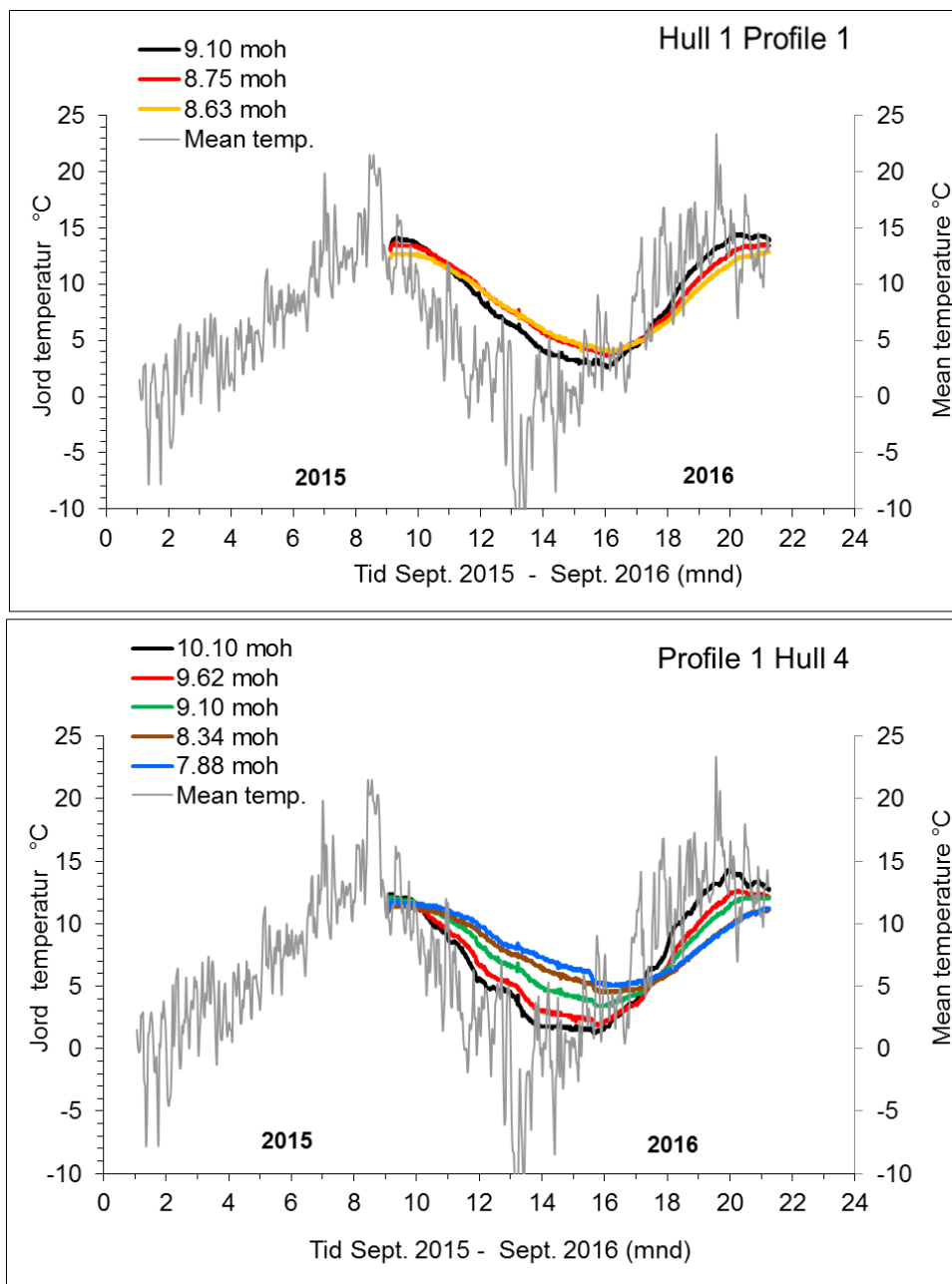
All mikrobiologisk forskning på naturlig nedbryting av organisk materiale viser at temperatur påvirker hastigheten i større grad fra 15 °C og oppover. Ved 10 °C skjer dette langsomt med oksygen til stedet. Studier på nedbryting av organisk materialet ved NIBIO (Petersén & Bergersen 2016) og undersøkelser utført ved Nationalmuseet i Danmark (Hollesen & Matthiesen, 2011) viser at ved omkring 10 °C skjer det svært lite, men økning fra 10 og 15 °C øker nedbrytningshastigheten vesentlig, spesielt med oksygen tilgjengelig. Uten oksygen til stedet vil tungt nedbruttbart materiale som for eksempel trevirke være beskyttet over tid. Ekstra undersøkelser på prøver fra Munkehaugsveita viser svært lite destruksjon av karbon (se kap. 3.4)

3.3 Jordfuktigheten og redoksforhold målt i kulturlag i Profil 1 i Hull 1 og Hull 4

Jordfuktigheten registrert i profilene ved Munkehaugsveita i Trondheim langt ligger høyere i profil 1 Hull 1 sammenlignet med profil 1 Hull 4. Gjennomsnittlig jordfuktighet beregnet i Hull 1 var 60-70 %. I øvre lag ble fuktigheten målt lavere omkring 50 % i de første måneder, men steg i siste del av måleperioden med økt nedbør som tydelig påvirker mer det øvre kulturlaget mer enn i dypere lag (Figur 5 over). I Hull 4 ble det målt gjennomsnittlig høyere jordfuktighet i lagene 4.5 (83 %) og 4.2 (51 %). Sistnevnte fluktuerer mer med nedbørsperioder (Figur 5 under). De øvrige sensorer ligger tett under 40 % jordfuktighet i dypere lag men også den øverste sensor nær overflaten på 10 moh. Medianen gir et bedre beregningsgrunnlag hvis noen data serier fluktuerer mye som for eksempel målingene i kulturlag 4.2 og 4.5. Over tid er det sensoren i bunnen av profilen på 7.9 moh som fortsetter å ha høy jordfuktighet. Kan se ut som om vann (evt. grunnvann) samler seg i bunnen av profilen. Ved installasjon ble profilen ved Hull 1 fylt med vann i bunnen uten at det kom nedbør.

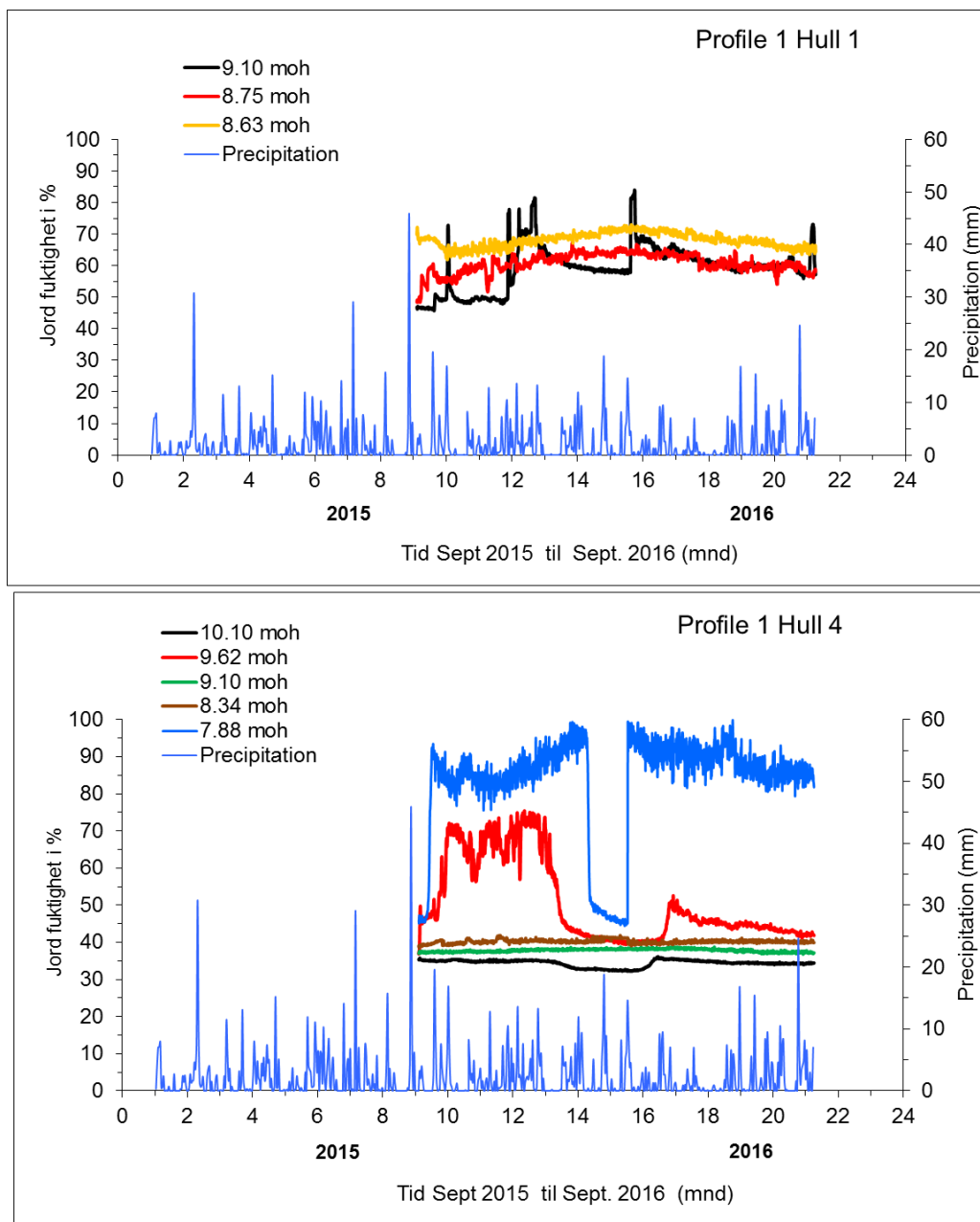
Redokspotensialet indikerer hvor mye oksygen som er til stedet i de ulike kulturlagene. Med høy jordfuktighet vil porevolumet til luft bli redusert. For å si det på en annen måte vil det ikke være mye plass til oksygen hvis porene i kulturlaga er fylt med vann. Tette kulturlag med mindre organisk innhold og lavere jordfuktighet kan også hindre at luft trenger ned til kulturlagene. Slikt ble observert spesielt i Profil 1 fra Hull 4. Redoksforhold som informerer om det er oksygen til stede eller ikke er sammenstilt med jordfuktigheten på samme høydemeter og splittet i to ulike illustrasjoner isolert i en øvre og nedre deler av profilveggene (Figur 6 og 7).

I profil 1 Hull 1 hvor jordfuktigheten var noe høyere var også redoksforholdene noe lavere sammenlignet med Hull 4.



Temperatur °C	Temp 1. 1 Profil 1 9.10 moh	Temp 1. 2 Profil 1 8.75 moh	Temp 1. 3 Profil 1 8.63 moh	Temp 4.1 Profil 4 10.10 moh	Temp 4.2 Profil 4 9.62 moh	Temp 4.3 Profil 4 9.10 moh	Temp 4.4 Profil 4 8.34 moh	Temp 4.5 Profil 4 7.88 moh
Min	2.6	3.6	3.9	1.2	1.9	3.4	4.5	5.0
Maks	14.5	13.7	12.8	14.3	12.7	12.2	11.5	11.9
Median	8.4	8.7	8.4	6.9	6.7	7.6	7.8	8.1
Gjennomsnitt	8.7	8.8	8.5	7.3	7.2	7.8	8.0	8.4

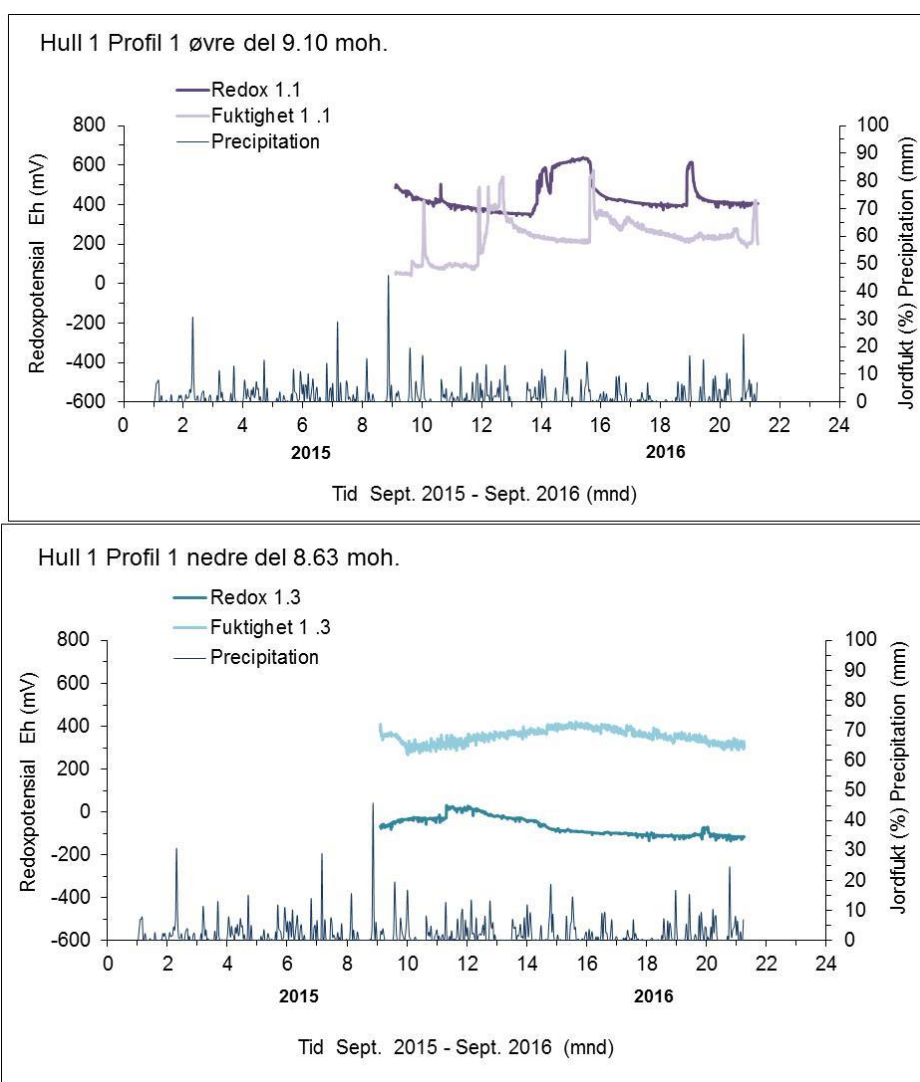
Figur 4. Jordtemperatur målt i 3 ulike kulturlag fra Hull 1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med middel utetemperatur i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no). Tabell under viser Maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordtemperatur målt fra Hull 1 og 4 i måleperioden fra sept. 2015 til sept. 2016.



	Fuktighet 1 .1	Fuktighet 1 .2	Fuktighet 1 .3	Fuktighet 4.1	Fuktighet 4.2	Fuktighet 4.3	Fuktighet 4.4	Fuktighet 4.5
Jord fuktighet	Profil 1	Profil 1	Profil 1	Profil 4	Profil 4	Profil 4	Profil 4	Profil 4
%	9.10 moh	8.75 moh	8.63 moh	10.10 moh	9.62 moh	9.10 moh	8.34 moh	7.88 moh
Min	45.8	48.4	61.9	32.2	36.8	36.8	38.7	44.4
Maks	83.9	67.2	73.0	36.1	75.4	38.7	41.8	99.8
Median	59.7	60.7	68.2	34.7	45.2	37.9	40.1	87.0
Gjennomsnitt	59.3	60.8	68.1	34.4	50.5	37.8	40.2	83.2

Figur 5. Jordfuktighet målt i 3 ulike kulturlagdypp fra Hull 1 (over) og 5 ulike dyp fra Hull 4 (under) sammenstilt med mm nedbør i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no). Tabell under viser maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av jordfuktigheten målt fra Hull 1 og 4/Profil1 første år av overvåking fra sept. 2015 til sept. 2016

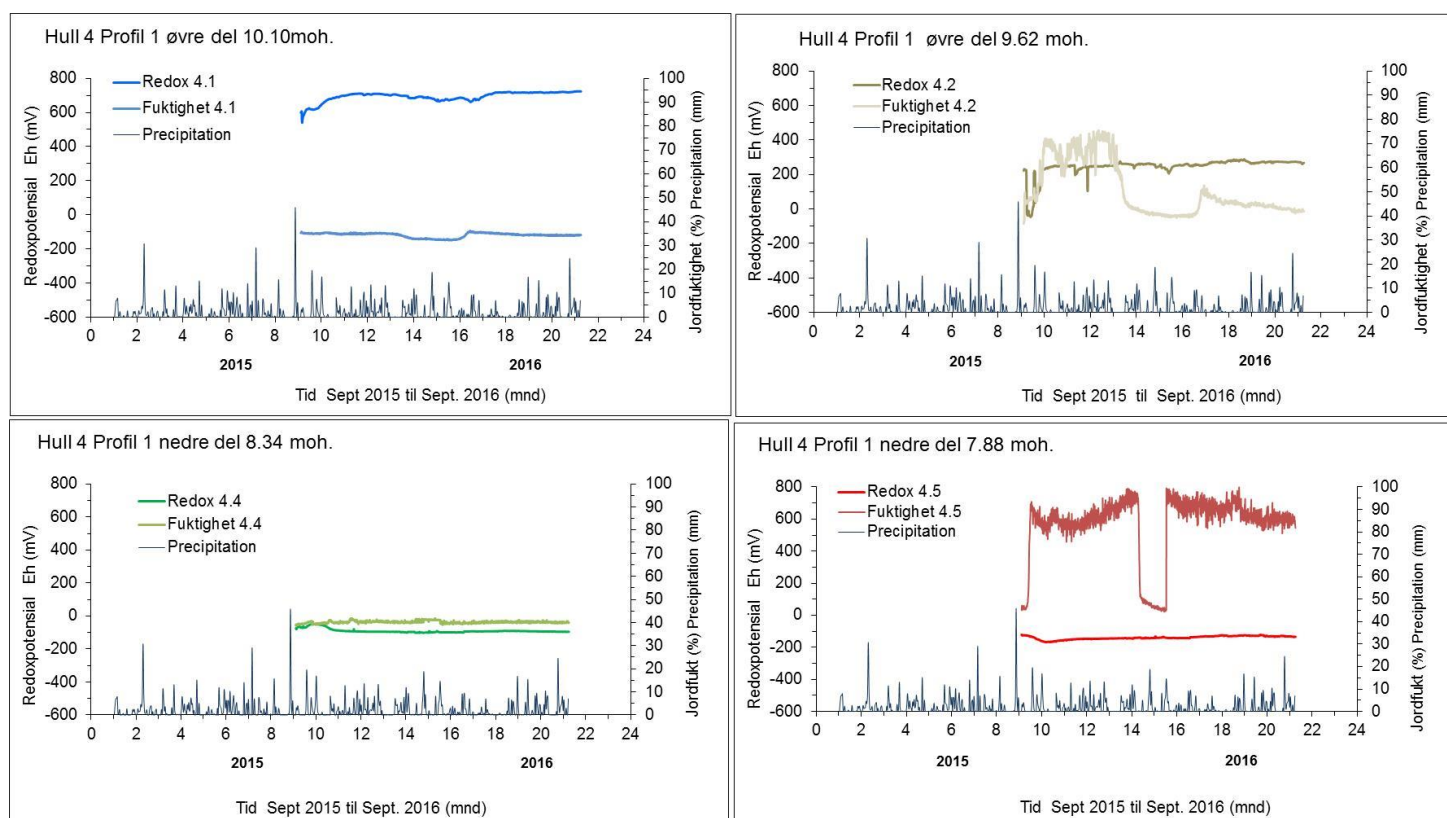
Hull 1 øvre del (Figur 6) viser at redokspotensialet varierer noe med nedbør og jordfuktighet fra over +200 til under +200mV som er en slags grenseverdi på hvor mye oksygen som er målbart i umetta sone. Målinger utført i miljøbrønner fra Anders Madsens gt i Tønsberg viser at verdier under +200mV ikke gir målbare verdier av løst oksygen i mg/L (Bergersen 2014). Økende redokspotensialet gir også høyere målt oksygeninnhold. Derfor ser øvre del 9.10 moh av Hull 1 noe mer oksidert ut sammenlignet med nedre del. Nedre del på 863 moh viser redoks verdier under +200mV.



Redox-condition mV	Redox 1.1 9.10 moh	Redox 1.3 8.63 moh	Redox 4.1 10.10 moh	Redox 4.2 9.10 moh	Redox 4.4 8.34 moh	Redox 4.5 7.88 moh
Min	339	-136	540	-46	-102	-168
Max	639	31	724	288	-49	-121
Median	411	-83	702	256	-94	-141
Average	438	-66	693	247	-90	-139

Figur 6. Jordfuktighet og redoksførhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 1 første år av overvåking fra sept. 2015 til sept. 2016 sammenstilt med mm nedbør i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no). Tabell under viser maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av redoksførhold målt fra profil 1 Hull 1 & 4.

I nedre lag er det mer stabile beskyttende anoksiske forhold uten oksygen (Figur 6). Dette samsvarer med bevaringsforholdene i Hull 1 for organisk materiale vist i Tabell 2. Økt jordfuktighet vil også senke redoksforholdene ytterligere. Redoksforholdene målt i profil 1 Hull 4 viser gode bevaringsforhold in situ fra kulturlag fra 9.62 moh og nedover med lave redoksverdier (Figur 7). I nedre del av profilen ligger gjennomsnittlig redoksverdi under -100 – -140 mV selv om jordfuktigheten er bare på 40% i kulturlag 4.4 (8.34 moh). I øvre lag nær overflaten på 10.10 moh er porevolumet i kulturlagene tilført mer oksygen slik at redoksverdiene ligger på +550 til +700 mV og stabil lav jordfuktighet på 32-35%. Høyere jordfuktighet i øvre del vil forhåpentligvis senke redokspotensialet over tid hvis jordfuktigheten øker.

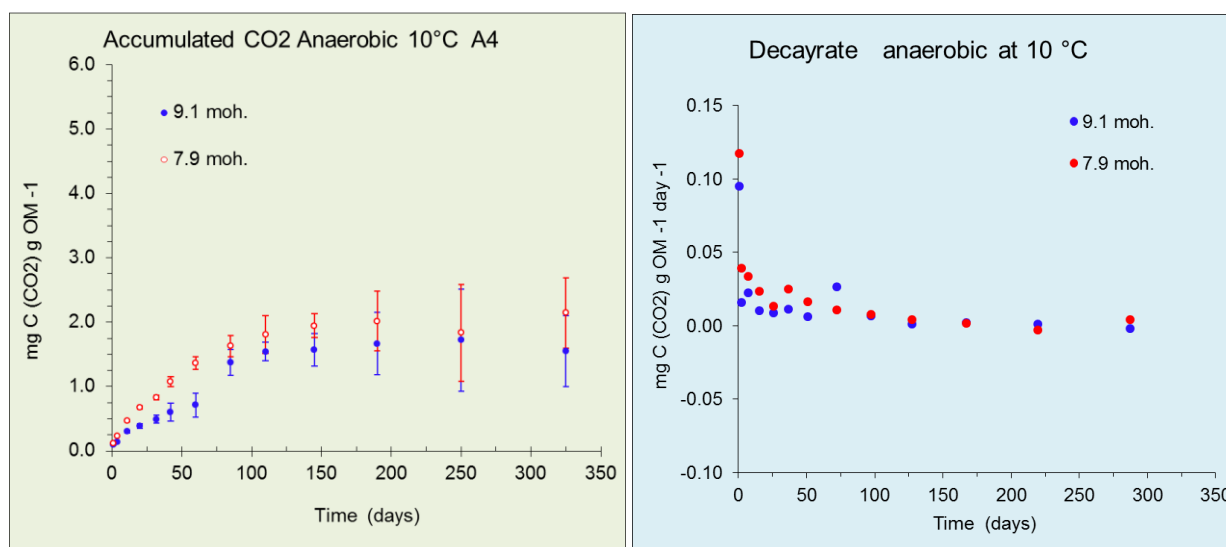


Redox- condition mV	Redox 1.1 9.10 moh	Redox 1.3 8.63 moh	Redox 4.1 10.10 moh	Redox 4.2 9.10 moh	Redox 4.4 8.34 moh	Redox 4.5 7.88 moh
Min	339	-136	540	-46	-102	-168
Max	639	31	724	288	-49	-121
Median	411	-83	702	256	-94	-141
Average	438	-66	693	247	-90	-139

Figur 7. Jordfuktighet og redoksforhold målt i øvre og nedre kulturlag fra profil 1 fra Hull 4 første år av overvåking fra sept. 2015 til sept. 2016 sammenstilt med mm nedbør i Trondheim sentrum (data fra www.yr.no). Tabell under viser maks-, min-, median og gjennomsnittsverdier av redoksforhold målt fra profil 1 fra Hull 1 & 4.

3.4 Nedbryting av organisk materiale fra Profil 1 Hull 4

Ekstra undersøkelse hvor nedbrytingsrater av jordprøver fra 9.1 moh. (4.3) og 7.9 moh (4.5) ble målt over tid viser begge meget lave nedbrytingsrater etter 120 dager inkubasjon, men noe forskjellig i forhold til hverandre (data ikke vist). 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 uten oksygen til stedet. Akkumulert CO₂ og nedbrytingsrate for jordprøver fra kulturlag 4.3 (9.10 moh.) og 4.5 (7.88 moh.) i profil 1 hull 4 er vist i figur 8. Etter 1 år kan en ikke se noen stor forskjell i økt nedbryting av organisk materiale i noen av prøvene. Dette viser at det er mulig å bevare organisk materiale når kulturlag eksponeres ved lav temperatur uten oksygen tilstede.



Figur 8. Akkumulert mg karbon (CO₂) per g organisk material (over). Nedbrytingsraten beregnet over tid mg karbon (CO₂) per g organisk material per dag (under) hvor kulturlagsprøve fra midten (9.10 moh.) og bunnen (7.9 moh.) av profil 1 Hull4 ble undersøkt.

Andre nedbrytingsforsøk av kulturlagsprøver i Trondheim med ulike bevaringsforhold viser forskjeller ved 20 °C. Nedbrytningshastighet av organisk materiale var betydelig høyere i dårlige bevarte prøver sammenlignet med kulturminneprøver som var bedre bevart. Dette skyldes i hovedsak at i dårlig bevart materiale var det allerede flere aktive mikroorganismer og noe mer tilgjengelig organisk materiale. Over lengre tid og ved lavere temperatur på 10 °C jevner dette seg ut og nedbrytingsraten var lik null (Petersén & Bergersen 2016). Dette viser igjen at hvis kulturlagene holdes stabile, anoxiske og fuktige ved lav temperatur vil det være mulig å bevare organisk materiale fremover i tid.

3.5 Avvik første driftsår

Alle sensorene har gitt gode og fornuftige resultater i hele måleperioden første år, fra september 2015 til september 2016. Det er ikke registrert avvik i målingene i denne perioden.

4 KONKLUSJONER

- Miljøovervåking av arkeologisk kulturlag på tomten Munkehaugsveita i Trondheim (Profil 1 Hull 4) i perioden september 2015 til september 2016 viser reduserende og gode bevaringsforhold fra 9.6 ned til 7.9 moh. Oksiderende forhold er påvist i øvre kulturlag 4.1/2 på 10.1 moh. som også er tørrere og påvirkes mer av middel utetemperatur.
- Miljøovervåking i Profil 1 Hull 1 viser lignende forhold som hull 4 med redoksførhold som viser oksiderende i øvre del og reduserende i nedre del. Verdier målt lavere enn +200mV viser en slags kritisk grenseverdi og er et mål på hvor mye oksygen som er i kulturlagene. Profilen viser høyere jordfuktighet sammenstilt med Hull 4.
- Middeltemperatur i begge profiler er under 10 °C som er gunstig for bevaring av organisk materiale. Når det i tillegg er anoxiske og reduserende forhold i kulturlagene, med unntak av øvre lag, vil muligheten for bevaringen øke ytterligere. Nedbrytingsstudier av jordprøver viser også god bevaring etter 1 år.
- NIBIO mener at overvåkingen som er installert og i drift bør kunne gi et godt grunnlag for å vurdere endringer i bevaringsforhold over tid som følge av bygging av et nytt bygg på tomten i Munkehaugsveita.

LITTERATURREFERANSER

Bergersen O. og Petersén, A. (2009). Forundersøkelse med grunnboring for tilstandsanalyse av bevaringsforhold for kulturlag, Munkhaugsveita 3-7, Trondheim – Arkeologisk og jordfaglig analyse NIKU (37) og Bioforsk rapport Vol 4 (29). 29 sider.

Bergersen O. (2014). Ett års miljøovervåking av grunnvann omkring kulturminner i området Anders Madsens gate i Tønsberg. Bioforsk rapport Vol 9 (104). 14 sider.

Hollesen, J. og Matthiesen, H. (2011). The effect of temperature on the decomposition of urban layers at Bryggen in Bergen. Nationalmuseet in Denmark. Report no. 11031048. 2011.

Petersén, A.H. og 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. Conservation and Management of Archaeological Sites, 2015; Vol. 18 Nos 1–3, 2016, s 181-204.

Petersén, A.H. og Bergersen O. (2016). Forundersøkelse av kulturminner Munkehaugsveita , Trondheim Arkeologisk og jordfaglig analyse NIKU og NIBIO rapport (in prep).

Yr : http://www.yr.no/sted/Norge/Sør-Trøndelag/Trondheim/Trondheim_sentrum/

VEDLEGG

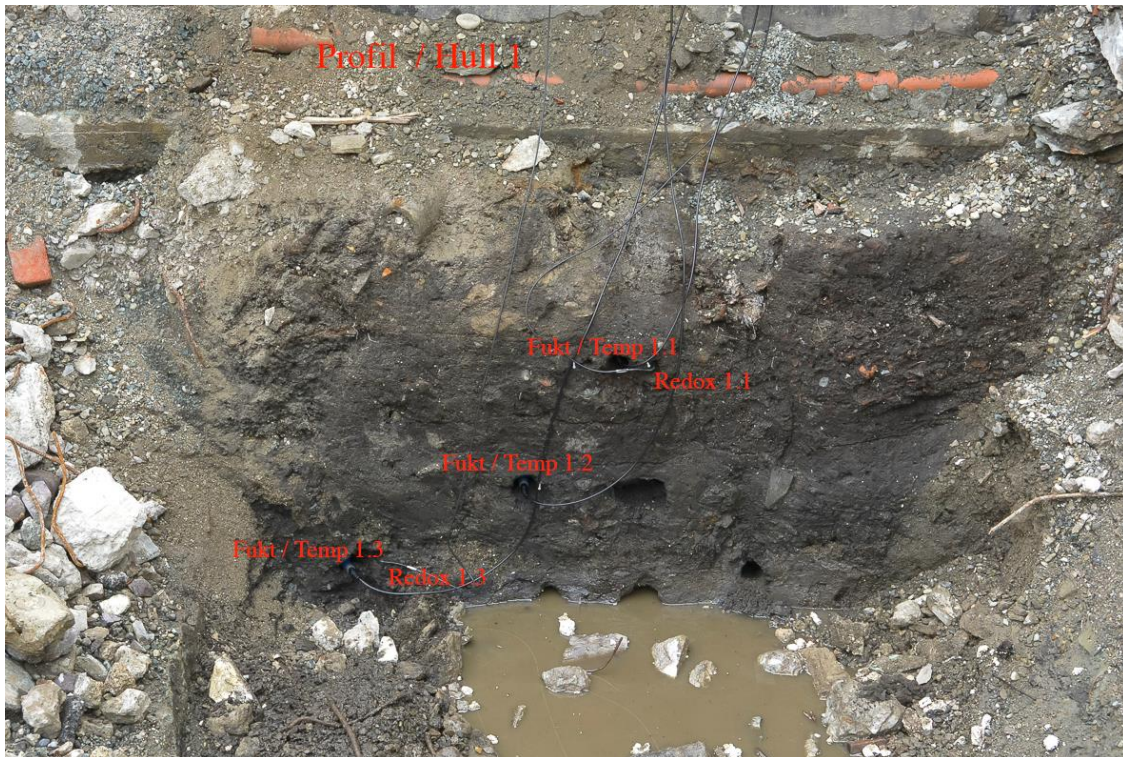
Oversikt over vedlegg

Nr. Emne

- 1 Info om Installasjon av overvåkingsutstyr
- 2 Koordinater fra Hull 1 og Hull 4
- 3 Bevaringsskala av kulturlag og redoksforhold ved standard aktivitet fra ulike mikroorganismer

Vedlegg 1: Oversikt over installasjonen

Hull 1 Profil 1 Munkehaugsveita med sensor plassert i profilvegg.

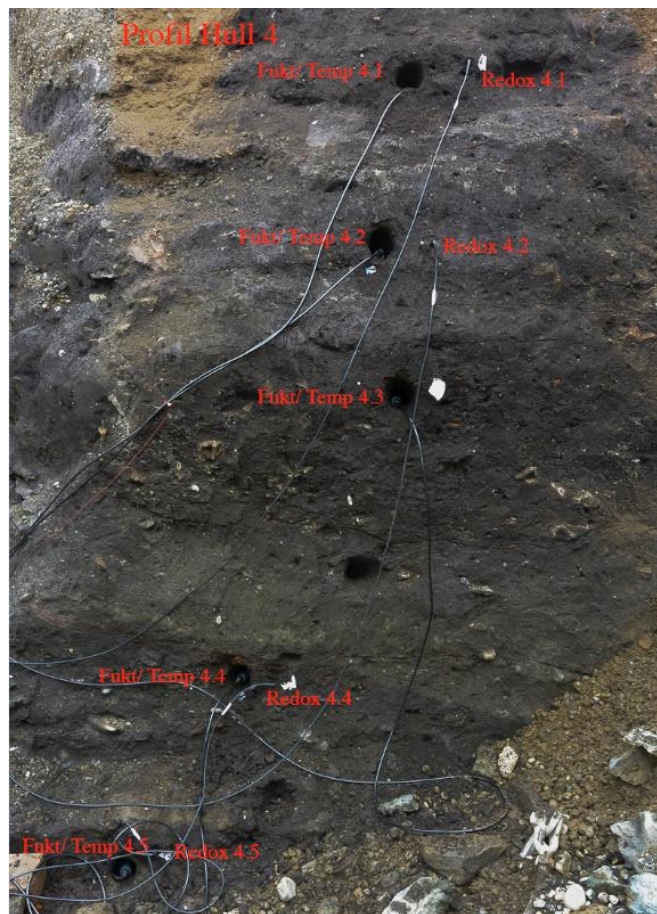


Hull 1 Profil 1 dekket med bentonitt duk før den ble fylt igjen.





Kabler fra Hull 1 Profil 1 ble lagt i solid plast rør ned i bakken på skrå over tomten og montert direkte i skap med logger. Skap ble plassert på vegg nær Hull 4. Denne grøften er merket og målt inn med GPS av entreprenør.



Hull 4 profil 1: Munkehaugsveita med sensorer (over), plassering ref. elektode (under). Plassering ref elektode for redoks målinger ble valgt i representativt lag 4.2.



Hull 4 profil 1 dekket med bentonitt duk før den ble fylt igjen. Sensorledninger er beskyttet i plastrør opp til overflaten. Alle sensorer satt inn ble kontrollert fra logger, PC og modem før hullene ble fylt igjen i begge hull.

Vedlegg 2

Koordinater profil 1 Hull 4

MUNKVHULL4-SAMPLES, 04.01.2016, Page 1						
FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	7	7034179,35	569712,4651	7,8884	4.5
1	Point	6	7034178,9707	569712,7201	8,3383	4.4
2	Point	5	7034178,6218	569712,6751	8,5685	4.6
3	Point	4	7034178,4218	569712,6296	9,1035	4.3
4	Point	2	7034178,5263	569712,7968	9,622	4.2
5	Point	1	7034178,269	569713,1589	10,0979	4.1

Koordinater profil 1 Hull 1

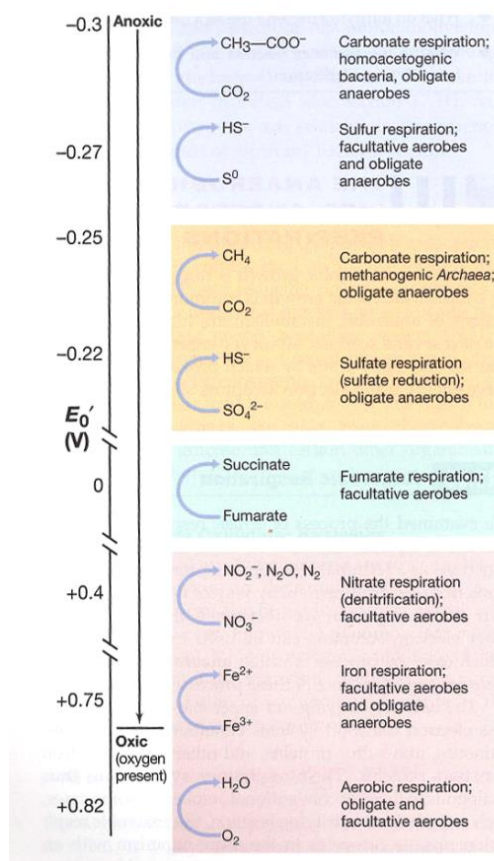
MUNKVHULL4-SAMPLES, 04.01.2016, Page 1						
FID	Shape	PT_ID	NORTHING	EASTING	ELEVATION	DESCRIPTIO
0	Point	7	7034179,35	569712,4651	7,8884	4.5
1	Point	6	7034178,9707	569712,7201	8,3383	4.4
2	Point	5	7034178,6218	569712,6751	8,5685	4.6
3	Point	4	7034178,4218	569712,6296	9,1035	4.3
4	Point	2	7034178,5263	569712,7968	9,622	4.2
5	Point	1	7034178,269	569713,1589	10,0979	4.1

Vedlegg 3

Bevaringsskala av kulturlag.

Nitrat	Ammonium	Sulfid	Jern (II)	Jern (III)	Redoksforhold	Bevaring
NO ₃	NH ₄	H ₂ S	Fe ₂	Fe ₃		
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)

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.